



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

Entidades participantes:  
Facultad de Arquitectura  
Instituto de Investigaciones Históricas  
FES Aragón

**FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN ARQUITECTURA**  
En el campo de conocimiento de Tecnología

**PRESENTA:**  
**Arq. Adolfo Müller Sánchez**

**TUTOR PRINCIPAL:**  
**M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos**  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura

**Ciudad Universitaria, Cd. Méx., Noviembre 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

Entidades participantes:  
Facultad de Arquitectura  
Instituto de Investigaciones Históricas  
FES Aragón

**FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN ARQUITECTURA**  
En el campo de conocimiento de Tecnología

**PRESENTA:**  
**Arq. Adolfo Müller Sánchez**

**TUTOR PRINCIPAL:**  
**M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos**

**SINODALES:**  
**M. en Arq. Francisco Reyna Gómez**  
**Dra. Maribel Jaimes Torres**  
**M. en Arq. Enrique Bonifacio Gallardo Amador**  
**Dra. Claudia Eréndira Vázquez Torres**

Ciudad Universitaria, Cd. Méx., Noviembre 2023



---

A la memoria de mis padres, la Sra. Virginia Gloria Sánchez y el Sr. Adolfo Müller Decanis, por todo su amor y su apoyo incondicional, por haberme brindado todo lo necesario para ser la persona que soy ahora, siempre estar al pendiente de nosotros, con mi entero cariño y agradecimiento, los quiero mucho, por siempre.

---

---

## AGRADECIMIENTOS.

A Dios, por darme el don de la vida.

A mi hija Ana Sofia Müller De la Vega, por haber llegado a mi vida y darme una felicidad infinita, por todos estos momentos felices que hemos vivido y todos los que nos faltan, por tu alegría, tu sonrisa, por todo lo que tú eres, siempre voy a estar a tu lado, eres el motor de mi vida. Te quiero mucho.

A mi hermano Francisco, porque siempre estás conmigo, brindándome todo tu apoyo y afecto, eres una gran persona en todos los sentidos, eres un ejemplo a seguir, deseo que siempre estemos unidos, a pesar de la distancia y me siento muy orgulloso de ti, de todo lo que has logrado. Te quiero mucho hermano.

A mi tia Erica Müller Decanis, por siempre contar con tu ayuda, por tus buenos deseos, por todos tus consejos, mensajes y enseñanzas y siempre estar al pendiente de nosotros. A mis primas Itzel y Lillian, por ser tan buenas conmigo y brindarme todo su cariño y afecto. Las quiero mucho a las tres.

Con una mención especial, al Maestro Jorge Rangel Dávalos, por siempre brindarme todo su apoyo incondicional, creer en mí y en ésta investigación, por estar al pendiente y guiarme por este camino durante todos estos años. La culminación de éste trabajo se lo debo a usted, por alentarme a seguir adelante. Lo estimo mucho, querido Maestro.

A mis sinodales, Mtro. Francisco Reyna, Dra. Maribel Jaimes, Mtro. Enrique B. Gallardo y Dra. Claudia E. Vázquez, por aceptar formar parte de éste trabajo, por todas sus enseñanzas, comentarios y consejos para llevar a buen término ésta investigación, muchas gracias por todo estimados maestros y doctoras.

A mis maestros por todas sus enseñanzas y compartir conmigo todas sus experiencias.

A todos mis amigos que han estado junto a mí, a todo lo largo de mis estudios y de mi vida. En los cuales, hemos compartido momentos difíciles y felices. Sería muy difícil mencionarlos a todos, pero ustedes saben quiénes son.

---

---

# FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA

## ÍNDICE

Página

**RESUMEN.**

**INTRODUCCIÓN.**

**PERTINENCIA.**

**ANTECEDENTES.**

### **CAPITULO I. LA FORMA DE LA NATURALEZA.**

1.1. La Dinergia en las Plantas.....	1
1.1.1. La armonía y el crecimiento.	
1.2. La Anatomía de la participación.....	7
1.2.1. Conchillas, almejas, cangrejos y peces.	
1.2.2. Compartir: la naturaleza de la naturaleza.	
1.3. Orden y Libertad en la Naturaleza.....	10
1.3.1. Patrones orgánicos e inorgánicos.	
1.3.2. Armonías humanas.	
1.4. La Geometría Fractal de la Naturaleza.....	14
1.4.1. Lo irregular y lo fragmentado en la Naturaleza	
1.4.2. Dimensión, simetría y divergencia.	
1.4.3. Fractales Escalantes.	
1.4.4. Fractales No Escalantes.	
1.4.5. Fractales Imagen de sí mismos.	
1.4.6. Geometría Fractal y Euclidiana.	

### **CAPITULO II. NATURALEZA Y ARQUITECTURA.**

2.1. El Espacio en la Naturaleza.....	26
2.1.1. La Caverna.	
2.1.2. El Territorio.	
2.1.3. Espacio aéreo.	
2.1.4. Espacio terrestre.	
2.1.5. Espacio anfibio.	
2.2. La Estructura en la Naturaleza.....	31
2.2.1. Principios estructurales.	
2.3. El Proyecto Ecológico.....	34
2.3.1. Ecología y Proyecto.	
2.3.2. Bases para el Proyecto Ecológico.	
2.3.3. La Arquitectura y su Impacto Ecológico.	
2.3.4. Interdependencias ecológicas externas del medio edificado.	
2.3.5. Interdependencias ecológicas internas del medio edificado.	
2.3.6. Estrategias para el Proyecto ecológico.	
2.4. El Edificio Verde.....	43
2.4.1. El Rascacielos y otros edificios de gran escala.	
2.4.2. Sistemas Operativos del Rascacielos.	
2.4.3. Sistemas Pasivos.	
2.5. Consideraciones finales.....	49

---

---

# FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA

## ÍNDICE

Página

### **CAPITULO III. EL HÁBITAT ORGÁNICO.**

3.1. El Hombre, su espacio a través del tiempo.....	51
3.1.1. El refugio del Hombre de Neanderthal.	
3.1.2. El refugio del Hombre de Cro Magnon.	
3.1.3. Arquitectura Troglodita.	
3.1.4. Los primeros constructores.	
3.2. La Ciudad Moderna.....	55
3.2.1. Las Primeras Civilizaciones.	
3.2.2. De la Antigüedad a la Revolución Industrial.	
3.2.3. La Ciudad Moderna.	
3.3. El Espacio Natural del Hombre.....	62
3.3.1. El Hielo: respuesta a las zonas árticas.	
3.3.2. La Tierra: respuesta a las zonas desérticas.	
3.3.3. La Vegetación: respuesta a las zonas selváticas.	
3.4. La Arquitectura Orgánica.....	67
3.4.1. Introducción.	
3.4.2. Antecedentes.	
3.4.3. Principales exponentes de la Arquitectura Orgánica.	
3.4.3.1. Antonio Gaudi.	
3.4.3.2. Frank Lloyd Wright.	
3.4.3.3. Paolo Soleri.	
3.4.3.4. Santiago Calatrava.	
3.4.3.5. Javier Senosiain.	
3.4.4. Lo orgánico.	

### **CAPÍTULO IV. ARQUITECTURA BIÓNICA.**

4.1. Teoría y Conceptos.....	76
4.1.1. Antecedentes	
4.1.2. Formas del futuro.	
4.1.3. Postulados de la Ciencia Biónica.	
4.1.4. La Arquitectura Biónica. Definición	
4.2. Biomímesis aplicada a la Arquitectura.....	83
4.2.1. Antecedentes.	
4.2.2. Biomímesis. Definición.	
4.2.3. El estudio Biomimético.	
4.2.4. Arquitectura y Biomímesis	
4.2.5. Ejemplos de Arquitectura Biomimética	
4.3. Principales Exponentes de la Arquitectura Biónica.....	91
4.3.1. Eugene Tsui.	
4.3.2. Nicholas Grimshaw	
4.3.3. LAVA –Laboratorio de Arquitectura Visionaria-	
4.3.4. Zaha Hadid	
4.3.5. Cervera & Pioz Arquitectos.	

---

---

## FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA

### ÍNDICE

	Página
4.4. Sistemas Estructurales Biónicos.....	101
4.4.1. Concepto Biónico de Estructura: “El Todo-resistente”.	
4.4.2. Sistema de Encapsulados –Contenedor de contenedores-.	
4.4.3. Teoría Estructural de Capas.	
4.4.4. Piel Transpiro-resistente.	
4.4.5. Sistema de Crecimiento Natural.	
4.4.6. Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos.	
4.5. Aportaciones de la Arquitectura Biónica.....	109

### CAPÍTULO V. FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA.

5.1. Proyectar con la Naturaleza.....	111
5.1.1. Sucesión de Fibonacci.	
5.1.2. Proporción Áurea.	
5.1.3. Fractales y Arquitectura.	
5.1.4. Las Formas de la Naturaleza.	
5.1.4.1. La Circunferencia.	
5.1.4.2. El Hexágono.	
5.1.4.3. La Espiral.	
5.1.4.4. La Hélice.	
5.1.4.5. La Curva.	
5.1.4.6. Las Curvas Geométricas: parábola, catenaria, onda.	
5.2. Metodología de la Biónica.....	125
5.2.1. La Modelación.	
5.2.1.1. Etapas de la Modelación.	
5.2.2. El Modelo.	
5.3. El Proceso Creativo.....	130
5.3.1. Etapas del Proceso Creativo.	
5.4. Diseño Biónico-Arquitectónico.....	140
5.4.1. Prototipos estructurales de conchas marinas.	
5.4.2. Almacén “Selfridges”.	
5.4.3. Acuario de Copenhage “Planeta Azul”.	
5.4.4. Complejo “Puerta RAK”.	
5.4.5. Estadio Olímpico de Beijing.	
5.4.6. Torre “Turning Torso”	
5.4.7. Torre “Burj Kalifha”	
5.4.8. Aeropuerto de Beijing.	
5.4.9. Torre Biónica. Celaya, Cervera & Pioz	
5.4.10. Torre Biónica. LAVA	

**CONCLUSIONES.**

**PROSPECTIVA.**

**REFERENCIAS.**

---



---

## RESUMEN.

La Biónica es una ciencia moderna, interdisciplinaria, surgida a mediados del siglo XX y que está formada sobre la base de infinidad de ciencias ingeniero-técnicas y naturales. En esencia, sintetizados conocimientos acumulados que nacen del estudio de los sofisticados sistemas resistentes y vitales de los seres y formas de la naturaleza analizados desde un punto de vista biotecnológico. El espíritu biónico puede resumirse en la máxima: “La naturaleza lo hizo antes y lo hizo mejor”.

El objetivo principal de esta investigación es establecer una metodología de diseño y proporcionar nuevos criterios que se puedan adoptar en la creación de espacios y para la elaboración de un proyecto arquitectónico en el ámbito tecnológico que utilice la biónica como parte fundamental en su diseño. Otro objetivo es dar a conocer este nuevo tipo de Arquitectura que proporcione información sobre las teorías, conceptos, nuevas tecnologías, principales exponentes y tendencias de este movimiento innovador y conocer los paralelismos entre las formas orgánicas y la lógica arquitectónica aplicable al diseño.

La Geometría Fractal permite describir las formas irregulares y fragmentadas que nos rodean, identificando una serie de formas llamadas *fractales* y que dan lugar a nuevas teorías. Muchas formas de la naturaleza son tan irregulares y fragmentadas que presentan un nivel muy elevado de complejidad.

La Arquitectura Biónica es un movimiento para el diseño y construcción de edificios que expresan trazos y líneas tomadas desde las formas naturales. El movimiento comenzó a madurar a principios del siglo XXI. Se considera a sí misma en oposición de los tradicionales trazos rectangulares, diseñando esquemas que usen formas curvas así como superficies de estructuras biológicas y matemáticas fractales.

Se podría definir como una síntesis eco-filosófica de los principios comunes de la biología, la ingeniería y la arquitectura aplicada al desarrollo futuro del hábitat humano en armonía con el progreso y con la naturaleza. La filosofía biónica busca el espacio común con el ser humano, junto con las otras disciplinas científicas.

La Biomimesis también conocida como biomimética o biomimetismo, es la ciencia que estudia los modelos de la naturaleza para imitar o inspirarse en los diseños y procesos biológicos para resolver problemas de escala humana. Es el término más utilizado para hacer referencia al proceso de entender y aplicar a problemas humanos soluciones procedentes de la naturaleza, en forma de principios biológicos y de biomateriales.

Arquitectura y naturaleza se han acompañado a lo largo de la historia. No obstante, hoy la arquitectura biomimética va mucho más allá de la mera imitación del diseño de la naturaleza y transpone los procesos naturales en busca de que las instalaciones de los edificios funcionen a su semejanza, promoviendo entornos sostenibles y naturales.

Para proyectar con la naturaleza, la arquitectura biónica debe basar su estudio y tomar en cuenta los siguientes aspectos fundamentales: la sucesión de Fibonacci, la proporción Aurea, la geometría fractal y las formas que se encuentran en la naturaleza.

El método fundamental utilizado en las investigaciones biónicas es la modelación, que permite la formación de estructuras biónicas y emplea la modelación matemática y física.

El estudio de la naturaleza permite desarrollar la nueva arquitectura y el urbanismo, creando propuestas inspiradas en un entendimiento integral de los principios lógicos de flexibilidad, adaptabilidad y la eficiencia energética que prevalecen en todas las especies naturales. La comprensión de las técnicas y estrategias que utiliza la naturaleza como inspiración para la creación de formas da lugar a esta nueva sensibilidad artística. La aplicación de la ciencia a la Arquitectura Biónica genera la apertura de nuevas líneas de investigación y pensamiento.

---

## INTRODUCCIÓN.

En nuestro tiempo, el hombre ha logrado considerables éxitos en el desarrollo de la técnica, ha creado innumerables, potentes e ingeniosas máquinas que le proporcionan energía y le ayudan a descubrir y extraer materias primas del subsuelo de la Tierra. El hombre emprendió la conquista del cosmos y creó gran diversidad de naves espaciales automáticas, satélites y estaciones capaces de efectuar vuelos orbitales por el espacio y de descender y moverse por la superficie de otros planetas: comenzó a conocer las profundidades marinas e inició su avance hacia las entrañas de la Tierra.

En su trabajo científico y práctico ligado al proceso de creación de modernos sistemas técnicos, el hombre comprendió que muchos de los problemas que le surgen en sus actividades están ya resueltos por la Naturaleza.

En los últimos años del siglo XX, se fue cimentando en la ciencia una nueva rama llamada Biónica, que tiene como objetivo el estudio de las estructuras y de los procesos en los fenómenos biológicos con el fin de aprovechar los conocimientos que se consigan para perfeccionar los aparatos, instalaciones y máquinas existentes, y también para crear otras nuevas, más eficaces.

Solamente los éxitos obtenidos en el terreno de la creación de nuevos métodos y medios en la técnica de medición con el amplio empleo de la radioelectrónica, la automatización y las computadoras han dado comienzo a una nueva época en las investigaciones biológicas. Junto con el desarrollo de estas investigaciones, el Hombre, al observar la naturaleza viva encuentra entre sus elementos integrantes gran número de útiles colaboradores que con frecuencia le prestan valiosos servicios.

La naturaleza viva reúne en sí las cualidades más sobresalientes de los más preclaros constructores, ingenieros y arquitectos. Durante mucho tiempo, los animales y las plantas se desarrollaron y diversificaron al tiempo que iban adaptándose a los cambios del medio ambiente en que vivían. En cada etapa, en cada cambio considerable de las condiciones climatológicas, la Naturaleza daba un paso hacia su perfeccionamiento sometiendo a revisión aquello que había creado con anterioridad.

La naturaleza viva, desde tiempos inmemoriales, sirvió al hombre de inspiración en sus afanes de progreso científico y técnico. En el transcurso de toda su historia, el hombre aprendió de la naturaleza, ha copiado las "invenciones" de ésta, ha sido su discípulo más esmerado. Esta tendencia a imitar las creaciones de la Naturaleza, a copiar los sistemas biológicos creados por ésta, halló su expresión más elocuente ya en las primeras herramientas.

La nueva ciencia de la Biónica (biología y electrónica) proporciona hoy el conocimiento necesario para crear las maravillosas máquinas del mañana. Esta ciencia combina conocimientos nuevos y viejos sobre biología, electrónica, química, física y matemáticas. Éste esfuerzo científico "encierra más promesas para el beneficio del ser humano que cualquier otra ciencia de nuestra civilización actual."

La Biónica es una ciencia moderna, interdisciplinaria, surgida a mediados del siglo XX y que esta formada sobre la base de las ciencias naturales y de infinidad de ciencias ingeniero-técnicas. En esencia, sintetizados conocimientos acumulados en biología, radiotécnica, química, cibernética, física, psicología, biofísica, construcción, etc., que nacen del estudio de los sofisticados sistemas resistentes y vitales de los seres y formas de la naturaleza analizados desde un punto de vista biotecnológico. El espíritu biónico puede resumirse en la máxima: "La naturaleza lo hizo antes y lo hizo mejor".

---

Examinando el proceso evolutivo de las construcciones técnicas y de las creaciones de la Naturaleza viva, los hombres de ciencia se convencen cada vez más de que entre éstas existe mucho en común. La técnica y la naturaleza crean basándose en unas mismas leyes: observan los principios de economía de material, al concebir los sistemas buscando soluciones óptimas para la estructura de los mismos.

Este interés de los científicos e ingenieros por descubrir aquello en lo que la Naturaleza es más perfecta, inteligente y económica que la técnica moderna; los intentos de encontrar nuevas ideas, métodos y medios para la solución de infinidad de problemas técnicos, dieron nacimiento a una nueva tendencia científica que recibió el nombre de biónica (de la palabra griega *bión*, que significa elemento de la vida, célula de la vida).

Es objeto de la Biónica el estudio de los principios estructurales y el funcionamiento de los organismos vivos con el fin de emplear estos principios en el desarrollo de la técnica para lograr un perfeccionamiento radical de las maquinarias, instrumentos, mecanismos, construcciones y procesos existentes y crear otros empleando nuevos principios. Se le puede llamar también “ciencia que trata de los sistemas que poseen algunas características comunes con los sistemas naturales o análogos a éstos”.

La Biónica es una de las ciencias de mayor desarrollo de nuestro tiempo, es un potente acelerador de la revolución científico-técnica. Promete un florecimiento desconocido de las fuerzas productivas de la humanidad, un nuevo auge de la ciencia y de la técnica.

Pues bien, la ciencia también tiene su apartado para la forma de estudiar seres vivos y adaptarlos a diseños cotidianos, esta rama es conocida como Biónica.

Desde los comienzos de la Historia, el hombre ha intentado luchar contra las fuerzas naturales que lo atraen hacia la tierra que lo ha visto nacer. Esta tendencia, que se ha reflejado en el afán del hombre por volar, también aparece en la Historia de la Arquitectura desde sus comienzos hasta la actualidad, e incluso pretende recuperar un afán de protagonismo que parece haber perdido en los últimos años. Una de las aspiraciones constantes en la Historia de la humanidad es la superación de las fronteras de la altura.

Hoy en día se está cuestionando el papel de las gigantescas torres mono funcionales que se han convertido en símbolo de las principales ciudades del planeta. Los grandes edificios de este nuevo siglo necesitan contribuir al desarrollo de nuestras ciudades, para lo cual deberán dejar de ser monotemáticos para pasar a ser barrios con todo tipo de servicios y usos, tales como oficinas, hoteles, viviendas, comercios, zonas deportivas, etc.

De este modo se evitarán consumos energéticos desmesurados como los que tienen lugar en nuestras actuales gigantescas urbes desarrolladas en horizontal a lo largo de kilómetros y kilómetros, como es el caso de Los Ángeles, Nueva York, Tokio, la Ciudad de México, entre otras. El tiempo empleado en desplazarse dentro de estas ciudades es muy grande, utilizando sólo el automóvil y el consumo energético es igualmente descomunal.

Varias son las inquietudes que están en la mente de arquitectos, urbanistas e ingenieros a la hora de enfrentarse a los problemas que plantean tanto el crecimiento urbanístico de las superpoblaciones como la construcción de edificios de gran altura.

Una tarea central de la construcción biónica, es la búsqueda sistemática de opciones nuevas que permitan modular en el papel las formas y principios constructivos, similares a los que prevalecen en la naturaleza y que perduran en el medio ambiente.

El objetivo principal de esta investigación es establecer los fundamentos de diseño y proporcionar nuevos criterios que se puedan adoptar en la creación de espacios y para la elaboración de un proyecto arquitectónico en el ámbito tecnológico que utilice la biónica como parte fundamental en su diseño.

---

Esta investigación también tiene como objetivo dar a conocer este nuevo tipo de Arquitectura, que proporcione información sobre las teorías, conceptos, nuevas tecnologías, principales exponentes y tendencias de este movimiento innovador y conocer los paralelismos entre las formas orgánicas y la lógica arquitectónica aplicable al diseño.

La Hipótesis en la que se basa este proyecto de investigación es la siguiente:

Si se establecen los fundamentos de diseño para el desarrollo de un proyecto arquitectónico bajo un modelo biónico se podrán crear espacios y edificios basados en las formas orgánicas de la Naturaleza, los cuales serán más humanizados, que se integren lo más posible a su entorno, que sean más sustentables, con un bajo consumo energético y que no agredan al medio ambiente. Todo esto dará como resultado un proceso creativo que incluya elementos de la ciencia biónica combinado con el proceso de diseño de un proyecto en Arquitectura. Por lo que se estará contribuyendo para el desarrollo del país.

Reflexionar sobre los procesos de crecimiento de la naturaleza abre un debate sobre los nuevos criterios de diseño que se podrían adoptar en la creación de espacios, que necesitan fundamentalmente una manera diferente de ver, entender e interpretar la naturaleza y los procesos constructivos.

La construcción biónica se encuentra en lo que podría llamarse el primer nivel de la evolución de la investigación científica. El estudio para crear esta forma constructiva ha retomado el ámbito de los organismos naturales y aun el de los más delicados en sus formas naturales -flora y fauna- estas características permiten tener varias posibilidades.

Con el desarrollo de esta investigación se podrán obtener datos importantes relacionados con todo el proceso de diseño biónico-arquitectónico de un edificio con estas características, se tendrá una metodología para poder diseñar un edificio bajo la ciencia biónica, se darán los elementos que debe incluir un proyecto de arquitectura biónica, se conocerán las aportaciones de este nuevo tipo de arquitectura en el ámbito tecnológico, se realizará el análisis de cada una de las etapas del proceso creativo para diseñar un edificio bajo el modelo biónico.

---

## PERTINENCIA FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA

La pertinencia es la oportunidad, adecuación y conveniencia de una cosa. Es algo que viene a propósito, que es relevante, apropiado o congruente con aquello que se espera. Es un criterio fundamental para la elaboración de un proyecto académico, de investigación innovación, inversión, etc. En este sentido, la pertinencia establece el grado de necesidad e importancia del proyecto dentro del campo o disciplina en que se desarrolla, así como su adecuación e idoneidad para la realidad en que será aplicado.

La presente investigación sienta las bases y precedentes para futuras investigaciones y líneas de investigación en el campo de la arquitectura. El objetivo principal es establecer una metodología de diseño y proporcionar nuevos criterios que se puedan adoptar en la creación de espacios y para la elaboración de un proyecto arquitectónico en el ámbito tecnológico que utilice la biónica como parte fundamental en su diseño, la cual puede ser utilizada por las nuevas generaciones de estudiantes, así como por maestros, profesionales, investigadores y estudiosos de la arquitectura, la tecnología, la ingeniería y el diseño.

En esta investigación se da a conocer este nuevo tipo de Arquitectura proporcionando información sobre las teorías, conceptos, nuevas tecnologías, principales exponentes y tendencias de este movimiento innovador y conocer los paralelismos entre las formas orgánicas y la lógica arquitectónica aplicable al diseño.

La Arquitectura Biónica es un movimiento para el diseño y la construcción de edificios que expresan trazos y líneas tomadas desde las formas naturales, el cual, comenzó a madurar a principios del siglo XXI. Está en oposición de los tradicionales trazos rectangulares, diseñando esquemas que usen formas curvas, así como superficies de estructuras biológicas y matemáticas fractales.

Se define como una síntesis eco-filosófica de los principios comunes de la biología, la ingeniería y la arquitectura aplicada al desarrollo futuro del hábitat humano en armonía con el progreso y con la naturaleza. Intenta desarrollar tecnología a base de imitar las soluciones que ha seleccionado la Naturaleza durante millones de años. Para el diseño, emplea las formas encontradas en la naturaleza y utiliza la tecnología moderna para crear esta nueva arquitectura.

La Arquitectura Biónica es la evolución de la arquitectura orgánica. Al analizar las obras de la naturaleza, como la base de la arquitectura hecha por el hombre, se da la expresión **“arquitectura evolutiva”**, que se refiere al desarrollo de nuevas estructuras, materiales y procesos de construcción, relaciones ecológicas y conceptos estéticos basados en el desarrollo evolutivo de la naturaleza y su aplicación a los entornos hechos por el hombre.

Este nuevo movimiento va a revolucionar la manera en que se ha hecho arquitectura hasta el momento, tanto a nivel mundial como en nuestro país. Es un tipo de arquitectura evolutiva, en donde se van a crear espacios que estén acordes con las formas de la naturaleza, el hombre se sienta en un ambiente más natural y con la aplicación de las nuevas tecnologías, serán espacios más confortables.

Con el desarrollo de esta investigación las nuevas generaciones de arquitectos y los actuales profesionistas conocerán este nuevo tipo de arquitectura y lo podrán emplear como parte de su actividad profesional, para que existan más proyectos y edificios con esta arquitectura evolutiva.

La vigencia del tema, se demuestra en la arquitectura que están desarrollando en la actualidad, arquitectos como: Cervera & Pioz (España), Zaha Hadid (Inglaterra) y LAVA – Laboratorio de Arquitectura Visionaria- (Australia y Alemania). En México, el Arq. Javier Senosiain es el principal exponente de la arquitectura orgánica, ha sentado las bases para este nuevo tipo de arquitectura evolutiva en nuestro país.

---

También existen otros arquitectos alrededor del mundo que están desarrollando proyectos e inclusive han construido edificios, los cuales son ejemplos de este tipo de arquitectura y se mencionan en esta investigación. Así como se está enseñando en algunas universidades como la de Singapur y la Universidad Politécnica de Madrid.

La arquitectura biónica tiene sus inicios a principios de este nuevo milenio y ha estado en desarrollo durante estos años hasta la fecha y sigue ampliando su estudio con nuevas investigaciones y proyectos a nivel mundial.

En lugar de continuar con los precedentes de la construcción y los principios estructurales clásicos, se analizan las formas naturales. La comprensión de las técnicas y estrategias que utiliza la naturaleza como inspiración para la creación de formas da lugar a esta nueva sensibilidad artística. La aplicación de la ciencia a la Arquitectura Biónica genera la apertura de nuevas líneas de investigación y pensamiento. Pero si se mira el mundo natural y se utiliza la naturaleza como la base para el diseño, es posible crear una arquitectura nueva y revolucionaria.

La presente investigación está relacionada también con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, los cuales fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad.

Los 17 ODS están integrados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados. La creatividad, el conocimiento, la tecnología y los recursos financieros de toda la sociedad son necesarios para alcanzar los ODS en todos los contextos.

## OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Imagen. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados miembros de las Naciones Unidas que la suscribieron y es la guía de referencia para el trabajo de la comunidad internacional hasta el año 2030.

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que la conforman, representan una propuesta de cambio hacia la construcción de un modelo de desarrollo incluyente, justo y equilibrado, que trascienda nuestro tiempo y sienta las bases para un porvenir más próspero para la presente y las futuras generaciones.

Esta guía presenta una oportunidad histórica para América Latina y el Caribe, ya que incluye temas altamente prioritarios para la región, como la erradicación de la pobreza extrema, la reducción de la desigualdad en todas sus dimensiones, un crecimiento económico inclusivo con trabajo decente para todos, ciudades sostenibles y cambio climático, entre otros.



Imagen. 17 ODS en México.

En el caso de México, adoptó la Agenda 2030 como un compromiso de Estado, en donde se entiende como una orientación a largo plazo para todo el país, que debe trascender a los distintos gobiernos y unir a cada uno de los sectores de la sociedad en torno a un objetivo común.

México tuvo un papel importante a lo largo del proceso de negociación y definición de la Agenda 2030 y en la integración de los 17 ODS. Nuestro país participó de manera activa en el Grupo de Trabajo Abierto para los Objetivos, promoviendo consensos y tendiendo puentes entre diferentes países. Se presentaron propuestas puntuales, con el fin de incorporar los principios de igualdad inclusión, universalidad y sostenibilidad.

A través del Plan Nacional de Desarrollo (PND), se hace hincapié en que el desarrollo sostenible es un factor indispensable para el bienestar. La satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades es un hilo rector para la actuación pública.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en los que se basa esta investigación son **Objetivo 7. Energía Asequible y no Contaminante.** Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica, termal y mejorar la productividad energética.

Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medio ambiente.

**Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura.** Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación. La inversión en infraestructura y la innovación son motores fundamentales del crecimiento y el desarrollo económico.

Los avances tecnológicos son esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales, al igual que la promoción de la eficiencia energética.

**Objetivo 15. Vida de Ecosistemas Terrestres.** Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

La vida humana depende tanto de la tierra como del océano para su sustento y subsistencia. La flora provee el 80% de la alimentación humana y la agricultura representa un recurso económico y un medio de desarrollo importante. A su vez, los bosques cubren el 30% de la superficie terrestre, proveen hábitats cruciales a millones de especies y son fuente importante de aire limpio y agua. Además, son fundamentales para combatir el cambio climático.

El estudio de la naturaleza permite desarrollar la nueva arquitectura y el urbanismo, creando propuestas inspiradas en un entendimiento integral de los principios lógicos de flexibilidad, adaptabilidad y la eficiencia energética que prevalecen en todas las especies naturales.

Reflexionar sobre los procesos de crecimiento de la naturaleza abre un debate sobre los nuevos criterios de diseño que se podrían adoptar en la creación de espacios, que necesitan una manera diferente de ver, entender e interpretar la arquitectura.

El ser pionero en la divulgación y en el conocimiento sobre este tipo de arquitectura en nuestro país, ya que actualmente no hay muchos arquitectos que conozcan y que realicen este tipo de arquitectura en México.

En cuanto a la Biónica como disciplina, México es uno de los primeros países en implementarla en Latinoamérica, sin embargo, no debe perderse de vista que su aplicación en la práctica se encuentra relacionada con las técnicas disponibles y el grado de desarrollo de la misma. Se pueden generar ideas muy buenas, pero si no se tiene la tecnología al alcance, éstas no pueden concretarse, entonces la única opción será publicarlas.

Por lo anterior, este tema de investigación está vigente y en la actualidad toma mayor relevancia porque está en pleno desarrollo a nivel mundial, se están llevando a cabo estudios, investigaciones, se están haciendo proyectos y se están construyendo edificios.

---



## ANTECEDENTES. LA BIÓNICA.

Para ubicar el origen de la biónica en la cronología de la humanidad habría que remitirse a la época prehistórica, al momento mismo, en que el hombre buscó solucionar sus problemas de salud, porque ello lo condujo a un aprendizaje, aunque mínimo, de su cuerpo y de cómo subsanar sus lesiones.

Si nos paramos a pensar en los datos que estiman la existencia de vida en la tierra desde hace 2700 millones de años aproximadamente nos puede dar una idea del tiempo de desarrollo que han podido tener algunos ejemplos vivos que nos rodean. La Biónica es tan antigua como el hombre, ya que consciente o inconscientemente la hemos usado desde la prehistoria hasta nuestros días.

La Naturaleza Viva, desde tiempos inmemorables, sirvió al hombre de inspiración en sus afanes de progreso científico y técnico. En el transcurso de toda su historia, el hombre ha aprendido de la Naturaleza, ha copiado las “invenciones” de ésta y ha sido su discípulo. Demócrito, filósofo de la antigua Grecia (cerca de 400 años antes de nuestra era) señaló que los hombres, al concebir sus invenciones, imitaban a la Naturaleza. Él decía: “Copiando a los animales aprendemos las cosas más importantes; somos aprendices de la araña imitándola en los oficios de tejer y confeccionar prendas de vestir; aprendemos de las golondrinas a construir viviendas y del ruiseñor y del cisne a cantar...”.

Hay quienes señalan a Leonardo Da Vinci (1452-1519) como uno de los primeros investigadores biónicos, en función de que aplicó sus estudios sobre la naturaleza a prácticamente todos sus diseños; empezando por el ornitóptero, artilugio volador con alas batientes realizado a partir de un estudio anatómico de los pájaros.

El inventor renacentista diseñó los planos de la máquina voladora que imitaba al murciélago. En ese modelo, la piel impermeable y membranosa cubre y refuerza el esqueleto de las alas del animal; sin duda este principio resultó vital para el diseño de la máquina voladora de Da Vinci.

Cuatrocientos años más tarde, el mismo murciélago inspiró la primera máquina que alcanzara el tan ansiado vuelo; se trata del aparato de Ader. Después de medir con cuidado el esqueleto de un murciélago, Ader construyó a gran escala un armazón similar.

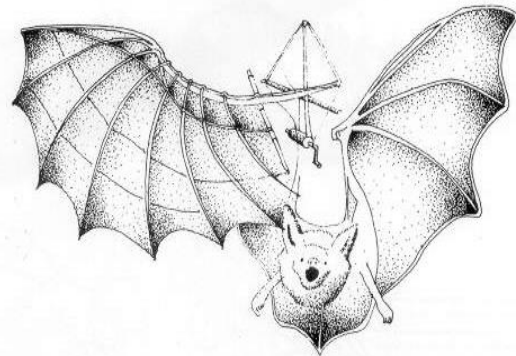


Imagen 1. Máquina voladora. Leonardo Da Vinci

Conforme el hombre deseó incrementar la velocidad de sus máquinas voladoras con motores más potentes y compactos, fijó la atención en las aves, en sus condiciones de vuelo y en las maneras en que vencen la resistencia del aire. El resultado de sus observaciones lo aplicó en las aeronaves, por lo que éstas ahora guardan una enorme similitud en su diseño aerodinámico con el de los pájaros.

El pico del pájaro y la punta de los aviones sirven para cortar el aire haciendo más rápido y ligero el desplazamiento. La ubicación de la cabina –visibilidad del piloto- es comparable con los ojos de los pájaros. Las alas de aves y aviones, así como alerones, operan para lograr fluidez, ejecutar maniobras en el aire y permitir el aterrizaje. La cola –tanto de aves como de aviones- se usa para dirigir y dar impulso al vuelo. Finalmente, la ubicación del tren de aterrizaje se asemeja a la de las patas de las aves.

Más tarde, con el propósito de volar a velocidades superiores y conquistar el espacio, el hombre se inspiró en algunos animales acuáticos. Al percatarse de que el agua ejerce mayor resistencia que el aire, concibió el jet de propulsión a chorro y cohetes.

En la Naturaleza se mantiene un proceso evolutivo, en el que los sistemas poco eficaces desaparecen, dando lugar al perfeccionamiento de los que mejor se adaptan a las condiciones que prevalecen en el medio natural. Entonces, al inspirarse en estos modelos, el hombre aprovecha todo este proceso de mejoramiento y lo plasma en sus diseños.

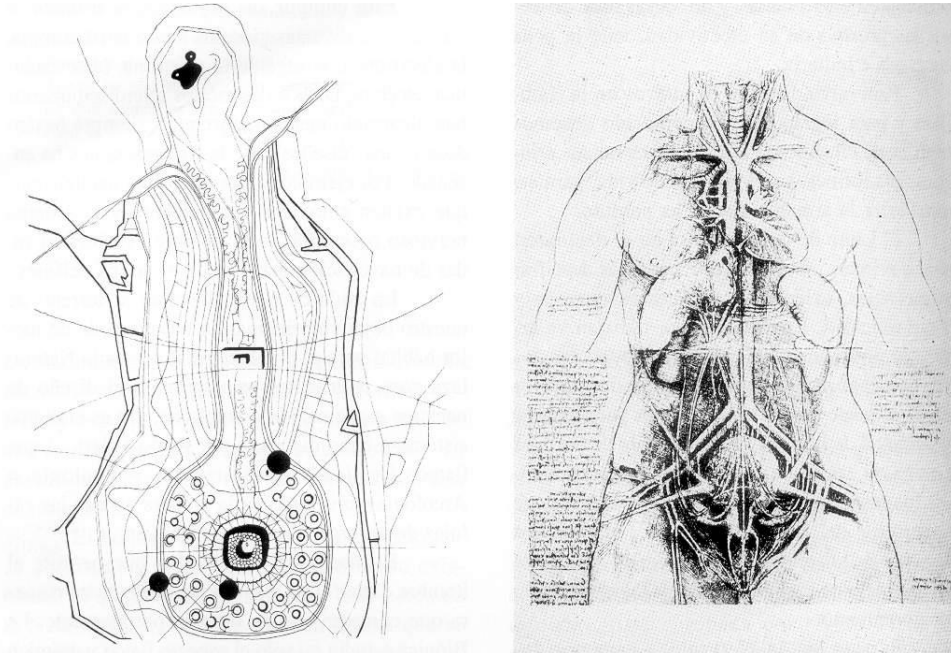


Imagen 2. Analogía de Mesa City concebida por Paolo Soleri con el apunte anatómico de Leonardo Da Vinci.

Comenzando el estudio por las manifestaciones exteriores de la Naturaleza que se prestaban a su observación directa, copiando lo que estaba al alcance de su contemplación inmediata, el hombre posteriormente consiguió penetrar en la esencia de las cosas y de los procesos del mundo que lo rodeaba, aprendió a descubrir la profunda interrelación entre los mismos, a conocer las leyes que rigen la Naturaleza y apoyándose en los conocimientos obtenidos pasó a transformar las cosas y los procesos conocidos de acuerdo con las necesidades de la actividad práctica.

En la Física, el estudio de muchos principios fundamentales de la teoría de la electricidad comenzó con el análisis de la llamada electricidad animal. Los célebres experimentos del fisiólogo italiano del siglo XVIII Luis Galvani (1737-1798), realizados con las extremidades de la rana, condujeron a la creación de los acumuladores galvánicos, fuentes químicas de energía eléctrica. El fisiólogo y físico francés del siglo XIX Juan Luis M. Poiseville (1799-1869), basándose en las investigaciones experimentales sobre la circulación de la sangre en los vasos sanguíneos estableció (en los años 1840-1841) la ley de la circulación de los líquidos en los tubos estrechos.

En 1933, Bucky Fuller diseñó un automóvil basado en una forma natural. En ese entonces los primeros vehículos de combustión interna semejaban simples cajas sobre ruedas. Seguían el diseño de las diligencias tiradas por caballos, pero en lugar de éstos se colocó el motor (caballos de fuerza); no se contemplaba aún la resistencia que el aire imponía sobre el vehículo al incrementar la aceleración.

Entonces dedujo que la forma del automóvil no era la indicada y que por tanto debía modificarse. Encontró la solución en ¡la gota de lluvia!, la cual, al caer a través de la atmósfera, va modificando su forma esférica: la parte delantera conserva su redondez y soporta la mayor cantidad del fluido, mientras que el borde trasero lateral queda dibujado por las líneas de la corriente del aire.

Bucky estudió la figura de la gota de lluvia y a partir de este principio diseñó el auto Dimaxión y cambiando la forma típica del auto ordinario obtuvo otras ventajas. El auto de Fuller, con un motor ordinario comprado en la fábrica Ford, alcanzaba sin dificultad velocidades de hasta 190 kilómetros por hora. En 1933, se habría necesitado un motor tres veces más potente para realizar la misma hazaña con cualquier otro automóvil. Este es uno de los pocos ejemplos en el que se observa que después de la forma viene la función. El hombre, mediante su inteligencia e intuición, llega en ocasiones a resultados cuyos principios son similares a los de la naturaleza, incluso sin conocerlos.

El término Biónica viene de los vocablos griegos *bios* (vida) e *-ikos* (unidad): unidad viviente, término con el que se designa a toda construcción artificial que ha tomado como modelo a los sistemas vivos. Con este sentido, la palabra fue utilizada por primera vez en 1958 por Jack E. Steele.

No fue hasta 1960 cuando hubo una definición concreta del término que sigue siendo válida hoy en día y que acuñó el Ingeniero y Comandante Jack Steele, de la U.S. Air Force.

La Ciencia Biónica, disciplina nacida en Rusia a mediados del siglo XX, se aplica generalmente a la ingeniería y surge del estudio de los sistemas resistentes y vitales de los seres y formas de la naturaleza. Este interés de los científicos e ingenieros por describir aquello en lo que la Naturaleza es más perfecta, inteligente y económico que la técnica moderna; así como los intentos de encontrar nuevas ideas, métodos y medios para la solución de infinidad de problemas técnicos, dieron nacimiento a una nueva tendencia científica que recibió el nombre de "biónica" (de la palabra griega *bión*, que significa elemento de la vida, célula de la vida o, más exactamente, elemento del sistema biológico).

Sin embargo, el día de la aparición de la biónica se considera el 13 de septiembre de 1960, fecha en que se dio apertura en Dayton (estado de Ohio) al Simposio Nacional Americano sobre el tema: "Los prototipos vivos, llave hacia una nueva técnica". La biónica es una ciencia interdisciplinaria ó, como se denomina actualmente una ciencia-encrucijada. Está formada sobre la base de las ciencias naturales y de infinidad de ciencias ingeniero-técnicas. En esencia sintetiza los conocimientos acumulados en biología, radiotécnica, química, cibernética, física, psicología, biofísica, construcción de aparatos, zoopsicología, construcción, etc.

De entonces a la fecha, por tomar un punto de referencia, las aplicaciones de la biónica son múltiples: más cercanos a nuestro tiempo resultan los estudios del cuerpo del delfín que han ayudado a los constructores navales a diseñar cascos; la fabricación, en los años 40's, de radares inspirados en el modelo acústico del murciélago que, sin ver, es capaz de desplazarse en zonas con obstáculos.

En este campo, los murciélagos son el ejemplo vivo ideal para estudiar los sonidos. Estos animales disponen de sensores especiales de ultrasonido. Dado que los sonidos agudos o graves tienen una reflexión diferente según la superficie en la que inciden, el "eco" de estos tonos es lo que los animales analizan. Con el ultrasonido y el radar, el ser humano adquirió recientemente la misma habilidad, aunque sólo gracias a la ayuda masiva de las computadoras.

Cada vez es más frecuente que los ingenieros imiten a la naturaleza en busca de soluciones a los problemas técnicos. En la capacidad de las plantas y animales de adaptarse a las más variadas condiciones ambientales, el hombre encontró la respuesta para mejorar sus tecnologías.

Entretanto, el hombre intenta copiar algunas de las características del reino animal a través de la técnica ensayo-error. Esta tarea se le asignó a la ingeniería moderna, que debe aprender de la naturaleza mucho más que sólo la metodología.

Son innumerables los ejemplos de la aplicación de la Biónica. Considerando algunas de las relaciones como una especie de analogías, se pueden señalar las siguientes:

NATURALEZA	DISEÑO
Delfín	Torpedo acuático
Libélula	Helicóptero
Retina del ojo	Cámara fotográfica
Murciélago	Radar
Patas de cangrejo	Pinzas
Escamas	Tejas
Patas de aves acuáticas	Aletas
Telarañas	Redes
Raíz	Cimiento
Cascarón de huevo	Cúpula
Caparazón de tortuga	Armadura
Pezón	Chupón
Tronco	Columna

Al estudiar los fenómenos y procesos biológicos, la biónica no procede a copiar ciegamente los “inventos” de la Naturaleza. Procura adoptar de ésta, en la construcción y en la tecnología, únicamente las soluciones más perfectas, que aseguren a los sistemas biológicos una extraordinaria flexibilidad y vitalidad en las complejas condiciones en que se desenvuelven.

En otras palabras, la biónica procura trasladar a la técnica las mejores creaciones de la naturaleza, las estructuras y procesos más racionales y económicos que fueron cimentándose en los sistemas biológicos durante millones de años de desarrollo evolutivo.

En la gran diversidad temática de las investigaciones biónicas actuales se destacan notoriamente cinco direcciones: la neurobiología, la modelación de sistemas analizadores, la orientación y la navegación, la biomecánica y la bioenergética.

La medicina se beneficia de los descubrimientos, de las aplicaciones de la electrónica. Es uno de los campos donde el diseño, desarrollo y construcción de dispositivos artificiales, emuladores del comportamiento, desempeño morfológico y funcional de los sistemas biológicos, ha tenido un gran impacto.



Imagen 3. Brazo biónico



Imagen 4. Prótesis biónica.

Se han construido gran cantidad de manipuladores que son una repetición de los elementos estructurales de las manos del hombre. Son muy conocidas las prótesis bio-manipuladoras para inválidos creadas en Rusia dirigidas por corriente biológica

En este campo, la biónica significa la sustitución de órganos o miembros por versiones mecánicas. Los implantes biónicos se diferencian de las meras prótesis porque imitan la función original fielmente en incluso la superan.

Gracias a la biónica, se ha podido llevar a cabo sistemas de adquisición, reproducción y compresión dentro del campo audiovisual, teniendo en cuenta las limitaciones de los sistemas auditivo y visual humanos.

La Biónica realiza amplias investigaciones sobre las peculiaridades morfológicas de los organismos vivos. Parte considerable e importante de estas investigaciones se refieren a la biomecánica. Se estudian las peculiaridades estructurales y funcionales de las manos y pies del hombre, la mecánica de la carrera, de los saltos y de los movimientos de algunos animales al arrastrarse y al reptar, la forma del cuerpo y el aparato locomotor de los peces, moluscos, delfines, tiburones, ballenas, el vuelo de las aves y de los insectos.

Actualmente se puede destacar la creación de cuerpos artificiales. Hay que mencionar que se espera un gran progreso relacionado con el avance de las nanotecnologías: entre ellas, la retina de silicona, creada por Kwabena Boahen de Ghana, capaz de procesar imágenes de la misma manera que una retina natural.

Las retinas artificiales no han logrado hasta ahora éxitos similares en la tarea de mejorar la visión de los pacientes, pero se podrían dar en el futuro.

La aplicación de la biología a la electrónica, el estudio de los fenómenos fisiológicos que puedan inducir los dispositivos electrónicos, ha incitado a los electrónicos a examinar su propia disciplina bajo un ángulo nuevo: La biónica.

Los estudios de biología comparada, hechos en el conjunto del mundo viviente, han maravillado siempre a los cibernéticos. La naturaleza es un inmenso laboratorio donde se realizan continuamente experiencias; lo más difícil es saber observarlas e interpretarlas.

Mientras las tecnologías que desarrollan implantes biónicos están aún en desarrollo, ya se puede disponer de algunos aparatos biónicos: uno de los más famosos es el implante coclear, para la gente sorda.

Un claro ejemplo dentro del mundo de la adquisición son los micrófonos, los amplificadores, los altavoces que han sido diseñados de acuerdo con los rangos audibles por los humanos, es decir, de 20 Hz en 20KHz.

Todos estos avances en la Biónica han ayudado a la medicina a realizar grandes avances en la cura de enfermedades y deficiencias físicas.

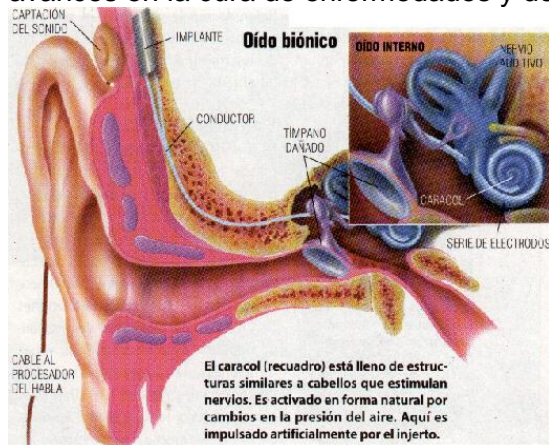


Imagen 5. Oído Biónico

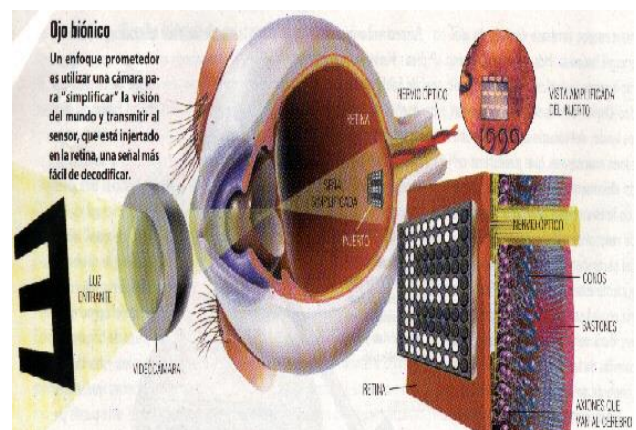


Imagen 6. Ojo Biónico

La Biónica ha tenido un gran desarrollo en países como Alemania, Japón que tiene un gran desarrollo en Bio robots, Estados Unidos e Inglaterra. En Latinoamérica y España se cuenta también con desarrollos de este tipo. En México se fundó la carrera de Ingeniería Biónica en la UPIITA (Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas) del IPN (Instituto Politécnico Nacional) en 1996.

## CAPÍTULO I. LA FORMA DE LA NATURALEZA.

### 1.1. La Dinergía en las Plantas.

La disciplina intrínseca en las proporciones y en los patrones de formación de los fenómenos naturales se manifiesta también en la mayoría de las obras humanas clásicas y armoniosas y evidencia el vínculo existente entre todas las cosas. Los límites de la disciplina permiten vislumbrar la armonía del cosmos y tomar parte en ella, tanto en lo que se refiere al mundo físico como a nuestro modo de vivir.

Si se observa detenidamente, se encontrará en la flor una unidad y un orden comunes a todas las demás creaciones naturales y artificiales. Ese orden se puede apreciar en ciertas proporciones, que aparecen una y otra vez y también en el similar y dinámico modo de crecer y de formarse de todas las cosas: por la unión de opuestos complementarios.

El nombre *sección áurea* (de oro) se debe tanto a la singularidad de esta relación proporcional como al valor característico que se le atribuye. En cualquier línea existe un solo punto donde se la puede dividir en dos partes desiguales de este modo singularmente recíproco; se le llama el punto de la sección áurea. La total reciprocidad de esta proporción es impactante, en particular por armoniosa y placentera, lo cual ha sido demostrado desde fines del siglo XIX por numerosos experimentos científicos. También es evidente la preferencia por esta proporción en la normalización de los tamaños de papel, incluso del papel moneda, los cheques y las tarjetas de crédito.

Expresado en forma de ecuación:  $A:B = B:(A+B)$ . Es la fórmula de la célebre sección áurea, relación recíproca exclusiva entre dos partes desiguales de un todo, en la que la parte pequeña es a la parte mayor lo que ésta es al todo.

Con frecuencia se ha demostrado que las proporciones de la sección áurea aparecen comúnmente en los patrones del desarrollo orgánico, en particular entre los crecimientos antiguos y nuevos, que se hallan cerca unos de otros. Ésta es la razón por la que el biólogo C.H. Waddington propuso llamar a esta proporción *parentesco de vecinos*.

Los patrones generados por espirales que se despliegan en direcciones opuestas son importantes aquí como ejemplo particular de un proceso general de formación según un modelo: la unión de opuestos complementarios. Sol y Luna, masculino y femenino, electricidad positiva y negativa, Yin y Yang...; la unión de los opuestos ha sido un concepto significativo en las mitologías y en las religiones fundadas en misterios. Las dos partes que constituyen las proporciones de la sección áurea son desiguales: *menor* y *mayor*, los opuestos unidos en una proporción armoniosa.

Muchas palabras se refieren a distintos aspectos del proceso de formación según el modelo de unión de los opuestos, pero aunque resulte extraño, ninguno expresa su poder generativo. Polaridad implica los opuestos, pero no indica el nacimiento de algo nuevo. *Dualidad* y *dicotomía* señalan la división, pero no aluden a la unión. *Sinergia* indica unión y cooperación, pero no se refiere específicamente a los opuestos<sup>1</sup>.

Ya que no existe un término adecuado para describir este proceso universal de creación con base en un determinado modelo, se propone una nueva palabra: Dinergía, compuesta por los vocablos griegos, *dia*, “de un lado al otro, a través, opuesto”, y “energía”.

---

<sup>1</sup> DOCZI, György. El poder de los límites . Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.3.

Los números que representan la vecindad de etapas antiguas y nuevas de crecimiento demuestran ser miembros de una serie sumatoria, en la que cada número es la suma de los dos anteriores: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, etc.

Esta es la famosa serie de *Fibonacci*, así llamada por el sobrenombre de Leonardo de Pisa, quien hace aproximadamente 800 años la introdujo en Europa, junto con los números indo-arábigos y el sistema decimal. Cualquier número de esta serie dividido por el siguiente da un resultado cercano a 0.618 y cualquier número dividido por el anterior da un resultado cercano a 1.618; es decir, los cocientes proporcionales característicos entre las partes menor y mayor de la sección áurea. Con frecuencia se usa la letra griega “phi” ( $\Phi$ ) para representar literalmente esta proporción.

Los tres puntos que siguen a continuación de los números indican que éstos son “irracionales”, así llamados porque sólo pueden ser aproximados y nunca se expresan por completo en una fracción. Se puede seguir dividiendo sin fin cualquier par de números vecinos –después del 13-.

Los números de la serie de Fibonacci reaparecen en la cantidad total de espirales del girasol. El modelo fue hecho a partir de una cabeza de girasol que tenía 34 y 55 espirales:  $34:55 = 0.6181818$ . También existe información sobre girasoles con 89 y 144, y 144 y 223 espirales opuestas;  $89:144 = 0.618055$ ;  $144:233 = 0.6180257^2$ .

Parece poco razonable creer que la cantidad de semillas de un girasol esté predeterminada, sin embargo, eso es exactamente lo que sucede. Los números irracionales no son irrazonables; únicamente están más allá de la razón, en el sentido de que trascienden el alcance de los números enteros. Son infinitos e intangibles. En los patrones de crecimiento orgánico, la proporción irracional  $\Phi$  de la sección áurea revela que existe en efecto un lado infinito e intangible de nuestro mundo.

Cada margarita y cada girasol es una ventana al infinito, como también lo son las flores del manzano y las de los demás árboles y arbustos que producen frutos comestibles. Ellos crecen de acuerdo con el patrón de formación del pentágono y su extensión, la estrella pentagonal o pentágrafo, en la que las líneas de vecindad se vinculan entre sí, según relaciones áureas y dinérgicas entre vecinos. Si se cortan horizontalmente las manzanas y las peras, revelan en la distribución de sus semillas el patrón de estrella pentagonal heredado del patrón original de la flor.

Los lados de un triángulo rectángulo (con diez triángulos se forma el pentágono) también se aproximan a las relaciones áureas dinérgicas entre vecinos. Tal como se muestra dentro de la estrella pentagonal, esos lados son cercanos a las longitudes de 3,4 y 5 unidades, y el 3 y el 5 son miembros vecinos de la serie de Fibonacci ( $3:5 = 0.6$ )<sup>3</sup>.

A este triángulo 3-4-5 a veces se le denomina triángulo pitagórico, porque ilustra el teorema de Pitágoras (el cuadrado de la hipotenusa del triángulo rectángulo es igual a la suma del cuadrado de los catetos). Ese triángulo con frecuencia se halla en los patrones de las plantas.

---

<sup>2</sup> DOCZI, György. El poder de los límites . Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.5.

<sup>3</sup> *Ibidem*. p. 7.

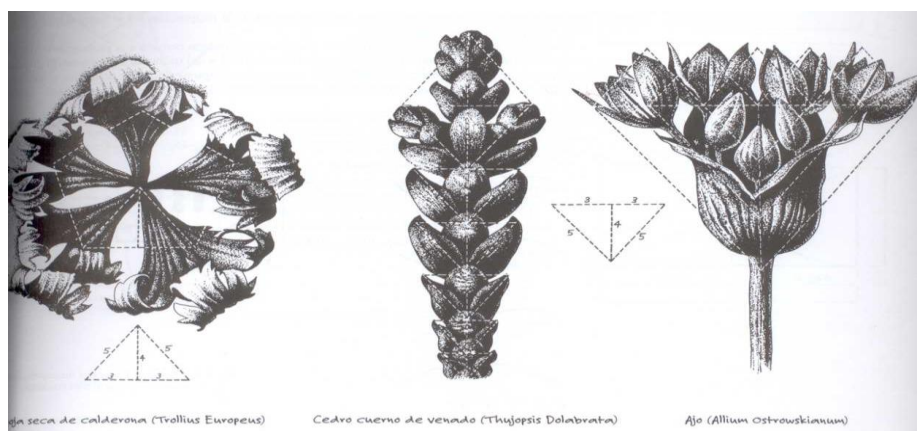


Imagen 7. El triángulo 3-4-5 de Pitágoras en las plantas.

La estrella pentagonal fue el emblema sagrado de la hermandad pitagórica, formada por hombres y mujeres que vivían en comunidades y se abstendían de toda forma de lujuria, consagrados a una vida de moderación y a la práctica de la curación. Los pitagóricos aplicaban las letras del nombre “Hygeia”, diosa de la curación, a los vértices de su sagrado emblema.

El pentágono, como todos los patrones de formación, se define por sus límites. Incorporados en los armoniosos patrones de las frutas y las flores ejemplifican un epigrama atribuido a Pitágoras: “el límite da forma a lo ilimitado”, es el poder de los límites<sup>3</sup>.

### 1.1.1. La armonía y el crecimiento.

En general, por armonía se entiende la unión adecuada, ordenada y agradable de diversidades, que en sí mismas pueden albergar muchos contrastes. En ese sentido, la armonía es una relación dinérgica, en la cual elementos diferentes y a menudo contrastantes se complementan entre sí a través de la unión. El origen mismo de la palabra armonía, del griego *harmos*, unir, sugiere que tal unión dinérgica está presente en el corazón de todas las armonías.

El concepto de armonía también se remonta a Pitágoras, quien, la descubrió al oír el sonido de martillos provenientes de diferentes yunques, en el taller de un herrero. Esta observación lo guió por analogía a otros instrumentos, como las vibrantes cuerdas de una lira. Descubrió que dos cuerdas juntas sonaban más gratamente cuando eran iguales o cuando una se pulsaba a  $1/2$ ,  $2/3$  ó  $3/4$  de la longitud de la otra; en otras palabras, cuando la longitud de las cuerdas pulsadas se relacionaba en proporciones expresables en los números enteros mínimos: 1, 2, 3, 4<sup>4</sup>.

La proporción 1:1, que es la identidad, se llama *unísono*. La proporción 1:2, que produce el mismo sonido que la cuerda entera, sólo que más agudo, se llama octava, porque se llega a él a través de ocho intervalos de la escala. Los griegos llamaban a esta proporción *diapasón*: día, “a través”, y pasón, de pas o pan que significa “todo”. El grato sonido de la proporción 2:3 se llamó *diapente* (penta, “cinco”), denominado hoy quinta, pues se llega a él a través de cinco intervalos. La consonancia de la proporción 3:4 se llamó diatésaron (tésares, “cuatro”) o cuarta.

<sup>3</sup> DOCZI, György. El poder de los límites . Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.7.

<sup>4</sup> Ibidem. p.8.



La proporción  $2:3 = 0.666$  del diapente es una aproximación cercana a la proporción  $0.618$  de la sección áurea. El diatésaron es idéntico a la proporción  $3:4$  del triángulo de Pitágoras. El diapasón, la octava, tiene la proporción  $1:2 = 0.5$  de un rectángulo compuesto por dos cuadrados iguales y una diagonal de  $\sqrt{5}$ , que es la longitud unida de los dos rectángulos áureos recíprocos.

La unión dinérgica de la armonía y el sonido fundamental es lo que da a los sonidos musicales plenitud, vitalidad y belleza –se le llama timbre- y lo que los distingue del mero ruido, que carece de tal armonía dinérgica entre diferentes sonidos.

Las escalas y acordes diatónicos occidentales se suman a los ejemplos de las proporciones  $1:2$ ,  $2:3$  y  $3:4$ , en la dinérgica de las armonías musicales. Las dos modalidades principales de las escalas occidentales, la menor (considerada triste) y la mayor (asociada con la brillantez) difieren una de otra únicamente en la longitud de los pasos entre ciertos intervalos, tal como las partes menor y mayor de la sección áurea difieren entre sí sólo por sus longitudes. Y tal como la unión de las partes menor y mayor nos deleita en las armonías visuales de la sección áurea, así también la unión de las escalas menor y mayor, llamada modulación, nos encanta cuando la escuchamos en el fluir de acordes y melodías.

Tanto la escala menor como la mayor tienen, cada una, sus propias variantes –llamadas dominantes y subdominantes- con sus propios conjuntos de acordes; y la relación de éstos con sus contrapartidas tónicas nuevamente se ajusta a las proporciones antes mencionadas. La dominante es el intervalo de quinta desde la nota clave (la primera nota de la escala) y la subdominante, el de cuarta.

Debe mencionarse un ejemplo más entre la dinérgica y las analogías de las proporciones: el contrapunto. En el contrapunto, la unión dinérgica unifica y complementa mutuamente dos o más líneas musicales diferentes y por lo general contrarias, permitiéndoles conservar al mismo tiempo su propia identidad, de un modo muy similar al de las espirales unidas dinérgicamente que crean armonías visibles en la margarita y el girasol<sup>5</sup>.

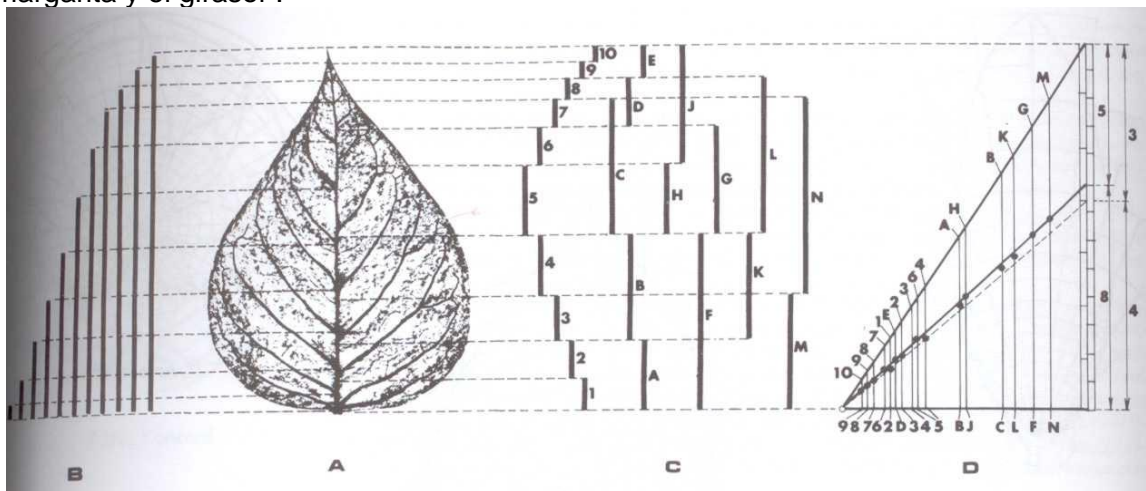


Imagen 8. Proporciones armónicas de la hoja de lila.

Profundicemos ahora en el crecimiento de las plantas. La figura 2 es una calca del dorso de una hoja de lila, obtenido por frotamiento. El diagrama **B** muestra que las distancias entre los puntos iniciales de las nervaduras se agrupan en un orden armónico a lo largo del nervio medial, como los tubos del órgano. Las distancias entre las nervaduras

<sup>5</sup> DOCZI, György. El poder de los límites. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.11.

consecutivas marcadas de 1 a 10 en el diagrama **C** forman una serie similar. Esas distancias y sus agrupamientos se han alineado por pares de vecindad en el diagrama **D**. Sus relaciones proporcionales caen dentro de los estrechos límites del cociente proporcional de 0.618 de la sección áurea, aprox. por  $5:8 = 0.625$  (línea de guiones y puntos) y la proporción  $3:4 = 0.75$  del triángulo 3-4-5 del pentágono pitagórico, que corresponde a las armonías musicales de diapente y de diatésaron.

Las relaciones revelan patrones de crecimiento armoniosos y dinérgicos, en el sentido de que todas las menores y mayores (nervaduras y ramas grandes y pequeñas) se unifican con sus vecinas en proporciones limitadas a los cocientes de los mismos números enteros mínimos que crean las armonías fundamentales de la música. Procesos de crecimiento igualmente dinérgicos y armoniosos se pueden observar en la formación de otras hojas que no sean de lila.

En la figura 3 están reconstruidos los contornos de una selección aleatoria de hojas, con el método dinérgico de combinar líneas de irradiación y de rotación. Si estos patrones se miran, no como figuras estáticas sino como trazos del proceso dinérgico que les dio existencia, los contornos de esas hojas se convierten en su historia, relatada en el idioma silencioso de los patrones de formación<sup>6</sup>.

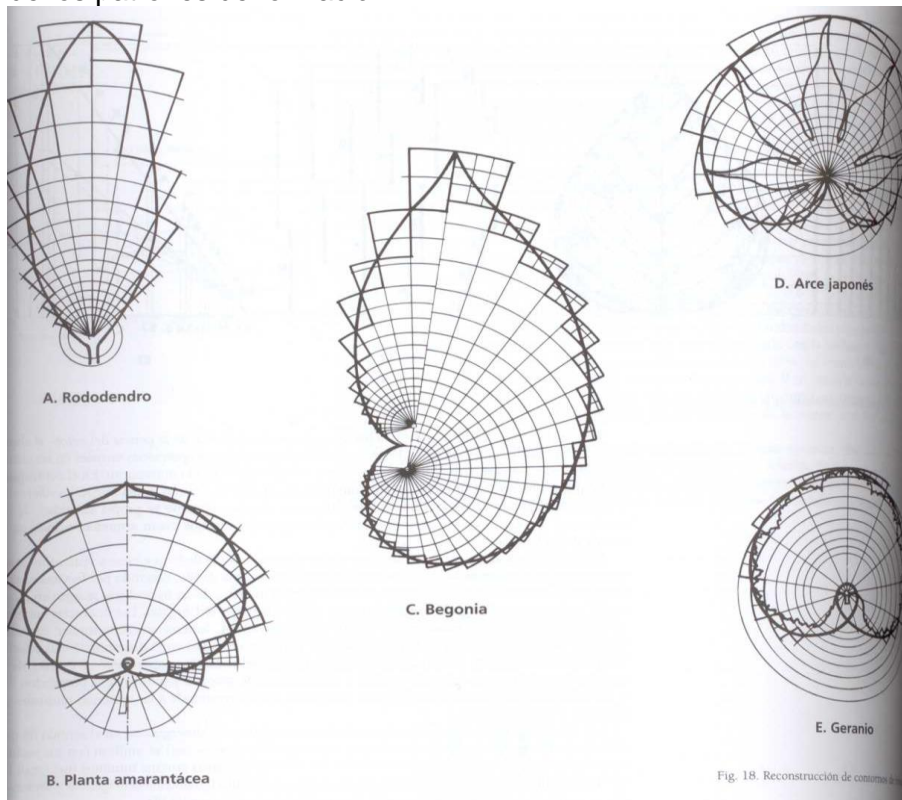


Imagen 9. Reconstrucción de contornos de hojas.

Los contornos de la hoja del rododendro (**A**) comienzan a partir del pecíolo en el centro, con dos círculos crecientes, que se mueven de un radio al siguiente. Este ritmo aumenta a tres radios en el espacio intermedio, sólo para reducirse nuevamente a dos, cerrando con aproximadamente  $1 \frac{1}{3}$  en la punta de la hoja. Ésta es la historia de vida del patrón de la hoja lanceolada<sup>1</sup>.

<sup>6</sup> DOCZI, György. El poder de los límites. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.12.

La hoja redondeada u orbicular de las plantas amarantáceas (**B**) es producida por un patrón diferente. El contorno comienza cruzando cinco círculos, al tiempo que se mueve del primer radio al segundo, y este ritmo disminuye gradualmente a tres y después a dos círculos, reduciéndose por último a uno en la maduración.

Las dos mitades de la hoja de begonia (**C**) se desarrollan en proporciones diferentes, haciéndola asimétrica de un modo característico. No obstante, existen otras variedades de patrones armónicos creados por proporciones de desarrollo diverso, como la hoja quinquefoliada del arce japonés (**D**), las hojas lobuladas del geranio (**E**) y la hoja de la planta de uva Concord. En estos últimos dos patrones, sólo se han reconstruido los contornos envolventes, aunque es muy probable que los detalles de los componentes se puedan trazar de modo similar. Por último, la hoja cordada de la lila comienza moviéndose a través de cuatro círculos dentro del espacio de los primeros dos radios, se reduce después a tres, a dos y a uno, sólo para manifestar un último impulso heroico creciendo tres círculos antes del final.

Son sólo unos pocos ejemplos de contornos de hojas, que rastrean procesos de formación de patrones similares a los que dan forma a las margaritas, a los girasoles, a las flores de los frutos comestibles y a las armonías musicales. Indican que las mismas armonías dinérgicas que deleitan nuestros ojos en las formas de las hojas y de las flores también encantan nuestros oídos en los acordes y las melodías de la música.

Se puede decir que la dinérgia, es aquella energía creadora del proceso que transforma las discrepancias en armonías, permitiendo que las diferencias se complementen mutuamente. La dinérgia cumple este cometido por el poder de ciertas proporciones -análogas a las armonías musicales fundamentales- conocidas desde la antigüedad, entre las cuales se destaca la sección áurea.

El poder de la sección áurea para crear armonía surge de su exclusiva capacidad de aunar las diferentes partes de un todo de modo que, conservando cada una su propia identidad, las combina no obstante en el patrón mayor de un todo único. El cociente de la sección áurea es un número irracional e infinito que sólo puede ser aproximado y, sin embargo, tales aproximaciones son posibles incluso dentro de los límites de los números enteros mínimos. Este reconocimiento produjo en los antiguos pitagóricos un temor: percibieron en él, el poder secreto del orden cósmico. Dio origen a su creencia en el poder místico de los números. También llevó a sus esforzados intentos de realizar las armonías de tales proporciones en los patrones de la existencia cotidiana, elevando, de este modo, la vida al nivel del arte<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> DOCZI, György. El poder de los límites . Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.13.

## 1.2. La Anatomía de la Participación.

### 1.2.1. Conchillas, almejas, cangrejos y peces.

Las estructuras de las conchillas han sido objeto de numerosos estudios que demuestran que sus armoniosas formas se despliegan en espirales logarítmicas, caracterizadas por las proporciones de la sección áurea. Una espiral logarítmica típica del crecimiento de la conchilla, muestra que cada etapa consecutiva de crecimiento se encuadra en un rectángulo áureo, un cuadrado mayor que el anterior, patrón al que Jay Hambidge llamó “cuadrados en remolino”.

Se puede apreciar que conchillas de formas muy diferentes comparten las proporciones de la dinergia áurea, al comparar, por ejemplo, la conchilla reloj de sol del Atlántico (*Architectonica nobillis*) que es casi perfectamente circular, con una delicada variedad de la conchilla abalón (*haliotis asinina*), alargada como una oreja de asno (“asininus” significa “asno” en latín). Las sucesivas etapas de crecimiento de la conchilla abalón -medidas a lo largo de los radios equidistantes de vecinos- corresponden a los números de la serie de Fibonacci.

Los aumentos sucesivos del crecimiento de la conchilla reloj de sol del Atlántico se pueden medir fácilmente, debido a su forma casi circular. Las reconstrucciones –con el mismo método dinérgico de combinar los aumentos radiales y rotativos del crecimiento, que antes se aplicaron al estudio de la margarita, el girasol y a los contornos de las hojas– revela que la diferencia de la curvatura es solo de ritmo o coeficiente de despliegue. La espiral de la conchilla reloj de sol se mueve con relativa lentitud entre círculos consecutivos. Se arrastra a través de no menos de 20 radios antes de pasar de un círculo al siguiente: proporción de 20:1 entre el crecimiento radial y rotativo. A la conchilla abalón le toma de 4 a 5 radios pasar de un círculo al siguiente: proporción de 4 o 5:1.

Las construcciones de la sección áurea demuestran que las proporciones entre los anchos de espirales vecinas son áureas: cuyo ancho y longitud corresponden al ancho de la espiral vecina. La armonía creada por esta relación se ilustra también con barras tipo tubo de órgano, que señalan la longitud acumulativa de las espirales paulatinamente ensanchadas. Una serie de ecuaciones que resultan iguales a  $\phi$  expresan también el hecho de que todo el proceso de crecimiento comparte las mismas proporciones.

Las conchillas crecen simultáneamente en las tres dimensiones del espacio. Pero en la conchilla abalón y en la reloj de sol, la tercera dimensión –profundidad- es relativamente pequeña. En otras conchillas donde la profundidad es mayor esa parte del desarrollo también comparte las proporciones de la dinergia áurea, como se puede apreciar por ejemplo en el buccino dilatado de Nueva Zelanda (*penion dilatatus*). El diagrama de ondas indica cómo comparten las mismas relaciones áureas las espirales vecinas. La vista lateral de la almeja pata de oso ilustra la maravillosa precisión de la dinergia compartida entre las dos valvas, que se entrelazan y complementan mutuamente. Las reconstrucciones de los contornos básicos revelan que la armonía de esta encantadora forma comparte las mismas dinergias que los numerosos ejemplos de crecimiento orgánico<sup>8</sup>.

El estudio de distintas formas de peces revela armonías rítmicas parecidas, resultantes de límites proporcionales compartidos de manera similar. El análisis de las proporciones de 10 peces diferentes, elegidos al azar de las aguas del Pacífico de Canadá demuestra

---

<sup>8</sup> DOCZI, György. El poder de los límites. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.53.

que sus contornos básicos –y con frecuencia también las partes de sus cuerpos– comparten de distinto modo, tanto las proporciones de la sección áurea como las del triángulo 3-4-5. Las imágenes de cada uno de los 10 peces ilustran cómo se encuadran los contornos en rectángulos áureos, sus múltiplos y sus recíprocos, a veces combinados con cuadrados. En muchos ejemplos, la boca está en el punto de la sección áurea de la altura del cuerpo, como es el caso del salmón plateado, el pez roca de lomo emplumado (*Carpoides carpio*), la perca manchada (*familia embiotocidae*) y la lamprea (*lampris regius*). La hilera inferior de peces muestra cómo se encuadra una serie de triángulos 3-4-5 dobles en los contornos de la boca a la cola.

Si se toman los diagramas de triangulación 3-4-5, que representa la altura vertical del cuerpo, y se combina cada vez la longitud de 3 de ellos, se obtiene una verdadera progresión armónica ejemplificada con el salmón plateado, el lenguado de aleta rizada, el pámpano del Pacífico, la perca manchada y la barracudita rayada. Del mismo modo, las armonías de estos ritmos se aproximan a las fundamentales de la música, como lo demuestran los diagramas de ondas y gráficos.

Incluso al considerar la tercer a dimensión, el grosor de estos peces se manifiesta la tendencia a participar en la sección áurea. Los mismos límites proporcionales prevalecen en las formas de las rayas comunes y venenosas: la parte más voluminosa del cuerpo – en el caso de la raya de aguas profundas, la raya negra, la negra de trompa alargada y la raya estrellada- está contenida dentro de dos rectángulos áureos y, en el caso de la gran raya se encuadra en un solo rectángulo áureo. El ancho máximo de los cuerpos coincide invariablemente con el punto de la sección áurea de la altura.

De diferentes modos, la longitud de la cola de la raya comparte los mismos límites proporcionales; la longitud de la altura del cuerpo de la raya negra y la cola son prácticamente iguales. En el caso de la raya de trompa alargada y de la raya estrellada, la cola corresponde al lado más corto de un rectángulo áureo y el lado mayor es igual al ancho del cuerpo.

Los contornos principales del cuerpo de la raya venenosa están contenidos en dos conjuntos de triángulos recíprocos 3-4-5; el ancho total corresponde al lado en que se unen estos dos conjuntos de triángulos y la longitud de la cola es el doble de la altura del cuerpo. El cuerpo de la raya costera oceánica se encuadra en un rectángulo compuesto por dos triángulos 3-4-5 y la longitud de su cola es igual al ancho del cuerpo<sup>9</sup>.

### 1.2.2. Compartir: la naturaleza de la naturaleza.

En la vida animal, compartir es un proceso tan elemental de formación según patrones que es difícil seleccionar unos pocos ejemplos, sin dejar de lado muchos más igualmente significativos. Darwin observó que los perros expresan sus sentimientos de hostilidad o amistad con movimientos; a partir de las investigaciones de Von Frishco sabemos que las abejas comparten información detallada sobre lugares donde hay alimento, usando el lenguaje de la danza<sup>10</sup>.

Son bien conocidas las danzas de apareamiento de las grullas y otras aves. Pero también se ha informado de pájaros que danzan y cantan en concierto sin otra razón aparente que el placer compartido. El grillo macho comparte con su apremio por acoplarse con las hembras distantes, a las que atrae con su llamado de apareamiento.

---

<sup>9</sup> DOCZI, György. El poder de los límites . Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.64.

<sup>10</sup> Ibidem. p.74.

Los pájaros también cantan para atraer a sus parejas y además, comparten otros tipos de información, por ejemplo, se advierten entre sí respecto del acercamiento de enemigos, de la presencia e intrusos amenazadores en su territorio o llaman a sus compañeros para reunirse. Las ballenas son célebres por comunicarse entre sí cantando, en particular la ballena jorobada (*megáptera novaeangliae*) canta con sonidos inquietantes, que resultan bellos hasta para el oído humano.

Las migraciones de animales son, por su parte, inmensas empresas comunitarias. El hombre no suele apreciar la magnitud de estas empresas; la golondrina marina del Ártico viaja dos veces al año de una región polar a otra, de modo que cada viaje implica para estas aves recorrer una distancia de 17,700 km. Estas empresas gigantescas no se podrían llevar a cabo sin una extraordinaria cooperación y asistencia mutua entre los individuos que la realizan.

Compartir las aflicciones de los demás y rescatar a los compañeros en peligro es otra cosa registrada entre los animales de muchas especies, y se ha reunido un volumen sustancial de evidencia científica sobre estos patrones de comportamiento de los animales. Los científicos se han convencido de que la participación en la forma de “asistencia mutua y cooperación” no era solo el “origen prehumano” de toda conducta moral sino también una condición básica de la supervivencia y un factor crítico de la evolución.

En el siglo XIX este punto de vista fue descartado a favor de conceptos darwinianos, tales como la selección natural, la supervivencia de los más aptos, la lucha por la existencia y la competencia. La controversia existe todavía entre los que sostiene que los seres humanos son inherentemente agresivos y competitivos y los que adhieren al punto de vista opuesto: que tenemos potencialidades naturales igualmente fuertes para la cooperación sin violencia.

Compartir es creativo. Si compartimos lo que tenemos con nuestros vecinos no tendremos menos, por el contrario ganaremos más que si lo hubiéramos conservado todo para nosotros. Hemos visto que la participación como proceso básico de formación según patrones, da forma a relaciones armoniosas en la vida animal y humana, tal como da forma a las armonías proporcionales de la anatomía animal, la música y las demás artes. Existe, en efecto un “brote” del compartir en toda la naturaleza.

De modo similar, el plumaje desplegado de un pavo real comparte el patrón dinérgico que existe en el centro de una margarita. Las líneas punteadas que se conectan con los ojos del plumaje del pavo real son idénticas a las espirales logarítmicas utilizadas para reconstruir el patrón de la margarita. Cuando los círculos se insertan entre las líneas espirales, el patrón del pavo real se transforma en el patrón central de la margarita. No es magia: es el bote del compartir que es la naturaleza misma de la naturaleza<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> DOCZI, György. *El poder de los límites*. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.77.

### 1.3. Orden y Libertad en la Naturaleza.

#### 1.3.1. Patrones orgánicos e inorgánicos.

Tanto el compartir como la dinergía son procesos básicos de formación según patrones, que unifican las diversidades. La existencia básica de unidad entre las múltiples diversidades de este mundo es una de las observaciones más antiguas de la humanidad. Las culturas ancestrales atribuían esta unidad a las divinidades o a un creador único. Los filósofos presocráticos buscaron su secreto en una sustancia universal, Tales la vio en el agua, Anaxímenes en el aire y Heráclito en el fuego. A este último filósofo se le atribuye el haber desarrollado el concepto de “la unidad en la diversidad”.

En épocas más recientes, este concepto se ha vuelto básico tanto en el arte como en la ciencia. El matemático estadounidense G. D. Birkhoff en 1928 desarrolló una teoría de la medida estética basada en este principio, al que él se refería como “el orden en la complejidad”. La medida del valor estético, según su teoría, es proporcionalmente directa al orden e inversa a la complejidad.

En la naturaleza, el copo de nieve es uno de los más bellos ejemplos de este principio: cada copo es diferente y, sin embargo, todos se hallan aunados por su patrón hexagonal básico. Esta uniformidad caracteriza todos los patrones inorgánicos cristalinos, más ordenados y uniformes que los patrones de lo viviente.

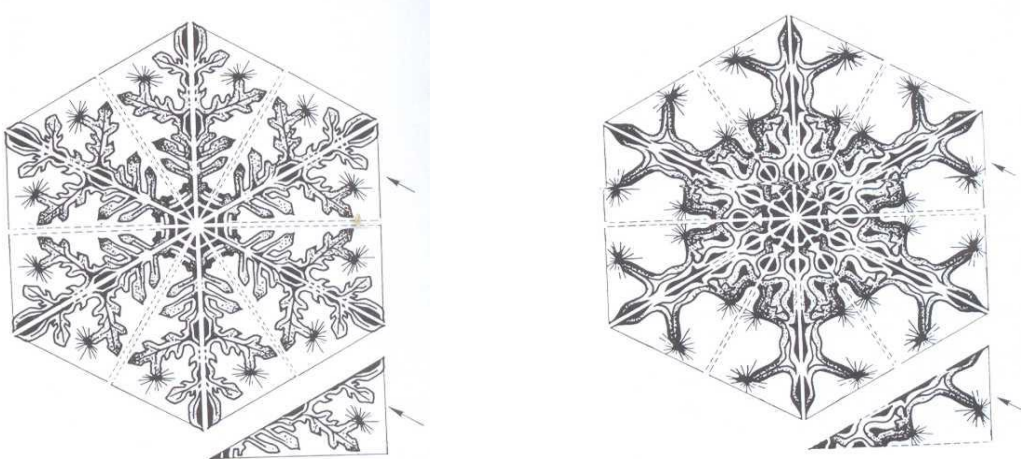


Imagen 10. Copos de nieve. Las flechas señalan los patrones triangulares repetidos 12 veces en cada copo.

Los patrones hexagonales, como el copo de nieve, son más comunes en la naturaleza inorgánica que en la orgánica, donde es evidente la preferencia por el patrón pentagonal. Existen, sin embargo, interesantes conexiones entre el patrón hexagonal y el pentagonal. Una de ellas aparece en el icosaedro, que consta de veinte caras triangulares y tiene un contorno hexagonal, si se lo ve de un lado, y pentagonal, si se lo ve del otro; sus planos diagonales (que conectan en sentido diagonal los bordes opuestos) son rectángulos áureos. Quizás el ejemplo del icosaedro es un reflejo de la relación existente entre la materia inorgánica y la orgánica, construida esta última a partir de la primera, como es el caso del cuerpo humano, constituido por dos tercios de agua<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> DOCZI, György. *El poder de los límites*. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.79.

La unidad en la diversidad, tanto de patrones orgánicos como inorgánicos, también se aprecia en los patrones espirales de ciertas galaxias, que reflejan en escala cósmica los diminutos patrones espirales dinérgicos de las conchillas y las flores.

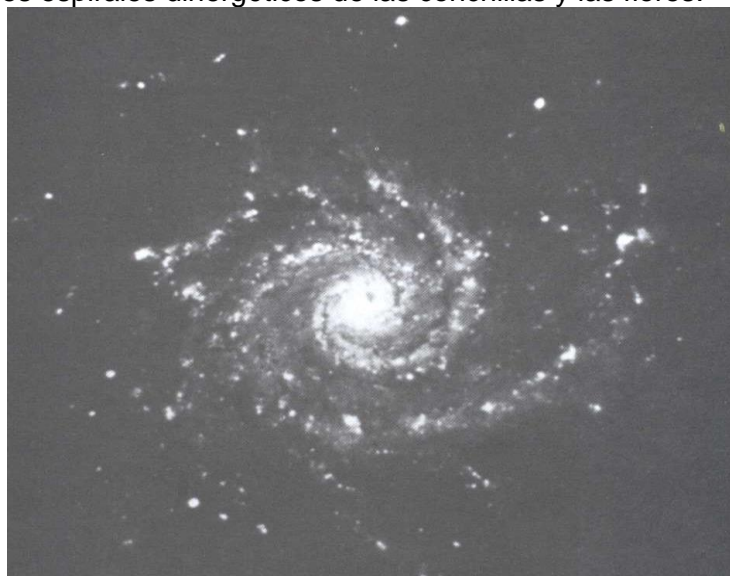


Imagen 11. El patrón de una galaxia espiral es similar a las espirales del crecimiento orgánico.

En los primeros años del siglo XX, en Inglaterra, T.A. Cook publicó un libro, *The Curves of Life* (Las curvas de la vida), sobre el predominio de las proporciones de la sección áurea en la naturaleza y el arte. Pero no enfatizó la paradójica combinación de unidad y diversidad, sino más bien sólo la diversidad, como si la unidad implicara necesariamente uniformidad, lo que por suerte no es así.

Cómo realiza la naturaleza lo aparentemente imposible, al crear formas que son a la vez similares y disímiles, aunadas y diversas, ha sido demostrado por la “teoría de las transformaciones” de sir D’Arcy Wentworth Thompson. Con la ayuda de esta teoría se puede ver que la forma de una especie deriva de la de otra relacionada. Esto es posible porque existe algo, un algo esencial e indiscutible, que es común a ambas especies.

En 1953, el zoólogo estadounidense Paul Weiss interpretó la unidad en la diversidad que presentan los patrones de la naturaleza orgánica como una combinación del orden y la libertad. Esa combinación es tan paradójica como dinérgica: el orden y la unidad implican restricción, en tanto que la diversidad representa la libertad de diferir. “La vida es orden, pero orden con tolerancias”.

Los copos de nieve han demostrado que este principio también está presente en la naturaleza inorgánica. En el movimiento de los péndulos pueden hallarse más patrones inorgánicos que evidencia el principio de orden y libertad.

Es sorprendente contemplar tal unidad en las múltiples diversidades de la naturaleza, donde cada especie se desarrolla libre en su singularidad y, a la vez, aunada con todas las demás por compartir los mismos límites proporcionales: simples, dinérgicos y armoniosos. Las mariposas revolotean, las libélulas se lanzan como flechas y los escarabajos perforan la tierra. Tan exclusivo como cada uno es y tan diferentes de las semillas de las margaritas y de los girasoles, se aúnan, sin embargo, por compartir los límites proporcionales de las armonías fundamentales de la música<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> DOCZI, György. *El poder de los límites*. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.92.



### 1.3.2. Armonías humanas.

La percepción de las proporciones humanas ha variado enormemente a lo largo de las épocas. Uno de los primeros documentos escritos sobre las proporciones humanas es de Marcus Vitruvius Pollio, arquitecto y escritor romano del siglo I. Su obra comienza -*Diez libros sobre arquitectura*- con la recomendación de que los templos, para ser magníficos, se construyan análogos al cuerpo humano, en el cual, existe una perfecta armonía entre todas las partes. Entre las proporciones humanas armoniosas se menciona la altura que, en el hombre bien formado, es igual a la amplitud de sus brazos extendidos. Estas medidas iguales generan un cuadrado que abarca todo el cuerpo, en tanto que las manos y los pies desplazados tocan un círculo centrado en el ombligo.

Esta relación del cuerpo humano con el círculo y el cuadrado se asienta en la idea de la “cuadratura del círculo”, que fascinó a los antiguos, porque esas formas se consideraban perfectas e incluso sagradas, tomándose el primero como símbolo de las órbitas celestiales y el segundo como representación de la “cuadrada” solidez de la tierra. Los dos combinados en el cuerpo humano sugieren, en el lenguaje simbólico de los modelos, que aunamos en nosotros las diversidades del cielo y de la tierra, idea compartida por muchas mitologías y religiones.

Cuando el Renacimiento redescubrió la vigencia clásica de Grecia y Roma, Leonardo da Vinci ilustró la versión de esta idea expuesta por Vitruvio. Así como otros grandes maestros del Renacimiento, Leonardo fue un estudioso de las proporciones armoniosas e ilustró el libro del matemático Luca Pacioli, *La divina proporción*, sobre la sección áurea, publicado en 1509.

La idea de que las armonías fundamentales de la música, se corresponden con las proporciones adecuadas del cuerpo humano y deben, por lo tanto, continuarse en la arquitectura, se convirtió en una idea dominante entre los maestros del Renacimiento. A continuación de esa época, algunas ideas sobre las armonías humanas tomaron un rumbo místico. El inglés Robert Fludd describió al hombre como un microcosmos unido al macrocosmos del universo, que combina las potencialidades oscuras y terrenales con las luminosas y celestiales y se ajusta a las armonías musicales universales.

Tiempo después, la era iluminista y la racionalista no estaban del todo convencidas con las ideas que se venían dando hasta el momento. El filósofo escocés Hume puntualizó que la belleza está en el ojo de quien la contempla y es completamente subjetiva. El pintor Hogarth consideró “una extraña noción” la idea de que hubiera alguna correspondencia entre la belleza vista por el ojo y la armonía escuchada por el oído. El inglés Edmund Burke dijo que “no existen dos cosas menos parecidas o análogas que un hombre, una casa o un templo”. A finales del siglo XIX, John Ruskin afirmó que “las proporciones son infinitas como los posibles aires de la música y se debe dejar que la inspiración del artista invente las proporciones bellas”.

Las partes del cuerpo humano comparten los mismos límites proporcionales; de modo que, las relaciones del largo de la mano respecto del brazo y del tronco (hasta el punto inicial de la columna vertebral, en la pelvis) son compartidas. Toda la estructura ósea del cuerpo humano se encuadra perfectamente en tres rectángulos áureos, y uno recíproco que contiene la cabeza<sup>14</sup>.

La unidad que compartimos con las plantas y los animales se puede apreciar en el hecho de que nuestro crecimiento, como el de ellos, parece desarrollarse desde un único

---

<sup>14</sup> DOCZI, György. *El poder de los límites*. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.99.

centro, que en nuestro caso está en la parte superior el sacro. Debido a su emplazamiento central en el cuerpo, el sacro es el centro de gravedad de todo el cuerpo.

Siempre dentro de la anatomía humana, un ejemplo más de unidad en la diversidad es la sorprendente correspondencia entre las proporciones de la estructura ósea de personas de talla diversa de ambos sexos. En la siguiente figura se muestra que todas las dimensiones longitudinales correspondientes a mujeres y hombres altos, medianos y bajos tienden a caer en los mismos círculos coaxiales.

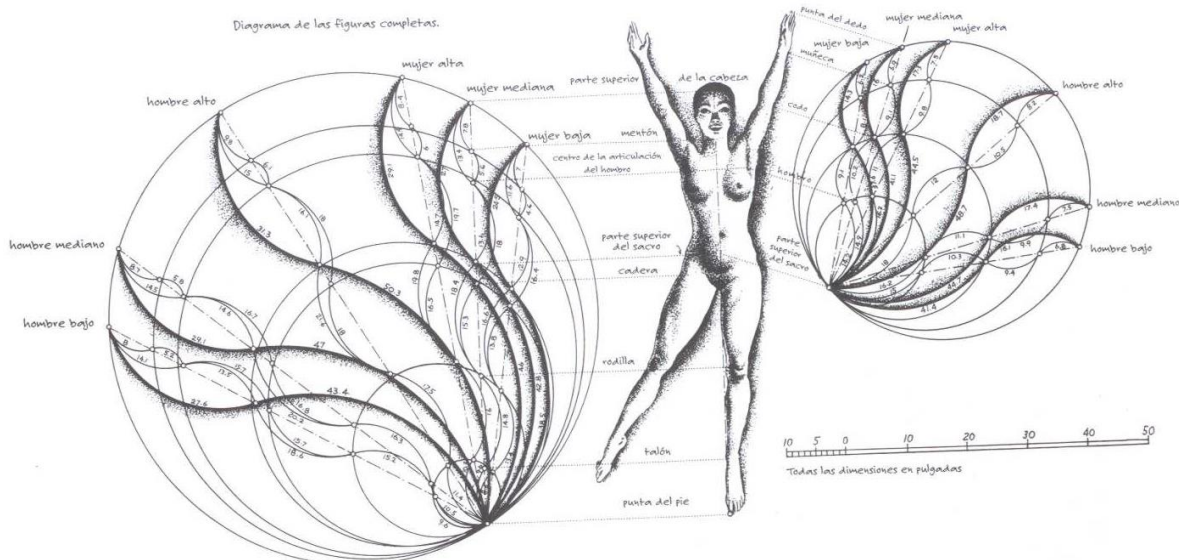


Imagen 12. Unidad de proporciones longitudinales en mujeres y hombres de diversa talla.

La tendencia a la unidad de estos patrones de onda es tan marcada que son casi idénticos, lo que los hace aparecer como imágenes estroboscópicas de uno y el mismo patrón en movimiento. Estas ondas rítmicas recuerdan los rizados de los patrones del péndulo, y las etapas de crecimiento del patrón central de la margarita, solapadas a modo de abanico.

Tan evidentes como son las diversidades de los cuerpos femeninos y masculinos, unos y otros se aúnan en la casi completa identidad de sus proporciones anatómicas, al menos en lo que a la longitud de sus huesos se refiere. La única diferencia es un refinamiento general en las medidas del esqueleto femenino y la ampliación del cinturón pélvico.

“La belleza es la armonía y el acuerdo de todas las partes, logrados de tal manera que nada se podría agregar, quitar o alterar, excepto para empeorarlo”. Son las palabras de otro maestro del Renacimiento, Leon Battista Alberti, autor de un tratado de arquitectura.

El cuerpo humano tiene las potencialidades de tal armonía y belleza. La palabra “gracia” significa: “belleza o encanto del movimiento, forma o proporción realizado sin esfuerzo aparente”. Como es el caso de otras manifestaciones artísticas, el ballet puede implicar cualquier cosa, excepto falta de esfuerzo, pero hay en él tal libertad de movimiento que parece fácil. Esa libertad surge del orden, el orden de la disciplina que prepara y sustenta todos los grandes logros. El crecimiento, la gravedad y la gracia, concentrados en un solo punto del sacro, representan el poder de los límites atesorado en nuestros huesos<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> DOCZI, György. *El poder de los límites*. Ed. Troquel. Argentina, 2003. p.102.

## 1.4. La Geometría Fractal de la Naturaleza.

### 1.4.1. Lo irregular y lo fragmentado en la Naturaleza.

La Geometría clásica es incapaz de describir la forma de una nube, una montaña, una costa o un árbol. Ni las nubes son esféricas, ni las montañas cónicas, ni las costas circulares, ni la corteza es suave, ni tampoco el rayo es rectilíneo.

Muchas formas naturales son tan irregulares y fragmentadas que la naturaleza no sólo presenta un grado superior de complejidad, sino que ésta se da a un nivel completamente diferente. El número de escalas de longitud de las distintas formas naturales es infinito.

La Geometría Fractal permite describir las formas irregulares y fragmentadas que nos rodean, dando lugar a teorías hechas, identificando una serie de formas que se llaman *fractales*. Las más útiles implican *azar* y, tanto sus regularidades como sus irregularidades son estadísticas. Las formas que se describen tienden a ser, también *escalantes*, es decir su grado de irregularidad y/o fragmentación es idéntico a todas las escalas.

Algunos conjuntos fractales son curvas o superficies, otros “polvos” inconexos y también los hay con formas tan disparatadas que no se han encontrado ni en las ciencias ni en las artes palabras que los describan bien.

La Geometría Fractal data de 1975, pero muchos de sus conceptos son anteriores y aparecieron para satisfacer objetivos muy distintos de la geometría común.

“Fractal” es una palabra acuñada por Mandelbrot para reunir bajo un solo nombre una gran familia de objetos que han tenido un papel histórico en el desarrollo de la matemática pura. Una gran revolución en las ideas separa la matemática clásica del siglo XIX de la matemática moderna del siglo XX. La matemática clásica está enraizada en las estructuras regulares de la geometría de Euclides y en la evolución continua característica de la dinámica de Newton. La matemática moderna empezó con la teoría de conjuntos de Cantor y la curva de Peano que llena el plano. Desde el punto de vista histórico, la revolución se produjo al descubrirse estructuras matemáticas que no encajaban en los patrones de Euclides y Newton.

La geometría fractal no es una “aplicación” directa de la matemática del siglo XX. Es una nueva rama nacida de la crisis de la matemática que comenzó cuando duBois Reymond (1875) llamó la atención por primera vez sobre una función continua y no diferenciable construida por Weierstrass. Dicha crisis duró aproximadamente hasta 1925, siendo los principales actores Cantor, Peano, Lebesgue y Hausdorff.

El término *fractal* proviene a partir del adjetivo latino *fractus*. El verbo correspondiente es *frangere* que significa “romper en pedazos”, pero además de “fragmentado” (como en fracción) *fractus* significa también “irregular”, confluyendo ambos significados en el término fragmento.

La asociación *conjunto fractal* tendrá una definición rigurosa, no así *fractal natural*, que servirá para designar sin demasiada precisión una figura natural que puede ser representada por un conjunto fractal<sup>16</sup>.

Toda belleza es relativa, no hay que creer que las orillas del mar sean realmente deformes por no tener la forma de un baluarte regular; que las montañas hayan perdido la forma porque no son exactamente como pirámides o conos; ni que las estrellas estén situadas aleatoriamente por no estar a una distancia uniforme.

---

<sup>16</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.19.

Muchas formas de la naturaleza son tan irregulares y fragmentadas que la naturaleza no sólo presenta un grado mayor de complejidad, sino que ésta se nos revela completamente diferente. Esta nueva geometría de la naturaleza, permite describir muchas de las formas irregulares y fragmentadas que nos rodean, dando lugar a teorías coherentes, identificando una serie de formas llamadas *fractales*.

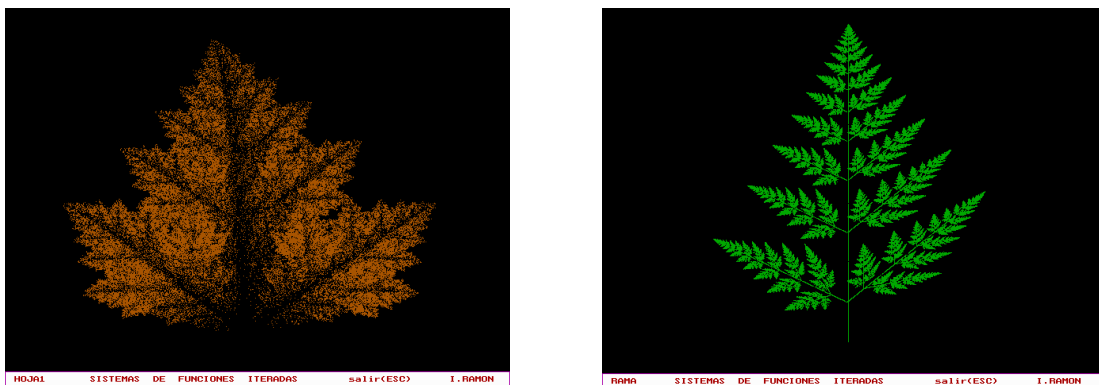


Imagen 13. Reproducciones de hojas -maple y helecho- por computadora.

Los fractales se presentan en multitud de formas en la Naturaleza desde galaxias, costas marítimas, montañas, bosques, árboles, nubes, relámpagos, etc. y en multitud de procesos físicos como la cristalización, movimiento de partículas en un fluido, electrolisis. Los fractales forman una amplia familia de objetos matemáticos encuadrados en la teoría geométrica de la medida y que permiten estudiar objetos naturales muy diversos.

Una forma intuitiva de ver lo que es un fractal es porque presenta auto similitud, esto es: si ampliamos o disminuimos la escala tanto como queramos, la estructura será similar y presentará el mismo detalle.

Es difícil dar una definición general de fractal porque muchas de estas definiciones no se pueden aplicar a todas las familias de fractales existentes. Sin embargo, todos los fractales tienen algo en común, ya que todos ellos son el producto de la interacción, repetición, de un proceso geométrico elemental que da lugar a una estructura final de una complicación aparente extraordinaria.

La geometría fractal busca y estudia los aspectos geométricos que son invariantes con un cambio de escala<sup>17</sup>.

#### 1.4.2. Dimensión, simetría y divergencia.

Durante la crisis que va de 1875 a 1925, los matemáticos se dieron cuenta de que no es posible una comprensión correcta de lo irregular y lo fragmentado (así como de lo regular y lo conexo) si se define la dimensión como número de coordenadas. El primero en emprender un análisis riguroso fue Cantor en su carta a Dedekind, fechada el 20 de junio de 1877. Le siguió Peano en 1890 y, los pasos finales datan de la década de 1920.

Un concepto amplio como el de dimensión presenta diversas facetas matemáticas que, aparte de ser conceptualmente distintas, dan distintos resultados numéricos. Euclides se limita a conjuntos para los que los distintos tipos de dimensiones útiles coinciden; así pues se podrían llamar conjuntos *dimensionalmente concordantes*.

<sup>17</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.22.

Por el contrario, la mayor parte de este estudio analiza conjuntos para los que las distintas dimensiones no coinciden; se trata de conjuntos *dimensionalmente discordantes*.

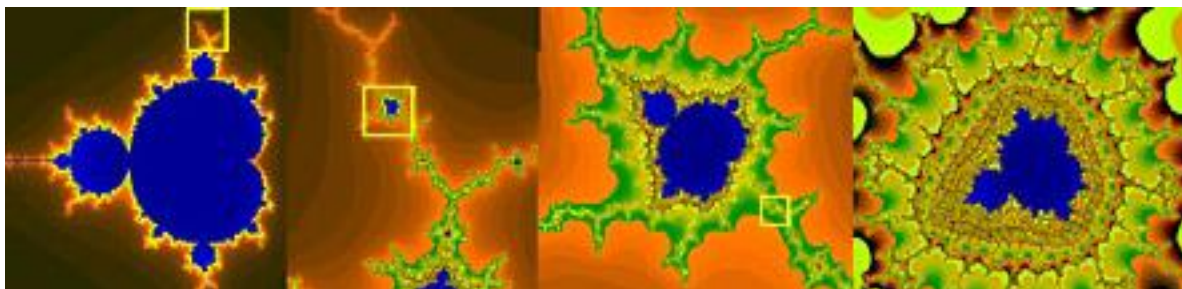


Imagen 14. Similitud en el conjunto de Mandelbrot.

Al pasar de las dimensiones de los conjuntos matemáticos a las dimensiones “efectivas” de los objetos físicos modelizados por dichos conjuntos, existe otro tipo de ambigüedad, inevitable e imprescindible: los aspectos matemáticos y físicos de la dimensión.

El hecho de que los fractales elementales sean dimensionalmente discordantes puede servir para dar contenido matemático al concepto de fractal. Nos concentraremos en dos definiciones que asignan, a cada conjunto del espacio euclídeo  $\mathbf{R}^E$  y con independencia, un número real que por razones intuitivas y formales merece ser llamado su dimensión, se denotara por  $\mathbf{D}_T$ . La más intuitiva de dichas definiciones es la dimensión topológica según Brouwer, Lebesgue, Menger y Urysohn. La segunda dimensión fue formulada por Hausdorff (1919) y Besicovitch le dio la forma final, esta denotada por  $\mathbf{D}$ .

Siempre que se trabaja en el espacio euclídeo  $\mathbf{R}^E$ , tanto  $\mathbf{D}_T$  como  $\mathbf{D}$  toman valores comprendidos entre 0 y E. Pero aquí se acaban las analogías. Mientras  $\mathbf{D}_T$  es siempre un entero,  $\mathbf{D}$  no tiene por qué serlo. Así, ambas dimensiones no tienen por qué coincidir; sólo están sujetas a la desigualdad.

$$\mathbf{D} \geq \mathbf{D}_T$$

Para todas las figuras euclídeas  $\mathbf{D} = \mathbf{D}_T$ , pero casi todos los conjuntos de este estudio satisfacen  $\mathbf{D} > \mathbf{D}_T$ . No existía ninguna palabra para referirse a tales conjuntos, por lo que se acuñó el término fractal, definiéndolo así:

*Un fractal es por definición, un conjunto cuya dimensión de Hausdorff-Besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica.*

Los conjuntos con D no entera son fractales.

Sin embargo, algunos fractales pueden tener valores de D enteros.

El hecho sorprendente de que D no tenga que ser necesariamente un entero merece ser reflejado en la terminología. Si se usa el término fracción en sentido amplio, como sinónimo de número real no entero, algunos de los valores de D anteriormente expuestos son fraccionarios; así pues, a menudo se llama *dimensión fraccionaria* a la dimensión de Hausdorff-Besicovitch. Ahora bien, D puede tomar valores enteros (menores que E pero estrictamente mayores que  $\mathbf{D}_T$ ). Por lo que D es una dimensión fractal.

El estudio de los fractales es en parte el aspecto geométrico del análisis armónico. El análisis armónico (espectral o de Fourier) es algo desconocido. Además, cada uno de estos enfoques, el fractal y el espectral, tiene su propio estilo y personalidad. En fin, en comparación con el análisis armónico, el estudio de fractales es más fácil e intuitivo.

Para la topología, que antes se llamaba *geometría de la posición o análisis situs* (del griego *Τοπος*, que significa posición o situación), las costas de todas las islas tienen la misma forma topológicamente idéntica a la del círculo<sup>18</sup>.

Las diferencias en la dimensión fractal reflejan *diferencias de forma en un aspecto no topológico*, que se llama *forma fractal*.

La dimensión efectiva tiene que ver con la relación entre los conjuntos matemáticos y los objetos reales. Estrictamente, los objetos físicos tendrían que representarse como formas tridimensionales. Sin embargo, los físicos prefieren pensar en dichos objetos como si su dimensión fuera 2,1 o 0, respectivamente. La dimensión efectiva tiene una base subjetiva, es una cuestión de aproximación y, por lo tanto, de grado de resolución.

Euclides empieza el tema de la simetría con las formas más simples, como las rectas, los planos o los espacios. Las situaciones físicas más sencillas se dan también cuando alguna cantidad, como la presión, la densidad, la temperatura o la velocidad, están homogéneamente distribuidas.

La distribución homogénea sobre la recta, el plano o el espacio tiene dos propiedades muy interesantes. Es invariante por traslaciones y es invariante por cambios de escala. Al pasar a los fractales, hay que modificar y/o restringir el alcance de estas invariancias. Por tanto, los mejores fractales son los que presentan el máximo de invariancia.

Por lo que respecta a las traslaciones, casi todos los fractales son, en cierto sentido, invariantes por traslación. Además, la mayoría es también invariante según ciertos cambios de escala, es decir, son *escalantes*. Un fractal que sea invariante por la transformación geométrica de semejanza, en el sentido ordinario, se dice *autosemejante*.

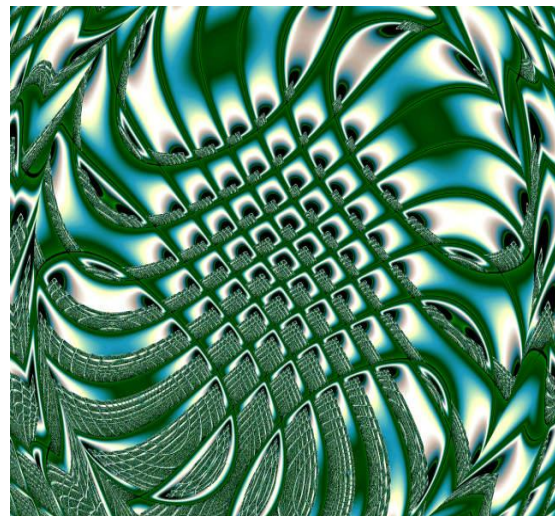


Imagen 15. Representación fractal Summa.

En la expresión compuesta fractal escalante, el adjetivo suaviza el significado del sustantivo. Así, mientras fractal suena a desorden y abarca casos de una irregularidad inimaginable, el calificativo escalante da a entender un cierto orden.

La geometría ordinaria estudia las rectas como caso preliminar más simple; también la mecánica contempla el movimiento rectilíneo y uniforme como un simple primer paso. Los fractales escalantes se limitan a dar una primera aproximación de las formas naturales que se quiere tratar.

Tras acabar con las líneas, Euclides aborda formas con otras invariancias más ricas, comúnmente denominadas "simetrías".

La divergencia es una cantidad que se espera sea positiva y finita, pero resulta que se hace infinita o se anula. Los casos en que una simetría va acompañada de una divergencia son también habituales y omnipresentes en la física cuántica, donde los métodos de eliminación de divergencias ocupan un lugar destacado. Sin embargo, las distintas divergencias fractales son más fáciles de manejar<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.33.

<sup>19</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.36.

### 1.4.3. Fractales Escalantes.

La geometría fractal necesita de conceptos que van más allá de la simple dimensión fractal. Del hecho de que la longitud de la circunferencia de radio  $R$  valga  $2\pi R$  y que el área del círculo correspondiente sea  $\pi R^2$  se sigue que<sup>20</sup>:

$$(\text{longitud}) = 2\pi^{1/2} (\text{área})^{1/2}.$$

Para los cuadrados, la relación correspondiente es:

$$(\text{longitud}) = 4(\text{área})^{1/2}$$

En general cada familia de figuras planas geoméricamente semejantes y de tamaños distintos, la razón  $(\text{longitud})/(\text{área})^{1/2}$  es una constante determinada por la forma común de todas ellas.

En el espacio ( $E=3$ ), la longitud, el  $(\text{área})^{1/2}$  y el  $(\text{volumen})^{1/3}$  dan evaluaciones alternativas del tamaño lineal de la figura, y la razón entre dos cualesquiera de ellas es un parámetro de forma, independiente de las unidades de medida.

La equivalencia de distintas medidas del tamaño lineal es útil en muchas aplicaciones. Y su generalización a sus magnitudes tiempo y masa es la base de una técnica muy potente que los físicos conocen como “análisis dimensional”.

Las  $\sigma$ -curvas fractales, son fractales que se descomponen en una infinidad de fragmentos disjuntos, cada uno de los cuales es una curva conexa. Los casos concretos a considerar abarcan las costas de las islas de un archipiélago.

Como el relieve terrestre está finamente “arrugado”, no cabe duda de que el área total de una isla, al igual que la longitud de una costa, es geográficamente infinita.

Luego se estudian también otras figuras fragmentadas obtenidas por generalización de los procesos generadores de fractales ya conocidos; las figuras resultantes se denominan racimos de contacto y se demuestra que tienen la misma relación diámetro-número.

*La dimensión fractal puede ser solamente una medida de fragmentación.*

Un fractal fragmentado puede tener tangente en todos sus puntos. Redondeando las esquinas de las islas se puede hacer que cada costa tenga una tangente en cada punto, sin alterar las áreas y, con ellas la dimensión global. Así pues, las propiedades de ser una curva fractal y de no tener tangentes no son equivalentes.



Imagen 16. Representación fractal Summa 02

Alternativamente, se pueden tener a la vez lagos e islas en el mismo generador. En cualquier caso el fractal final es un  $\sigma$ -circuito cuyos circuitos componentes están encajados unos con otros. Para definir el área de una isla (o un lago) se puede tomar el área total, o el área de la tierra (o el agua) encerrada por su costa<sup>22</sup>.

La torre que Gustave Eiffel construyó en París incorpora la idea de curva fractal llena de puntos de ramificación. En una primera aproximación, la torre Eiffel está formada por cuatro estructuras en forma de “A”.

<sup>20</sup> Ibidem. p.159.

<sup>22</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.176.

Las cuatro A coinciden en el vértice y cada dos A vecinas tienen un lado común. A su vez, el conjunto está rematado por una torre recta.

Sin embargo, ni las A ni la torre están construidas con vigas macizas, sino con unos entramados colosales. Un entramado es una configuración de elementos interconectados y no puede ser deformada sin deformar al menos uno de dichos elementos.

El hecho divulgado por Buckminster Fuller, de que la clave de la resistencia reside en los puntos de ramificación era algo ya conocido por los sofisticados diseñadores de las catedrales góticas.

Las *celosías* de la geometría estándar están formadas por líneas paralelas que limitan cuadrados, triángulos u otras figuras regulares iguales. El mismo término se puede aplicar a los fractales regulares en los que dos puntos cualesquiera pueden enlazarse al menos por dos caminos que no tienen ningún otro punto común<sup>23</sup>.

#### 1.4.4. Fractales No Escalantes.

Las curvas, superficies y polvos fractales que se describen en esta parte para sus posibles aplicaciones científicas son escalantes en un sentido asintótico o con alguna otra limitación.

Se puede decir que el movimiento de la sangre es circular, en el mismo sentido que Aristóteles dice que el aire y la lluvia emulan el movimiento circular de los cuerpos superiores. La imagen de la circulación sanguínea lleva implícita la idea de que, a una distancia muy pequeña de casi cada punto del cuerpo, se encuentran una arteria y una vena. Un segundo factor importante es que el volumen total de arterias y venas debe ser sólo una pequeña fracción del volumen total del cuerpo, siendo el resto tejidos.

Desde un punto de vista euclídeo, estas condiciones implican una contradicción; se trata de una figura que, por una parte, tiene que ser topológicamente bidimensional, pues constituye la frontera común de dos figuras topológicamente tridimensionales y, por otra parte, no sólo debe tener un volumen no despreciable comparado con el de las dos figuras que separa, sino mucho mayor. Una de las virtudes del enfoque fractal de la anatomía es que en este marco ambas condiciones son compatibles<sup>24</sup>.

En este modelo, las venas y las arterias son dominios estándar, pues en su interior caben bolas (las células sanguíneas).

Además, los vasos ocupan sólo una pequeña fracción del volumen total. El tejido en cambio es muy distinto, no tiene ninguna parte que no esté atravesada a la vez por una arteria y una vena. Y es una superficie fractal: su dimensión topológica es 2 y su dimensión fractal 3.

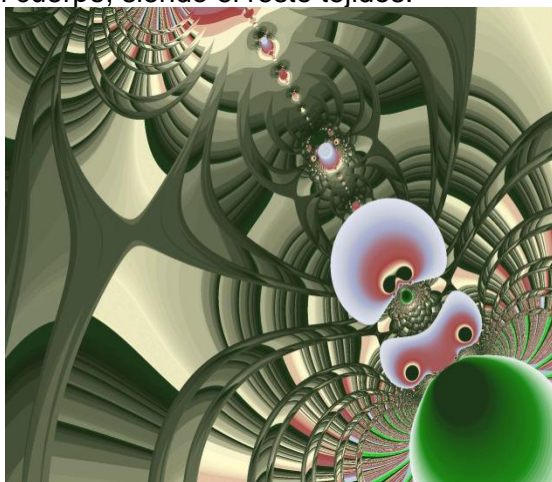


Imagen 17. Representación fractal Summa 03.

<sup>23</sup> Ibidem. p.190.

<sup>24</sup> Ibidem. p.214.



Un fractal no uniforme es la suma (o la diferencia) de varias partes con dimensiones fractales y topológicas distintas. Ninguna de dichas partes se puede despreciar del todo, aunque lo pueda ser tanto en el sentido fractal como en el topológico.

Los esqueletos arbóreos tienen bastante interés en muchos capítulos de la matemática. Según el topólogo son idénticos, pues para él, cualquier árbol consiste en una infinidad de hilos elásticos y nuestros árboles se pueden deformar los unos en los otros por estiramiento o por contracción. Sin embargo, intuitivamente estos árboles son distintos y también lo son como fractales.

Un árbol es la suma de dos partes, las ramas propiamente dichas y las puntas de las ramas, cuyas dimensiones se entremezclan de un modo muy interesante. La parte más fácil de estudiar es el conjunto de las puntas. Es un escalante con  $N=2$  y un valor de  $r$  comprendido entre  $1/\sqrt{2}$  y 0. Por tanto,  $D$  vale entre 2 y 0, aunque los valores de  $D$  de los árboles representados varían sólo entre 1 y 2. El ángulo que forman las dos ramas que concurren en cada horcadura es siempre  $\theta$  y su valor puede variar en un intervalo bastante amplio sin que ello afecte a  $r$  ni a  $D$ . Por tanto, se puede tener una gran variedad de árboles con la misma  $D$ .

A primera vista cada árbol como un todo parece autosemejante, pues cada rama con sus vástagos es una versión a escala reducida del todo. Sin embargo, la unión de las dos ramas que parten de la horcadura principal no da el árbol entero a menos que se le añada un residuo. Intuitivamente, éste no es despreciable ni mucho menos. De hecho uno tiende a dar más importancia a los troncos y las ramas de los árboles que a las puntas de las ramas. Intuitivamente, las ramas “dominan” sobre las puntas<sup>25</sup>.

La dimensión de las puntas de las ramas es  $D$  y la de cada rama es 1. Como conjunto no es escalante, pero su dimensión fractal, definida por la fórmula de Hausdorff-Besicovitch, no puede ser menor que  $D$  ni que 1 y resulta ser el mayor de ambos.

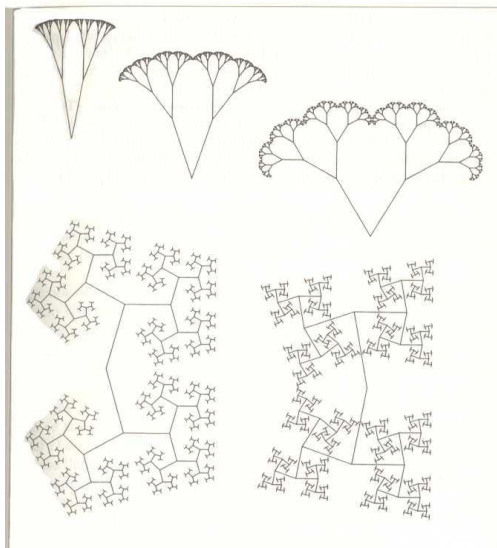


Imagen 18. Magnolias y bóvedas fractales.

Los fractales amplían muchísimo la libertad de diseño del “arquitecto de árboles”. En primer lugar, las superficies de muchos árboles grandes pueden representarse por medio de fractales escalantes de dimensión  $D$  comprendida entre 2 y 3, y este valor de  $D$  puede servir para caracterizarlas. Y se puede pensar en plantas trepadoras de dimensión inferior a 2 (y conjeturar que los bonsais de “armoniosidad” bien lograda son también fractales).

Si  $D > 1$ , la dimensión del árbol fractal completo también es  $D$ . Aun cuando las ramas predominen tanto intuitiva como topológicamente. Como  $D > D_T$ , el árbol es un conjunto fractal en el que  $D$  mide la abundancia de la ramificación. Esta es otra faceta de la dimensión fractal añadida a su papel de medida de la irregularidad y la fragmentación.

Si  $0 < D < 1$ , por el contrario, la medida lineal total (la longitud acumulada) del árbol es finita y positiva, con lo que su dimensión es 1. Por tanto,  $D = D_T$  el árbol no es fractal.

Los troncos y las ramas de los árboles de la Figura 8 son infinitamente delgados. El ángulo  $\theta$  entre cada par de ramas es siempre el mismo. Las  $D$  varían entre 1 y 2 y para cada  $D$ ,  $\theta$  toma el mínimo valor compatible.

<sup>25</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.217.

El valor  $\Delta=2$  se basa en la imagen mental de los árboles como haces de vasos no ramificados de diámetro fijo que enlazan las raíces con las hojas y ocupan una parte proporcional de la sección recta de cada rama.

Un primer corolario es que el área de las hojas soportadas por una rama es proporcional tanto al volumen de la rama como al área de su sección recta.

Otro corolario es que el cociente (altura del árbol)<sup>3</sup> / (diámetro del tronco) es constante para cada especie y es igual al cociente (escala lineal del volumen de drenaje de una rama)<sup>3</sup> / (diámetro de la rama)<sup>2</sup>. Se podría esperar también que dicho cociente varíe relativamente poco de unas especies a otras.

En un árbol tipo magnolia con  $\Delta=2$  y  $D=2$ , el cociente (altura)<sup>2</sup> / (diámetro del tronco)<sup>2</sup> es constante. Y en general la razón (altura)<sup>D</sup> / (diámetro del tronco)<sup>Δ</sup> es constante.

La relación entre la altura y el diámetro característica de los árboles con  $D=3$  y  $\Delta=2$  vale también para los esqueletos de los animales, siendo  $d$  el diámetro de los huesos que soportan más peso<sup>27</sup>.

#### 1.4.5. Fractales Imagen de sí mismos.

Las propiedades de los fractales son, respectivamente, conjuntos mínimos invariantes por inversión geométrica, así como fronteras de los conjuntos acotados máximos invariantes bajo ciertas transformaciones cuadráticas.

Ambas familias difieren de los fractales autosemejantes en aspectos fundamentales. Unas transformaciones lineales adecuadas dejan invariantes los fractales escalantes, pero para generarlas hay que dar primero un generador y unas reglas de construcción. Por otra parte, el hecho de que un fractal sea “generado” por una transformación no lineal basta a veces para determinar, y por tanto, generar su forma<sup>28</sup>.

Muchos fractales no lineales “parecen orgánicos” y de ahí que estén relacionados con la biología. Como las formas en biología son a menudo muy complejas, podría parecer que los programas que codifican dichas formas son a su vez muy largos. Cuando la complicación parece no tener objeto alguno (como suele ser el caso en criaturas simples) resulta paradójico que los programas generadores no estén simplificados, dejando lugar para instrucciones útiles.

Existen algunos fractales generados mediante reglas no lineales que parecen tener la forma de insectos o cefalópodos y otros que simulan ciertas plantas.

La figura más simple de la geometría euclídea, después de la recta, es la circunferencia. La propiedad de ser una circunferencia se conserva por las transformaciones de semejanza y también por las de inversión.

Apolonio de Pérgamo fue un gran matemático de la escuela de Alejandría hacia el año 200 a. de C., seguidor de Euclides, que descubrió un algoritmo para trazar las cinco circunferencias tangentes a otras tres dadas. Cuando éstas son mutuamente tangentes, el número de circunferencias apolonianas se reduce a dos. No se pierde generalidad suponiendo que dos de las tres circunferencias dadas son exteriores y están contenidas en la tercera.

Estas tres circunferencias definen dos triángulos circulares con ángulos de  $0^\circ$ , y las dos circunferencias apolonianas son las circunferencias máximas inscritas en ellos.

<sup>27</sup> MANDELBROT Benoit, La Geometría Fractal de la Naturaleza. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.230.

<sup>28</sup> Ibidem. p.239.

Un conjunto es *apoloniano* cuando consista en una infinidad de circunferencias junto con sus puntos límite. En este caso su condición de fractal se debe sólo a su fragmentación.

El resultado de la construcción apoloniana son cinco circunferencias, tres dadas y dos apolonianas, que a su vez definen seis triángulos circulares. La iteración indefinida de este procedimiento es lo que se conoce como *relleno apoloniano*. El conjunto consistente en la colección infinita de circunferencias y puntos límite constituye el conjunto denominado *red apoloniana*. Y una porción de la misma contenida en un triángulo circular, constituye un *tamiz apoloniano*.

Los triángulos circulares del relleno apoloniano no son semejantes entre sí, por lo que la cascada apoloniana no es autosemejante y la red apoloniana no es un conjunto escalante. En cualquier caso, como  $D$  es una fracción y  $D_T=1$ , el tamiz o red apoloniana es una curva fractal, ya que  $D$  nos da una medida de la fragmentación.

El concepto de osculación estándar está relacionado con el de curvatura. En primer orden, una curva estándar cerca de un punto regular  $P$  es aproximada por la recta tangente. En segundo orden es aproximada por la *circunferencia osculatriz*, esto es, la que tiene la misma tangente y la misma curvatura.

Un parámetro conveniente  $v$  para distinguir las distintas circunferencias tangentes a una curva en un punto  $P$  es la inversa de la distancia de  $P$  al centro de dicha circunferencia.

En el caso de la red apoloniana, carece de sentido definir la osculación por medio de la curvatura. Cada circunferencia delimita dos discos abiertos (uno de los cuales contiene el centro y el otro el punto del infinito); los discos se llaman osculadores<sup>29</sup>.

A continuación se analiza el papel que tienen los rellenos apolonianos y la dimensión fractal en la descripción de una clase de "cristales líquidos".

Estas bellas y misteriosas sustancias son líquidas en cuanto a movilidad y cristalinas en cuanto a comportamiento óptico; sus moléculas tienen una estructura relativamente complicada, son largas y forman cadenas.

Ciertas fases de un cristal líquido se llaman *esméticas*, del griego  $\sigma\mu\eta\gamma\mu\alpha$ , que significa jabón, porque constituyen un modelo de sistema orgánico de aspecto jabonoso.

Las propiedades físicas de este modelo de jabón dependen de la superficie y el perímetro de la suma de los intersticios. Todo ello tiene que ver con la dimensión fractal  $D$  del tamiz que no es penetrado por las moléculas de jabón.

Una homografía (también llamada transformación bilineal o de Mobius) transforma el plano complejo según  $z \rightarrow (az+b)/(cz+d)$ , donde  $ad - bc = 1$ . La homografía más general se puede descomponer en producto de una inversión, una simetría axial (que es una inversión degenerada) y una rotación. Por esta razón, en ausencia de rotaciones, el estudio de las homografías aprovecha muchas cosas del estudio de los grupos generados por inversiones. Sin embargo, se ha demostrado que el conjunto límite de un grupo de homografías es un fractal.

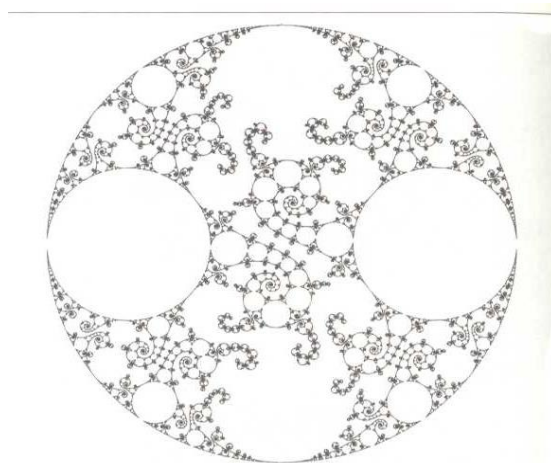


Imagen 19. Fractal autohomográfico.

<sup>29</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.250.

La topología del mayor conjunto acotado autocuadrático depende del lugar que ocupa  $\mu$  con respecto a una curva ramificada  $S$ , la que recibe el nombre de separador. El dominio abierto interior de  $S$  se descompone en una infinidad de componentes conexas para las que se propone el nombre de *átomos*. Las fronteras de dos átomos dados, o bien son disjuntas o bien sólo tienen un punto en común que se llama “enlace”, perteneciente a  $S$ . Cuanto más alejados están del origen de su molécula, los átomos tienden a ser idénticos<sup>30</sup>

La siguiente figura muestra que muchas de las “manchas” de los alrededores del mapa son verdaderas “moléculas isla”; tienen la misma forma que el mapa  $\mu$  entero, aparte de una distorsión no lineal.

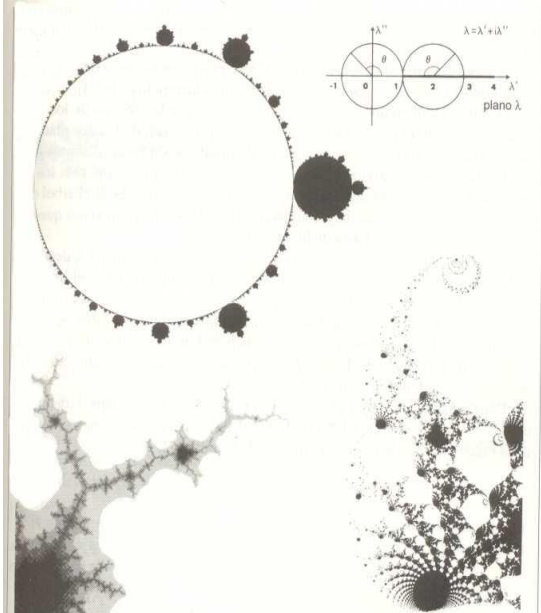


Imagen 20. La corona y los retoños.

Diversas propiedades de la geometría fractal de la naturaleza se clarifican al contrastarlas con la “teoría de los atractores extraños (fractales) y de la evolución caótica (o estocástica). En efecto, existen algunas figuras en el espacio real que se pueden ver, por lo menos al microscopio, mientras que la teoría de los atractores se ocupa en última instancia de la evolución temporal de puntos pertenecientes a un espacio representativo.

#### 1.4.6. Geometría Fractal y Euclidiana.

La geometría tradicional, la euclídea, es la rama de la matemática que se encarga de las propiedades y de las mediciones de elementos tales como puntos, líneas, planos y volúmenes. La geometría euclídea también describe los conjuntos formados por la reunión de los elementos, cuyas combinaciones forman figuras o formas específicas.

Sin embargo, las formas encontradas en la naturaleza, como montañas, franjas costeras, sistemas hidrográficos, nubes, hojas, árboles, vegetales, copos de nieve, y un sinnúmero de otros objetos no son fácilmente descritos por la geometría tradicional.

La geometría fractal provee una descripción y una forma de modelo matemático para las aparentemente complicadas formas de la naturaleza.

<sup>30</sup> MANDELBROT Benoit. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Ed. TusQuets. Barcelona, 2003. p.262.

Éstas poseen a veces una remarcable invariancia de simplificación bajo los cambios de la magnificación, propiedad que caracteriza a los fractales<sup>31</sup>.

### Geometrías Euclidianas.

La geometría euclidiana, también conocida como geometría clásica o elemental, comprende principalmente puntos, líneas, círculos, polígonos, poliedros y secciones cónicas. Se basa en las definiciones y axiomas descritos por Euclides (c.330-c.275 a.C.) en su tratado Elementos, un compendio de todo el conocimiento sobre geometría de su tiempo. La geometría sólida comprende principalmente esferas, cilindros y conos y fue desarrollada por Arquímedes (287-221 a.C.) varios años más tarde. Las secciones cónicas fueron el tema de los estudios de Apolonio para la misma época (c.260- después de 200 a.C.). Dentro de las geometrías euclidianas se encuentran las siguientes:

- **Trigonometría.** La geometría de los triángulos.
- **Geometría de Proyección.** Se basa en el estudio de las propiedades de figuras planas que no cambian cuando un conjunto de puntos se proyecta sobre un plano.
- **Geometría Analítica.** Estudia los problemas geométricos a base de un sistema de coordenadas y su transformación a problemas algebraicos.
- **Geometría Diferencial.** Añade el cálculo diferencial e integral a curvas, superficies y otras entidades geométricas.
- **Análisis Vectorial.** Estudia las cantidades que poseen magnitud y dirección.

### Geometrías No Euclidianas.

En el siglo XIX, matemáticos comenzaron a desarrollar otros tipos de geometría para los cuales, al menos, uno de los axiomas de Euclides no se sostiene. Esto dio origen al florecimiento de las geometrías no-euclidianas, y son las siguientes:

- **Geometría Hiperbólica.** Rechaza el postulado del paralelo de la geometría euclidiana y establece que por un punto dado fuera de una línea recta, pasa más de una línea que no intersecta la línea dada.
- **Geometría Elíptica.** Establece que no hay líneas paralelas y si se extienden suficientemente lejos, dos líneas rectas cualesquiera en un plano se encontrarán.
- **Topología.** Se ocupa de las propiedades que no se alteran por deformaciones continuas tales como flexión, estiramiento y torcimiento.
- **Geometría Fractal.** Estudia las formas y figuras que poseen recursividad, así como dimensión fraccionaria<sup>32</sup>.

El matemático francés Benoit Mandelbrot acuñó la palabra fractal en la década de los '70, derivándola del adjetivo latín *fractus*. El correspondiente verbo latino: *frangere*, significa romper, crear fragmentos irregulares.

El Fractal es, matemáticamente, una figura geométrica que es compleja y detallada en estructura a cualquier nivel de magnificación. A menudo los fractales son semejantes a sí mismos; esto es, poseen la propiedad de que cada pequeña porción del fractal puede ser visualizada como una réplica a escala reducida del todo. Existen muchas estructuras matemáticas que son fractales: el triángulo de Sierpinski, la curva de Koch, el conjunto Mandelbrot, los conjuntos Julia, y muchas otras<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> Recuperado el 28 de marzo de 2008, de <http://www.zonafractal.html>

<sup>32</sup> Recuperado el 13 de abril de 2009, de <http://www.fractovia.org/es/html>

<sup>33</sup> Recuperado el 28 de marzo de 2008, de <http://www.zonafractal.html>

### Diferencias fundamentales entre la Geometría Euclídea y la Fractal.

Euclídea	Fractal
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tradicional (más de 2000 años)</li> <li>- Dimensión entera</li> <li>- Trata objetos hechos por el hombre</li> <li>- Descrita por fórmulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderna (aprox. 50 años)</li> <li>- Dimensión fractal</li> <li>- Estudia las formas naturales</li> <li>- Algoritmo recursivo (iteración)</li> </ul>

La característica que fue decisiva para llamarlos fractales es su dimensión fraccionaria. No tienen dimensión uno, dos o tres como la mayoría de los objetos a los cuales estamos acostumbrados. Los fractales tienen usualmente una dimensión que no es entera, ni uno ni dos, pero muchas veces entre ellos. Ejemplo: 1,55.

A un objeto geométrico fractal se le atribuyen las siguientes características<sup>2</sup>

- Es demasiado irregular para ser descrito en términos geométricos tradicionales.
- Posee detalle a cualquier escala de observación.
- Es autosimilar (exacta, aproximada o estadísticamente).
- Su dimensión de Hausdorff-Besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica.
- Se define mediante un simple algoritmo recursivo.

Un **fractal natural** es un elemento de la naturaleza que puede ser descrito mediante la geometría fractal. Las nubes, las montañas, el sistema circulatorio, las líneas costeras o los copos de nieve son fractales naturales. Esta representación es aproximada, pues las propiedades atribuidas a los objetos fractales ideales, como el detalle infinito, tienen límites en el mundo natural.

Las formas fractales, las formas en la que las partes se asemejan al todo, están presentes en la materia biológica, junto con las simetrías (las formas básicas que solo necesitan la mitad de información genética) y las espirales (Las formas de crecimiento y desarrollo de la forma básica hacia la ocupación de un mayor espacio), como las formas más sofisticadas en el desarrollo evolutivo de la materia biológica en cuanto que se presentan en procesos en los que se producen saltos cualitativos en las formas biológicas, es decir posibilitan catástrofes (hechos extraordinarios) que dan lugar a nuevas realidades más complejas, como las hojas que presentan una morfología similar a la pequeña rama de la que forman parte que, a su vez, presentan una forma similar a la rama, que a su vez es similar a la forma del árbol, y sin embargo cualitativamente no es lo mismo una hoja (forma biológica simple), que una rama o un árbol (forma biológica compleja)<sup>34</sup>.

Es importante reconocer que los fractales verdaderos son una idealización. Ninguna curva en el mundo real es un fractal verdadero; los objetos reales son producidos por procesos que actúan sólo sobre un rango de escalas finitas. En otras palabras, los objetos reales no tienen la infinita cantidad de detalles que los fractales ofrecen.

<sup>34</sup> Recuperado el 13 de abril de 2009, de <http://www.es.wikipedia.org/wiki/fractal>

## CAPÍTULO II. NATURALEZA Y ARQUITECTURA.

### 2.1. El Espacio en la Naturaleza.

#### 2.1.1. La Caverna.

Mucho antes que el hombre inventara la cuna y emprendiera la construcción de casas, la naturaleza le ofreció generosas cavernas, en las que encontró el abrigo y protección que por instinto buscaba.

El hombre requiere refugios cubiertos, a su escala. Cuando se mira hacia el horizonte, cuando se aprecian los espacios abiertos, los grandes valles o llanuras, uno goza de ellos como paisajes, pero no es fácil de encontrar un lugar protector.

Las cuevas se nos ofrecieron como un primer resguardo contra las inclemencias del tiempo, las bestias salvajes y los enemigos de nuestra propia especie. Este hallazgo primitivo de la humanidad origina la arquitectura, que no es otra cosa que el dominio de las fuerzas naturales adversas, en pro de un bienestar propio.

La caverna, como arquitectura natural, surge de la erosión de la tierra, y sus características se erigen en notables aportaciones a la arquitectura humana. Las consideraciones sobre la caverna provocan la reflexión sobre la arquitectura que el hombre construye<sup>4</sup>.

La mayoría de las cuevas, dones de la naturaleza, son abrigadoras y sumamente sólidas, aunque casi nunca se encuentran en venta o alquiler. En este orden de ideas, para el arquitecto Frank Lloyd Wright, la casa debe ser como una caverna, un refugio en donde el ser humano se pueda retirar para protegerse de la lluvia, el viento y la luz, “que ahí pueda estar a sus anchas, en completa seguridad y reposo, como un animal en su guarida”<sup>5</sup>.



Imagen 21. La primera guarida del hombre. La caverna.

<sup>4</sup> Ibidem. p.28.

<sup>5</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura* . Ed. Limusa. México, 1998. p.28.

### 2.1.2. El Territorio.

Son varios los estudios llevados a cabo sobre el comportamiento, capacidad de adaptación y desarrollo de los animales. Los zoólogos y ecólogos se ocupan de las especies animales en su propio medio, en libertad; sus investigaciones se aplican con fines educativos, culturales e incluso mercantiles. La información recabada sirve a encargados de criadores de distintas especies animales para identificar las condiciones de vida animal, con el propósito de adecuar ciertos espacios y mantenerlos en cautiverio.

Los logros resultan evidentes; esas investigaciones arrojan datos para saber cuál es el tipo de espacio que requiere cada animal, así como las condiciones ambientales precisas para su supervivencia. A partir de estos datos se determinan las características adecuadas sobre la dimensión del espacio, necesarias para que el animal no se enferme o no pierda el lustre de su piel y, por otra parte, se delimitan las propiedades físicas para posibilitar la reproducción en cautiverio de ciertas especies.

Los resultados de las investigaciones sobre la vida animal se llevan a la práctica para reproducir el hábitat de los animales lo más parecido posible a su medio original. Desgraciadamente, no sucede lo mismo en el caso del hombre.

A pesar de los esfuerzos y avances de ciencias como la antropología, la psicología y la sociología, que se ocupan del desarrollo humano, de su forma y modos de vida en su ámbito, sus tesis no llegan a aplicarse en la construcción del hábitat del hombre.

La preocupación del hombre por el hombre mismo se queda en lo teórico y sus propias construcciones lo apartan de su origen. La violenta adaptación urbana lo transforma, lo lleva a perder lo más auténtico de su ser: la naturalidad.

Por múltiples causas, los seres vivos tienden a delimitar su espacio y a esta extensión de tierra se le denomina territorio. La territorialidad la fija un individuo, una pareja, una secta o grupo, o bien una nación o especie.

En el reino animal, el territorio se delimita y marca de un modo aparentemente informal y deliberado; no obstante, esta selección cumple un cometido específico. Los territorios se determinan a partir de sus necesidades físicas, que van desde la reproducción y alimentación hasta la seguridad y el cobijo. Se ha demostrado que los territorios se extienden conforme disminuye el alimento, en tanto que se reducen cuando la comida abunda. Sin tomar en cuenta la necesidad de poder o posesión, con frecuencia se buscan territorios pequeños, más fáciles de defender y proteger<sup>5</sup>.

El ser humano también define sus territorios, pero no únicamente por razones físicas, sino que en él existen causas políticas, culturales, económicas, sociales y psicológicas. El hombre manifiesta a lo largo de su vida una necesidad de propiedad y posesión; habla de *su* recámara, *su* casa, *su* barrio, *su* ciudad, *su* patria, etc...

Por otra parte, el hombre también se hace de espacios que no implican necesariamente una propiedad, sino que sirven para su desarrollo. Es claro que el ser humano limita sus territorios de acuerdo a sus necesidades y posibilidades.

Desde épocas anteriores a la construcción hecha por el hombre, los animales construyen sus moradas con gran habilidad, utilizando materiales del Reino Vegetal y del Mineral. Estos refugios son muy variados y en todos los casos auténticos ejemplos a seguir<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Ibidem. p.29.

<sup>6</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura* . Ed. Limusa. México, 1998. p.30.





Imagen 22. El territorio.

### 2.1.3. Espacio aéreo.

Al llegar la primavera al hemisferio norte, una gran variedad de aves emigra al sur en busca de ambientes lo suficientemente cálidos para asegurar su reproducción. El pájaro es un constructor incansable y sabio. Por lo general, las aves escogen un árbol como residencia de la parvada y una rama para construir el hogar temporal de cada pareja y de los pequeños críos que tarde o temprano llegarán. La elección del lugar importa en la medida que los pajarillos se asientan en él como amos y señores. Desde la copa de un árbol, anunciarán que ese territorio es suyo y que nadie deberá transgredirlo. Lo protegen y resguardan con pasión. Esos territorios amplios, soleados, con aire puro y bella vista, son los que el hombre extraña.

Una vez que se eligió el sitio, el macho vuela por los materiales y la hembra, con su pico, esculpe el nido amoldándolo a su pecho. Las varas y el lodo constituyen la materia prima para edificar un nido; las varas o el musgo trabajan a favor de la tensión, en tanto que el excremento y el lodo lo hacen para asegurar la compresión. En este tipo de nido, los principios de tensión y compresión se han aplicado desde hace más de 150 millones de años; mientras que el concreto armado, que sigue el mismo principio, se utiliza hace apenas unos cuantos años, y no es sino hasta finales del siglo XX en que a este material se le agregan fibras –metálicas, de vidrio, etc.- de refuerzo. Lo mismo sucede con las resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio que siguen la misma idea.

Se sabe que las aves ocupan los huecos que se forman en los troncos de los árboles o bien en cavidades terrestres. Cuando no encuentran suficiente espacio en los árboles, lo crean; tal sería el caso del pájaro carpintero que utiliza su pico como herramienta para perforar una cámara. El siguiente tramo evolutivo lo constituye la construcción de los nidos de acuerdo a las características de cada especie.

Existen miles de especies de aves, por lo que la diversidad de nidos es muy amplia. Todos siguen los mismos principios de ubicación y adaptación; toman en cuenta los vientos dominantes, asoleamiento, humedad, así como el tamaño y jerarquía de los ocupantes y huevecillos, el tipo de protección que necesita, etc. Por ejemplo, se pueden

encontrar nidos poco profundos, profundos u ovalados; nidos colgantes o en condominio, trogloditas, en acantilados, camuflajeados, nidos flotantes... en fin, de una gran variedad de formas, pero todos ellos se adaptan a las necesidades de cada especie<sup>7</sup>.



Imagen 23. Nido en forma de cúpula invertida.

Otro tipo de refugio es el conocido como nido vertical, fabricado con lodo y paja. Esta clase de moradas resulta similar a algunos edificios de apartamentos; cada abertura es un nido individual compuesto de dos cámaras, la primera sirve de vestíbulo y la segunda para dormir, depositar e incubar los huevecillos.

En fin, suman centenares las formas de los nidos. Sin embargo, en todos los casos los nidos se adaptan al cuerpo de las aves, a sus necesidades y al lugar en que se construyen<sup>8</sup>.

#### 2.1.4. Espacio terrestre.

Dentro de las sorprendentes construcciones del Reino Animal se encuentran las de los animales de la tierra. Alma de estas estructuras es la termitera, obra monumental de las termitas. Estos insectos, llamados también hormigas blancas, habitan generalmente en el trópico. Aunque sólo pueden vivir donde hay calor, no están dotadas de una piel que las proteja de los rayos solares. Su cuerpo es blando, en la mayoría de los casos son ciegas y además requieren de niveles de humedad y temperatura constantes.

Por otra parte, las termitas participan de un sistema social que permite un desarrollo urbanístico dirigido por las reinas y efectuado por las termitas obreras. Estas características, tanto físicas como sociales, dan paso a la construcción de un hábitat natural que esta de acuerdo a sus necesidades.

Las termiteras adoptan una infinidad de formas, con características semejantes en materiales y sistemas de temperatura. Las estructuras varían según el clima en donde se desarrollan; por ejemplo, las especies tropicales erigen enormes moles de alrededor de 5 a 8 metros, tan grandes y numerosas que dan la imagen de un poblado lleno de chozas. En África semejan gigantescos hongos; en otros lugares simulan castillos con torres o campanarios.

No es de extrañarse que en poco tiempo las compañías en el ramo de los pegamentos y adhesivos, estudien las reacciones de los elementos químicos de la saliva y el fluido intestinal de las termitas, para poder aplicar estos principios de resistencia a adhesivos para plásticos, concretos y otros materiales<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Ibidem. p.31.

<sup>8</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.32.

<sup>9</sup> Ibidem. p.35.

Cuando se observan esas gigantescas termiteras, parece ser que adentro no pasa nada, que no hay vida. Sin embargo, se trata de un espacio proyectado para vivirse por dentro. Una sola termitera puede alojar, hasta tres millones de insectos, todos ellos dirigidos por una Monarca desde la Cámara Real, ubicada en el centro de la termitera. En torno de dicha cámara se extienden galerías con pasillos de enlace a miles de compartimientos, en los que se albergan los almacenes.

En el exterior aparecen nada más pequeñas perforaciones que permiten ventilar a la monumental construcción. También cuentan con canales pluviales para la eliminación del agua que haya sobrepasado los aleros protectores del exterior. El trabajo de estos insectos ejemplifica cómo un instinto milenario puede ser aprovechado por el hombre para el desarrollo de su arquitectura.

La naturaleza les ofrece retos y obstáculos que las termitas han vencido: el control de la ventilación, del asoleamiento, de la humedad, de la orientación y de la temperatura de sus moradas.

La destreza con que la termita domina la naturaleza se admira no sólo por el tamaño de sus construcciones, sino por la aplicación de materiales y su diseño. La termita utiliza su propio cuerpo como herramienta para la construcción de sus cámaras, la mandíbula superior le sirve de cuchara y las antenas como base de las medidas a su cuerpo. El material básico que usa la termita es la tierra, a la que le da solidez con un mortero de saliva o con algún fluido intestinal. Cualquiera que sea la técnica aplicada, las termiteras alcanzan impresionantes niveles de dureza y perdurabilidad.

El diseño invita a tomarlo como un ejemplo para el proyecto de futuras viviendas ecológicas autosuficientes o bien para el desarrollo de viviendas bioclimáticas combinadas con ecotecias tales como el aprovechamiento de la energía solar y eólica por medio de transformadores eléctricos, el reciclaje de las aguas residuales y de los desechos orgánicos e inorgánicos, todo ello con el fin de volver a mantener un equilibrio con el ecosistema en el que se habita<sup>10</sup>.

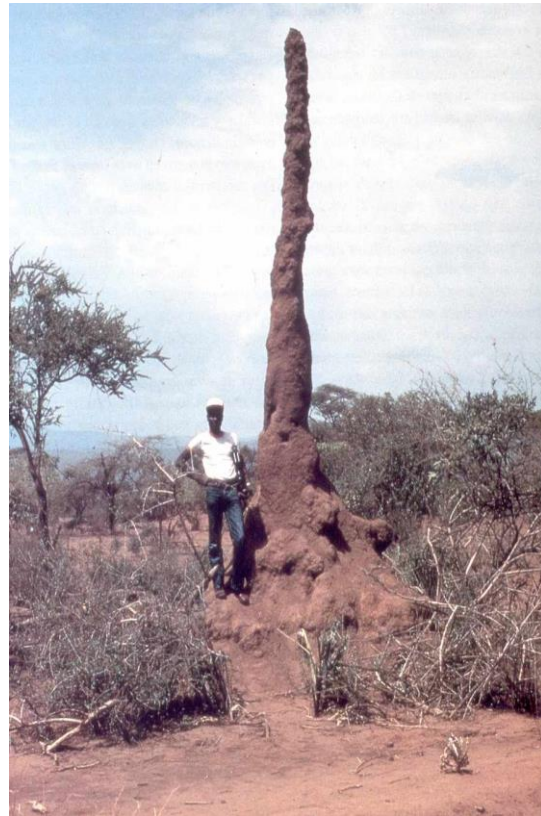


Imagen 24. Termitera en Kenia, África.

### 2.1.5. Espacio anfibio.

El castor ha obtenido el título del “constructor de la naturaleza”; este animal dominó mucho antes que el hombre, espacios firmes y sólidos, en superficies que van desde estanques y canales hasta lagunas y ríos, donde crean, guiados por su instinto, moradas que les sirven para protegerse de sus enemigos, para resguardarse del invierno y para almacenar sus víveres.

<sup>10</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.37.

Estos animales, construyen sin más herramienta que su propio cuerpo. Utilizan sus grandes y filosos dientes para roer y aserrar, mientras que sus patas delanteras les sirven para presionar firmemente, las patas traseras para impulsarse en el agua y su cola para empujar, transportar o derribar pequeños árboles.

En las orillas de las corrientes de agua y cerca de los árboles, los castores se reúnen para elegir el sitio en donde construirán su comunidad. Una vez ubicado el lugar preciso, empieza la labor de infraestructura. Primeramente, desvían el agua a través de un arroyo embalsado con diques de madera que previamente se armaron y conectaron entre sí.

Ya que tienen los materiales en el sitio elegido, los roedores se disponen a construir el dique. Aseguran los troncos en el fango, formando una muralla, que después rellenan con una especie de mortero hecho con arcilla y hojas.

El paso siguiente es la construcción de la madriguera propiamente dicha. Esta se edifica con los mismos materiales: palos, ramas, troncos, tierra y lodo, a una corta distancia del dique, pero sobre un pequeño montículo natural.



Imagen 25. Corte transversal del albergue y del dique construidos por el castor.

El albergue cuenta con una o varias entradas subacuáticas que dan paso ascendente a una cámara que se encontrará, al terminar su obra, por encima del nivel del agua. Los castores tendrán acceso a su albergue sumergiéndose en el agua; entran por los túneles y de esta forma se protegen de sus enemigos, que como el oso, no pueden introducirse en el refugio.

La estructura se edifica a escala de sus creadores, presentando moradas que reflejan al exterior sus formas internas. Por lo general, estas viviendas presentan una forma cónica de aproximadamente 1.80m. de diámetro por 70cm. de altura, en el interior y de 5m. de diámetro por 1.50m. de alto en el exterior.

Los elementos urbanísticos de la ciudad de los castores se articulan entre sí como una maquinaria de reloj. Por lo que no sería aventurado afirmar que en un futuro promisorio, podrían proyectarse ciudades submarinas basadas en los mismos principios con los que estos roedores las edifican. Tomando en cuenta estos modelos, es posible, además, explotar diversos recursos marinos y utilizar la energía hidráulica de los mares.

Hay que aprender de la ingeniería y de la arquitectura de los animales. Seguramente se necesita mucha capacidad de observación. Por ejemplo, la catedral de Brasilia, ideada por el arquitecto Oscar Niemeyer, se basa en algunos principios de las construcciones de los castores y comparte con éstas conceptos similares de funcionamiento, espacio, estructura y forma.

Por el exterior, la catedral se encuentra rodeada de agua. El muro perimetral de la construcción, de forma cóncava, trabaja como un dique. Para entrar a ella se debe pasar por un estrecho y oscuro túnel en forma de rampa, del que, se abre el espacio y se sale a la luz, a un cielo abierto, produciéndose la misma sensación de haber salido de una enorme caverna<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.38.

## 2.2. La Estructura en la Naturaleza.

En los Reinos Vegetal, Animal y Mineral se encuentran estructuras fantásticas, en las que se pueden entender las bases elementales del concepto estructural, que es, parte medular del diseño creativo y constructivo del entorno arquitectónico del hombre. Algunas veces, este elemento implica fricciones entre el arquitecto y el ingeniero estructural, sobre todo al momento de acordar y decidir sobre ello. Un buen arquitecto debe poseer conocimientos generales sobre la estructura, así como de la distribución del espacio, del aspecto constructivo, de los sistemas mecánicos y eléctricos, de las finanzas, de la conducta social y psicológica del hombre, de urbanismo, historia, de teoría del diseño, etc.

El arquitecto actual debe conocer los fundamentos de diversas especialidades. El arquitecto tiende al conocimiento integral y el ingeniero al conocimiento especializado. Conciliar las propuestas del arquitecto e ingeniero conlleva la armonía entre estética y tecnología, cuya separación resulta frecuentemente incorrecta. Nada más deseable que la arquitectura y la estructura se integren para que la ciencia y la estética unan esfuerzos para satisfacer las necesidades, tanto físicas como espirituales del hombre.

La diferencia entre el cálculo y el diseño estructural consiste en que el primero es un método, pero para aplicarlo se necesita el diseño estructural, cuya misión consiste en determinar la forma y proporción de la estructura. Esta determinación resulta de un acto personal de síntesis creativa, que llamamos diseño estructural, en el que intervienen la imaginación, la intuición, la experiencia y los conocimientos del agente creador.

La estructura expresa uno de los muchos aspectos de la creatividad humana y no puede concebirse sin un profundo respeto por las leyes naturales.

Desde el punto de vista de las estructuras, el esqueleto de los animales de cuatro patas se considera como un sistema de doble voladizo, en el que las fuerzas se equilibran.

Este principio también se aplica en la mayoría de los transportes terrestres. El miembro superior del voladizo se somete a tracción, mientras que en el cuerpo del cuadrúpedo el *ligamentum* trabaja a tensión y el esqueleto a compresión.

Otro ejemplo se encuentra en el cactus Sahuaro. Esta estructura vegetal reforzada se mantiene de pie sobreviviendo a vientos, huracanes y terremotos, gracias a la combinación de las fibras que le dan rigidez y trabajan a la tensión, transmitiendo sus esfuerzos a la pequeña raíz; asimismo, las costillas estriadas del exterior le proporcionan gran rigidez.

En la construcción de puentes o edificios de grandes claros la estructura se considera como la columna vertebral. Los puentes de Maillart, en Suiza, brindan un bello ejemplo de la ingeniería realizada con sentido común, su forma obedece a la función de la economía en la construcción. Maillart definió su axioma creativo con una palabra: economía<sup>10</sup>.

La gran meta de la estructura estriba en conseguir el máximo mediante el mínimo. La estructura no consiste en hacer algo más fuerte, agregando masa y volumen, sino en utilizar el material de la manera más adecuada, igual que en la naturaleza. Sin una economía de materiales, el puente no soportaría su propio peso, como tampoco el árbol podría hacerlo.

De lo anterior se deduce que la solución idónea para cualquier problema de diseño estructural consiste en lograr **el máximo mediante el mínimo**. La diferencia entre las estructuras técnicas y las orgánicas estriba en que las primeras son una ayuda para el hombre, mientras que las segundas son imprescindibles para todo ser viviente<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.41.

<sup>11</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.42.

### 2.2.1. Principios estructurales.

El hombre requiere aplicar las estructuras a sus construcciones. Los puentes ejemplifican una estructura típica de la Naturaleza: el puente viga, formado por el árbol caído; el puente arco, labrado por la erosión de las rocas; y el puente colgante, conformado por enredaderas, lianas o parras. Estos tres principios estructurales han permanecido sin cambio durante miles de años.

Hay que observar que toda forma, independientemente de su función, contiene en sí misma una estructura. El propósito y la razón de ser de una estructura estriba en canalizar los esfuerzos al terreno, trátase de un árbol, un puente, un edificio, etc. Los esfuerzos que actúan sobre la estructura producen cinco tipos básicos de fuerzas: compresión, tensión, flexión, cortante y torsión.

En el árbol se encuentra un ejemplo en donde se conjugan las cinco fuerzas. En las ramas, las superficies superiores de las fibras de madera se tensan; la gravedad empuja a las ramas hacia abajo, mientras que las fibras de la superficie inferior **se comprimen**. También se produce **una flexión** dentro de la madera cuando la gravedad atrae a las ramas, en tanto que si se curvan con el viento se produce **una torsión**.

Asimismo, se genera una **fuerza cortante**, entre las fibras de la madera, que se da cuando el viento agita a las ramas y al tronco, curvándolos en un sentido u otro.

Generalmente, las estructuras que emplean la compresión resultan gruesas y cortas; tal es el caso de las patas de un elefante, que para soportar una gran carga salen verticalmente a los lados del cuerpo en un punto cercano al centro de gravedad del cuerpo del animal. En cambio, las estructuras que emplean la tensión, presentan la ligereza de las telarañas, estas estructuras soportan más carga con menos material.

La Naturaleza es equilibrio y belleza. En el cuerpo humano se observa un ejemplo de diseño en equilibrio dinámico. El sistema óseo es la estructura interna del cuerpo, cuya base es la columna vertebral, apoyada en la pelvis. Toda la estructura se mantiene unida y articulada por el sistema muscular (ligamentos, membranas, tendones y músculos), toda una red en tensión. Casi todos los huesos requieren de flexibilidad en sus dos extremos y de rigidez en la parte central. Una estructura demasiado rígida puede quebrarse con mayor facilidad que una flexible o elástica<sup>12</sup>.



Imagen 26. Principios de fluidez y continuidad aplicados por el hombre en sus construcciones.

<sup>12</sup> Ibidem. p.44.

Los principios elementales de **continuidad** y de **fluidez** en las estructuras, así como en el urbanismo e instalaciones, se encuentran en el Reino Vegetal, árbol y cactáceas; en el Reino Mineral, cauces de ríos y afluentes; y en el Reino Animal, sistema sanguíneo.

El urbanismo debe considerar el principio de fluidez y continuidad que siguen los ríos; los afluentes (calles) se van ensanchando hasta llegar al cauce principal (avenida) y poder desembocar en la delta del puerto (estacionamiento).

Para las instalaciones el ejemplo del árbol y del río tienen validez, pero hay que tomar en cuenta también como modelo el sistema sanguíneo. Para las instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas y aire acondicionado, se sigue este principio, que consiste en presionar la energía por medio de una bomba<sup>13</sup>.

## 2.3. El Proyecto ecológico.

### 2.3.1. Ecología y Proyecto.

Para proyectar de una manera ecológicamente responsable y sensible, es preciso adoptar un planteamiento del proyecto de edificación holista y globalizador. Sin embargo, es necesario comprender algunos de los conceptos básicos de la ecología, incluyendo la estructura y la función de los ecosistemas, específicamente desde el punto de vista del proyectista. La ecología y la biología ambiental han sido mal comprendidas por los proyectistas y esa deficiente comprensión ha conducido a daños ambientales irreparables.

Una diferencia inmediata entre el proyectista y el ecologista radica en el distinto modo de entender el entorno o medio ambiente. Se puede establecer una distinción entre el producto final del proceso de proyecto como *sistema* proyectado y su *entorno* (aquellas partes del mundo exterior que interactúan con él). La validez de cualquier modelo de un sistema, y de la descripción del sistema que el modelo suministra, dependen no sólo del carácter del modelo, sino también de las hipótesis que se establezcan sobre el entorno del sistema y sobre la interacción entre entorno y sistema<sup>14</sup>.

En un planteamiento de proyecto ecológico, el concepto de entorno ha de ser entendido de una forma mucho más global, abarcando no sólo el medio físico (inorgánico) para la edificación, sino también el biológico (orgánico). Todo sistema viviente sobre la superficie de la Tierra se ve afectado de alguna manera por el estado y la estabilidad de su entorno. Cada acto de construcción redundará en una alteración del entorno.

Se define **ecología** (término acuñado por Haeckel en 1869) como el estudio de las interacciones de los organismos y especies biológicas (incluyendo a los seres humanos) con su entorno, la distinta composición y estabilidad de especies geográficamente localizados y el flujo de energía entre los grupos de especies (ecosistema)<sup>14</sup>.

Los ecologistas sostienen que el conjunto de interacciones entre los componentes biológicos y físicos del medio ambiente constituye una unidad espacial denominada "ecosistema". Este sistema ecológico, o ecosistema, se define como una unidad que abarca todos los organismos, es decir, la comunidad, de un área determinada y sus relaciones recíprocas con el medio físico, de modo que los flujos de energía que se producen entre ellos conducen a una estructura trópica claramente definida, a la diversidad biótica y a los ciclos materiales (los intercambios de materia entre las partes vivientes y no vivientes) del sistema.

---

<sup>13</sup> SENOSIAN, Javier. Bio Arquitectura. Ed. Limusa. México, 1998. p.45.

<sup>14</sup> YEANG, Ken. Proyectar con la Naturaleza. Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.2

<sup>14</sup> YEANG, Ken. Proyectar con la Naturaleza. Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.3

Entre las funciones que se desarrollan en el seno de un ecosistema se incluyen la transformación, la circulación y la acumulación de materia y energía por la intervención de los organismos vivos y sus actividades, y a través de procesos naturales. Entre otras funciones del ecosistema se encuentran la fotosíntesis, la obtención de energía a partir de plantas (organismos herbívoros), de los animales (organismos carnívoros) y la simbiosis.

Antes de relacionar un proyecto con su entorno, es vital tener un exacto conocimiento del concepto de ecosistema. Este es el primer aspecto importante en todo planteamiento de proyecto ecológicamente sensible.

El planteamiento ecológico también exige el análisis del sistema proyectado; este puede consistir en una exploración en el ecosistema del lugar en que se emplaza el proyecto, para entender y prevenir los cambios que acompañan a su estructura y funcionamiento derivados del hecho de imponerle un sistema artificial.

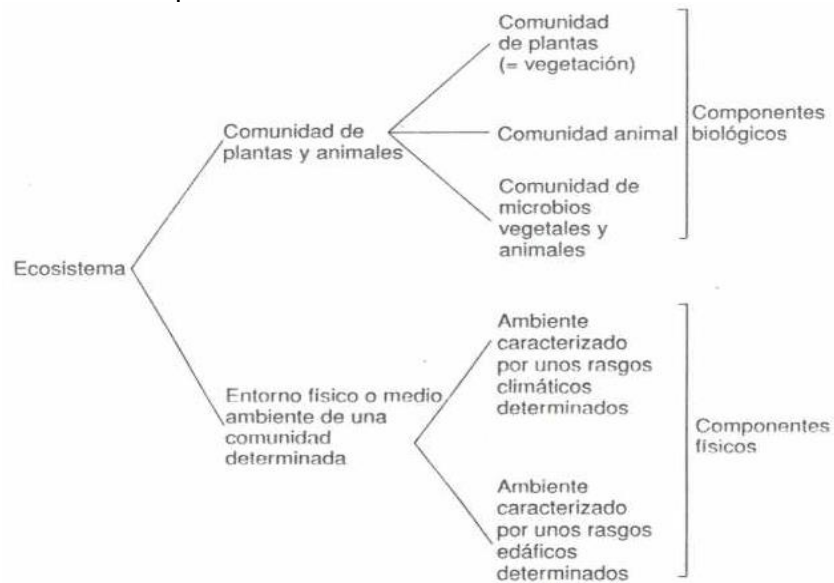


Fig. Descomposición del ecosistema en sus componentes biológicos y físicos.

Los principales componentes de un ecosistema son los siguientes:

- Sustancias inorgánicas (carbono, nitrógeno, agua, etc.). Estas sustancias están incluidas en ciclos materiales dentro del ecosistema.
- Compuestos orgánicos (proteínas, hidratos de carbono, etc.). Estos compuestos reúnen sustancias bióticas y abióticas.
- Factores climáticos (temperatura, lluvia, grado de asoleamiento, etc.). El clima tiene unos efectos que favorecen o impiden que los organismos prosperen en un ecosistema determinado.
- Organismos autótrofos (productores). Son principalmente las plantas verdes, las cuales tienen la capacidad de fabricar alimentos a partir de sustancias simples. "Autótrofo" significa que se "autoalimenta", es decir, que se nutre a base de compuestos inorgánicos.
- Organismos heterótrofos (consumidores). Principalmente animales y vegetales sin clorofila, que se nutren de otros organismos. "Heterótrofo" significa que se "alimenta de otro". Existen tres tipos de organismos heterótrofos:
  - Herbívoros (consumidores primarios o "comedores de plantas"). Los seres herbívoros obtienen la energía directamente de las plantas.



- Carnívoros (consumidores secundarios o “comedores de carne”). Los seres carnívoros obtienen la energía de las plantas verdes consumiendo herbívoros.
- Consumidores terciarios. Son carnívoros que se alimentan de otros carnívoros
- Organismos saprófitos. Estos organismos, como las bacterias y los hongos, viven a expensas de materia orgánica en descomposición y contribuyen a la reducción de sustancias complejas en otras más simples.

En la planificación de un entorno para construir; el proyectista debe percatarse de que cualquier estructura que se ubique en él va a afectar, inevitablemente, no sólo al ecosistema del terreno, sino también a los de las inmediaciones. Cada vez que un sistema edificado entra en acción, va a ser sujeto de interacciones con el medio ambiente.

Un planteamiento verdaderamente ecológico requiere que el proyectista no se limite a asumir sus responsabilidades tradicionales, sino también las derivadas de las interacciones entre el sistema proyectado y su medio ambiente a lo largo del ciclo vital físico de la construcción<sup>15</sup>.

De esta forma se podría llegar a redefinir el proyecto arquitectónico como una forma de gestión de energía y materiales, en la que sería misión del proyectista dar una forma temporal (durante el periodo de uso) al manejo y reunión de la energía y los recursos naturales de la Tierra para que, al final de su periodo de uso, proceder a reciclar los materiales dentro del entorno edificado o asimilarlos al entorno natural<sup>16</sup>.

### 2.3.2. Bases para el Proyecto Ecológico.

1. *El Concepto ecológico del medio ambiente.* Al examinar el terreno de emplazamiento, el proyectista debe contemplar también el entorno e incorporar el concepto ecologista del medio ambiente. La aplicación del concepto de ecosistema al proyecto supone concebir, desde un principio, el lugar de emplazamiento, como una unidad de componentes bióticos y abióticos (vivos y no vivos) que funcionan como un todo en la formación de un ecosistema e identificar y comprender todas sus características e interacciones, antes de efectuar cualquier intervención en el lugar de emplazamiento.

2. *Conservación de energía, materiales y ecosistema mediante el proyecto.* El planteamiento ecológico del proyecto comprende un uso más racional de los ecosistemas y recursos naturales. Un enfoque racional del uso de los ecosistemas, la energía y los recursos materiales de la Tierra, equivale a un planteamiento del proyecto “conservacionista”. El proyectista ha de ser consciente de las cantidades de energías no renovables empleadas en la realización, funcionamiento y evacuación de desperdicios del medio edificado y de la eficiencia en el uso de tales recursos.

En el marco global de la biosfera, los ecosistemas y sus procesos también suministran el vertedero final para todas las descargas y desperdicios del medio edificado. Como los ecosistemas tienen unas capacidades de asimilación finitas, el grado de asimilación de esas descargas y desperdicios por parte de los ecosistemas es limitado.

3. *Enfoque contextual de un ecosistema.* En el marco de la biosfera, no sólo se producen interacciones entre los componentes de un mismo ecosistema, sino que también se producen influencias recíprocas entre los diversos ecosistemas y procesos naturales.

---

<sup>15</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza* . Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.14

<sup>16</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza* . Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.15

Por consiguiente, los efectos de la intervención humana en un ecosistema concreto no pueden considerarse como algo aislado y limitado a sus confines específicos, sino que pueden extenderse a otros ecosistemas.

4. *Los emplazamientos del proyecto deben ser analizados individualmente.* Los emplazamientos son ecológicamente heterogéneos, por muy similares que puedan parecer superficialmente. De hecho, cada ecosistema tiene su propia estructura física, su propia composición de elementos orgánicos e inorgánicos, y sus propias interacciones.

5. *El ciclo de vida como concepto de proyecto.* Las interacciones entre ecosistemas son procesos dinámicos y sufren alteraciones a lo largo del tiempo. Lo ideal es prevenir el impacto y el rendimiento del sistema proyectado en los ecosistemas a través de todo el ciclo de vida de la edificación. Pero, al mismo tiempo, los estados de los ecosistemas también van cambiando. En la fase preliminar de todo proyecto planteado ecológicamente, el proyectista ha de predecir, las acciones y actividades principales asociadas a su proyecto, a lo largo del ciclo de vida previsto<sup>17</sup>.

6. *Toda construcción comprende un desplazamiento espacial del ecosistema y unas adiciones de energía y materiales nuevos al lugar de emplazamiento.* Todo medio edificado conlleva un desplazamiento espacial del ecosistema del lugar de emplazamiento y una intromisión en el mismo, aunque sólo sea por su mera presencia física. La composición, el uso del suelo, la estructura física y los sistemas mecánicos de la edificación han de ser considerados globalmente con relación a los componentes, el modelo espacial y el funcionamiento del ecosistema.

7. *El "sistema total" o enfoque holista.* La introducción de un sistema proyectado en un ecosistema puede arrojar múltiples efectos sobre el mismo. Ha de concebirse el proyecto en el contexto global del ecosistema, operando como un todo y no con relación sólo con algunos de sus componentes.

8. *El problema de la eliminación de los productos de desecho.* Los ecosistemas tienen la capacidad de asimilar una cierta cantidad de intervención humana. Sin embargo, existe un límite a partir del cual el ecosistema queda irreparablemente dañado. Uno de los objetivos esenciales del proyecto ha de ser procurar que ninguno de los aspectos del orden existente se pierda para siempre o quede lesionado como resultado de las actividades humanas.

9. *Estrategia de proyecto basada en la sensibilidad y la previsión.* La síntesis de cualquier sistema proyectado implica inevitablemente algún impacto ambiental (sea por adición, alteración o disminución) sobre el ecosistema, así como también una cierta utilización y redistribución de recursos de la Tierra. El objetivo del proyecto ecológico consiste en relacionar las actividades humanas con los ecosistemas de la manera menos destructiva posible, del modo más compatible con las limitaciones inherentes al ecosistema.

Los principales postulados de este enfoque ecológico son:

- Mantener un medio ambiente biológicamente viable es ventajoso para el ser humano.
- El estado actual de degradación progresiva del medio ambiente es inaceptable.
- Es preciso minorizar, los impactos destructores sobre los ecosistemas.
- Los recursos naturales son limitados.
- La humanidad forma parte de un sistema cerrado y el estudio de los procesos del medio natural, ha de constituir una parte esencial de los procesos de proyecto y planificación.
- Existen relaciones recíprocas entre el medio artificial y el medio natural y cualquier cambio de una parte del sistema afecta al sistema completo<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Ibidem. p.32.

<sup>18</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.34.

### 2.3.3. La Arquitectura y su Impacto Ecológico.

El medio edificado es análogo a un sistema vivo (u organismo) que sobrevive extrayendo de una u otra forma la energía y la materia de su medio ambiente, para devolverlas después de haberlas utilizado (intercambios de energía y materias). En el planteamiento ecológico, el medio edificado y su funcionamiento están vinculados principalmente con la organización, distribución, uso y gestión de la energía y la materia.

Este planteamiento supone un cambio radical respecto al concepto tradicional de arquitectura, la cual pasa a ser entendida como una forma de gestión de energía y materiales o, como una organización de flujos de energía y materia entre el sistema proyectado y su medio ambiente.

Con el análisis del medio edificado, se pueden resumir aquellos aspectos que tienen implicaciones ecológicas, los cuales son<sup>19</sup>:

1. *El medio edificado tiene componentes abióticos y bióticos.* El ecologista considera el medio edificado como un producto de una actividad biótica en la cual el ser humano es sólo un componente biótico más de la biosfera. Para él, el medio edificado consiste en una serie de componentes bióticos (orgánicos) y abióticos (inorgánicos) reunidos por el ser humano para que le proporcionen ciertas funciones.
2. *El proyecto ecológico comprende el establecimiento de modos de vida y la minorización de los requerimientos del usuario.* El impacto de un proyecto está relacionado con la medida y el contexto de los requerimientos del proyecto. El alcance de las comodidades proporcionadas por el proyectista depende del grado de los requerimientos de los usuarios que van a habitar la edificación. Cuantos más requerimientos y cuanto mayor sea el tamaño del medio edificado, mayor será también su impacto ecológico. Se puede concluir que el alcance del impacto de cualquier proyecto está relacionado directamente con la sociedad que lo solicita. En general, puede afirmarse que cuantas menos cosas haya que proporcionar, menor será el impacto ecológico del proyecto.
3. *El Medio edificado considerado como parte del flujo de energía y de materiales en su ciclo de vida.* El proyectista debe ocuparse del alcance y la gama de las necesidades de la población y del uso de los ecosistemas de la biosfera y los recursos de la Tierra, así como de la forma en que esos elementos son extraídos, almacenados, acoplados, utilizados y evacuados (o reciclados) en la biosfera. El proyectista puede optar por considerar el medio edificado como un flujo de energía y materiales (desde su fuente de origen en la Tierra hasta su lugar de vertido) a lo largo de un ciclo de vida.
4. *La necesidad de integrar el medio edificado en los ecosistemas de la Tierra.* El objetivo del proyecto ha de ser limitar los impactos indeseables y las interacciones del sistema proyectado sobre el ecosistema, con el fin de conservar los recursos y de integrar o buscar relaciones beneficiosas y compatibles.
5. *Identificación de los impactos producidos durante el ciclo de vida de un sistema proyectado.* El medio edificado puede interpretarse de dos maneras: en primer lugar puede ser concebido como una entidad formada por elementos bióticos y abióticos y en segundo lugar, como una entidad formada por las actividades operativas que tienen lugar en el interior del sistema o que están asociadas a él. Además, la naturaleza física del sistema (sus elementos) no es un componente estático del medio ambiente, sino que opera recíprocamente a lo largo del tiempo como parte del flujo general de materiales y energía a través de la biosfera.

---

<sup>19</sup> Ibidem. p.54.

6. *El contexto externo de un sistema proyectado comprende la totalidad de los ecosistemas de la biosfera y de los recursos de la Tierra.* Las dependencias externas de un sistema proyectado (es decir, sus dependencias ambientales) abarcan la totalidad de los ecosistemas de la biosfera y de los recursos de la Tierra. La utilización de los recursos terrestres para el sistema proyectado contiene amplias modificaciones en los ecosistemas durante la extracción o puesta en marcha de los mismos.

Se pueden concebir los impactos de un sistema proyectado sobre los ecosistemas y su ambiente externo considerando las interacciones que tienen lugar entre: 1) sus intercambios de insumos (o recursos) y productos, 2) las actividades operativas en el interior del sistema proyectado y 3) su ambiente externo, es decir, los ecosistemas y recursos de la Tierra<sup>20</sup>.

Se puede concluir que toda arquitectura (o edificación) ejerce los siguientes modos de impacto sobre los ecosistemas:

- Por su mera presencia física, desplaza espacialmente una porción del ecosistema.
- El uso de un medio edificado fomenta la aparición de otras actividades humanas y otras urbanizaciones, que provocarán la aparición de más impactos ambientales.
- Todo sistema proyectado, reduce los recursos no renovables de la Tierra, mediante el consumo de enormes cantidades de sus recursos materiales y energéticos para su realización, funcionamiento y evacuación.
- Emite grandes cantidades de productos, incluyendo descargas de energía (en forma de calor) y materiales (contaminantes) como resultado de su realización, explotación y evacuación.

Se puede concluir que es esencial que el proyectista identifique los impactos ambientales del sistema proyectado, incluyendo los inherentes a la fabricación y construcción de los elementos, pero también aquellos que el uso, eliminación y recuperación de esos elementos puedan generar<sup>20</sup>.

#### **2.3.4. Interdependencias ecológicas externas del medio edificado.**

Las interdependencias ecológicas externas del medio edificado comprenden la cualidad de todos los ecosistemas de la Tierra y sus recursos. Todos los sistemas edificados utilizan el medio ambiente como medio espacial, como receptáculo para recibir los residuos asociados a cada uno de sus procesos, como entorno para proporcionar ciertos procesos ecológicos y como fuente ambiental de insumos materiales y energéticos. Todos esos factores son interdependientes en la medida en que esas dependencias ecológicas externas afectan al medio edificado y su funcionamiento y, a su vez, son afectadas por el sistema proyectado.

El impacto global de un sistema proyectado sobre un ecosistema puede oscilar desde una intervención mínima en la ecología del lugar, hasta una degradación permanente del ecosistema. Una actividad puede tener los siguientes niveles de efectos negativos:

- Perturbar los ecosistemas mediante cambios temporales (p.ej., el vertido de aguas residuales a un arroyo).
- Desfigurar el ecosistema mediante un cambio en su superficie (p.ej., una alteración de su topografía).

---

<sup>20</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza* . Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.55.

<sup>20</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza* . Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2000. p.57.

- Desorganizar totalmente el ecosistema mediante un cambio permanente (p.ej., la eliminación completa del sustrato biótico).

Un sistema proyectado no sólo produce impactos negativos en los ecosistemas. Si se proyectan vínculos de compatibilidad, el sistema puede tener relaciones positivas, que son las siguientes:

- Preservar el ecosistema (p.ej., mediante una correcta gestión de las reservas naturales).
- Realzar el ecosistema añadiéndole valor como recurso (p.ej., el caso de la rehabilitación de terrenos baldíos o abandonados).
- Retrasar el deterioro ambiental mediante la reducción de la tendencia de cambio existente (p.ej., detener la erosión por medio de un adecuado drenaje).
- Restaurar el ecosistema original mediante la alteración de las condiciones existentes (p.ej., la reforestación de terrenos baldíos).

Las interdependencias ecológicas externas del medio edificado y la manera de ser incorporadas al proceso de proyecto se pueden resumir en lo siguiente<sup>21</sup>:

1. Las interdependencias ecológicas externas del medio edificado abarcan a la totalidad de los ecosistemas y recursos de la Tierra.
2. El conocimiento de los rasgos de los ecosistemas a los que se van a imponer las actividades humanas suministra unos criterios de referencia básicos, previos a la introducción de cambios importantes.
3. Los impactos sobre la ecología y recursos de la Tierra generados por todas las interdependencias del medio edificado deben ser estudiados durante el proceso de proyecto.
4. El hecho de tener un conocimiento cabal desde el principio de los efectos sobre los ecosistemas del lugar de emplazamiento facilita, entre otras cosas, la estimación anticipada de las consecuencias ecológicas de otras propuestas de urbanización y proporciona una base adecuada para minorizar futuros cambios indeseables en el entorno ecológico.
5. El medio edificado también depende de su entorno, tanto para el suministro de los recursos energéticos y materiales necesarios para su constitución física, como para su propio funcionamiento operativo.
6. Los ecosistemas también actúan como contenedor para asimilar las descargas del entorno edificado. Pero la capacidad de un ecosistema para asimilar esas descargas es limitada. Si se sobrepasa el umbral de tolerancia, el ecosistema puede quedar irreparable y permanentemente dañado.
7. Como todo ecosistema esta interconectado con otros de la biosfera, es importante asegurar que la acción que se ejerza sobre uno de ellos (y que puede no ejercer un impacto visible de inmediato en su propio emplazamiento) no arroje impactos dañinos sobre los demás ecosistemas.

En la planificación del emplazamiento de un medio edificado, el análisis de su ecosistema suministrará al proyectista una base para la determinación del tipo de uso de suelo, las áreas de preservación, las de conservación, la organización general en planta, los tipos de construcción y también los impactos durante el ciclo de vida del sistema proyectado.

En la selección y proyecto de la forma de la edificación y de los sistemas de servicio, se deben buscar unas relaciones compatibles y positivas entre las interacciones operativas del sistema proyectado y los ecosistemas<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Ibidem. p.90.

### 2.3.5. Interdependencias ecológicas internas del medio edificado.

Las interdependencias ecológicas internas del medio edificado abarcan los impactos ecológicos externos y las interacciones resultantes del conjunto completo de acciones y actividades del sistema proyectado a lo largo de su ciclo de vida. Esas interdependencias incluyen los impactos debidos al desplazamiento espacial de los ecosistemas, el alcance de los recursos energéticos y materiales utilizados por el sistema proyectado, las emisiones de productos energéticos y materiales y las influencias de las acciones y actividades humanas que se producen como consecuencia del uso del medio edificado.

Las interacciones ecológicas causadas por el medio edificado no son solamente las inherentes a la preparación y construcción de los edificios, sino que también incluyen todas las interacciones ambientales que surgen del uso de las estructuras edificadas, su desmantelamiento o demolición y su eventual recuperación. Se puede considerar esas interdependencias del medio edificado como una forma de gestión de la energía y los materiales.

Algunas de las reflexiones principales que deben plantearse, son las siguientes:

1. Las interdependencias ecológicas internas del medio edificado consisten en las interacciones o impactos ecológicos resultantes de todo el conjunto de acciones que se dan en el ciclo de vida del sistema proyectado.
2. Los impactos ecológicos del medio edificado no se limitan a los inherentes a la preparación y construcción de los edificios, sino que también abarcan los problemas ambientales que el uso, la evacuación y la recuperación de esas estructuras pueden generar.
3. Todo elemento edificado tiene una vida económica y una vida física. La vida física suele ser mucho más larga que la vida económica.
4. El proyectista no sólo ha de responsabilizarse del sistema proyectado durante su vida económica, sino también a lo largo de toda su vida física.
5. Se pueden distinguir entre dos modelos básicos de uso: el modelo lineal y el modelo cíclico. El objetivo del proyectista ha de ser que el sistema por él proyectado tienda hacia un modelo de uso cíclico que minorice el consumo de recursos, los desperdicios y pérdidas de todas las actividades y procesos sin introducir problemas ambientales adicionales.
6. El medio edificado es un sistema dinámico que tiene continuas interrelaciones con su entorno ecológico. Las interacciones de un sistema edificado con su entorno ecológico empiezan en el momento mismo en que los materiales (y formas de energía) son extraídos de la biosfera; continúan durante su uso, a lo largo de las fases de producción, construcción y funcionamiento del sistema edificado; y alcanzan hasta el momento en que se convierte en residuos que requieren ser evacuados y recuperados.
7. El objetivo de proyecto ha de ser diseñar sistemas eficientes en lo que respecta al uso de energía y materiales en todas las fases, evitar la introducción de productos contaminantes y minorizar los impactos espaciales sobre los ecosistemas de la biosfera.
8. Es preciso prever desde el principio de la fase de proyecto cuáles son los aspectos de un sistema edificado que pueden ser recuperados y cuáles no.
9. Las interdependencias internas del medio edificado pueden ser concebidas como un modelo cíclico de uso de energía y materiales. Este modelo puede ser estructurado subdividiendo el ciclo de vida del sistema proyectado en las siguientes fases:
  - Fase de Producción.

---

<sup>21</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000. p. 91.

- Fase de Construcción.
- Fase de Funcionamiento.
- Fase de Recuperación.

Este ciclo de vida representa un modelo de uso en el cual se pueden relacionar entre sí los conjuntos de actividades asociados a un sistema edificado. Todo proyecto puede llevarse a cabo dentro de la estructura de este modelo cíclico<sup>23</sup>.

### 2.3.6. Estrategias para el Proyecto ecológico.

Se puede definir a los problemas ambientales como los cambios inducidos en la condición del ecosistema por las tensiones derivadas de la acción o la actividad humana. En todos ellos interviene alguno de los impactos siguientes: disminución y/o alteración y/o adición de los ecosistemas y recursos de la Tierra<sup>24</sup>.

El proyecto ecológico es un proceso en el que el proyectista trata de minorizar los efectos globales adversos que previsiblemente va a ejercer el producto de ese proceso sobre los ecosistemas y recursos de la Tierra y al mismo tiempo, concede prioridad a la eliminación y minorización de tales efectos adversos.

Para conseguir este objetivo, es evidente que el proyecto ecológico ha de basarse en un enfoque interdisciplinario que englobe ecología, arquitectura y otras disciplinas afines (relacionadas con la protección, conservación y preservación del medio ambiente).

Considerado ecológicamente, el medio edificado es un producto potencial de desecho, cuya reutilización exige un esfuerzo de proyecto adicional.

Un planteamiento ecológico ha de incluir las siguientes premisas generales:

- El mantenimiento de un entorno ecológicamente viable es ventajoso para la población.
- El actual estado de degradación progresiva del entorno por la intervención humana es totalmente inaceptable.
- Es necesario minorizar en la medida de lo posible los impactos destructivos del ser humano sobre los ecosistemas.

El proyecto ecológico es un proceso que toma en cuenta globalmente los efectos adversos del proyecto sobre los ecosistemas y que concede prioridad a la minimización de tales efectos<sup>24</sup>.

Puede afirmarse que un modelo de proceso de proyecto convencional consta de tres partes principales: análisis, síntesis y evaluación.

1. *Análisis*: definir el programa del edificio como una formulación de impacto ecológico. Esta es la primera fase en el proyecto de un edificio; incluye la recogida de toda la información relevante y el establecimiento de relaciones, limitaciones, objetivos y criterios, es decir, la estructuración del problema de proyecto.

- El modelo de necesidades y uso es la manera como se conciben y organizan los requerimientos de los usuarios del sistema edificado. Todo proyecto incluye el establecimiento de grados de confort (espacial y ambiental) para los usuarios del sistema proyectado.
- Los factores ambientales. Son los relacionados con el entorno de la forma edificada, están influidos por ésta e influyen, a su vez, en el propio funcionamiento de la forma

---

<sup>23</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000. p.115.

<sup>24</sup> *Ibidem*. p.116.

<sup>24</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000. p.116.

edificada. El entorno forma parte de un ecosistema cuyos procesos, propiedades y componentes bióticos y abióticos deben ser tomados en cuenta en el proyecto. En el planteamiento ecológico, la fase de investigación del emplazamiento cambia el punto de vista de la investigación convencional.

2. *Síntesis*: producir una solución de proyecto. La estructura de interacciones no sustituye a la acción creativa en el proyecto. En cualquier programa, el proyectista sigue teniendo que sintetizar un conjunto escogido de consideraciones en una forma física.

3. *Evaluación*: establecer el rendimiento de una solución de proyecto. En el proceso de proyecto, la fase de evaluación es un acto retrospectivo mediante el cual el proyectista comprueba las cualidades de su solución. El proceso de evaluación consta de tres pasos:

- Representación. En él se da una forma adecuada a la solución.
- Medición. Aquí se determina el rendimiento del modelo, usando todas las medidas.
- Valoración. Es una estimación de los resultados medidos en la fase anterior.

Para realizar una evaluación efectiva del proyecto conviene desarrollar la estructura de interacciones, dando como resultado los siguientes datos:

1. Criterios de los aportes o recursos.

- Cantidades de energía y materiales usados en el sistema proyectado.
- Disponibilidad de recursos energéticos y materiales.
- Consecuencias de cada aporte o recurso sobre el ecosistema.

2. Criterios de los productos.

- Cantidades admisibles de producto, descargadas por el sistema proyectado.
- Itinerarios seguidos por los productos después de la descarga y sus consecuencias en el ecosistema.
- Coste energético y material de la gestión del producto.
- Consecuencias sobre el ecosistema derivadas de la gestión del producto.

3. Criterios del sistema.

- Alcance del modelo de necesidades y uso.
- Eficiencia de los procesos del sistema.
- Alcance de la interiorización de los procesos del sistema<sup>25</sup>.
- Consecuencias sobre el ecosistema derivadas del sistema proyectado.

Por lo tanto, el objetivo del proyecto ecológico no ha de ser mantener a la biosfera y sus ecosistemas vírgenes de la influencia o las alteraciones producidas por el ser humano, sino cómo relacionar las actividades humanas con los ecosistemas de la forma menos destructiva posible, dentro de las limitaciones inherentes a los ecosistemas<sup>26</sup>.

## 2.4. El Edificio Verde.

El proyecto ecológico o “verde” se traduce en construir con un impacto medio-ambiental mínimo y si es posible, construir para conseguir el efecto opuesto, es decir, crear edificios con consecuencias positivas, reparadoras y productivas para el medio ambiente natural, al tiempo que la estructura edificada se integra con todos los aspectos de los sistemas ecológicos (ecosistemas) de la biosfera durante todo su ciclo de vida.

En un proyecto “verde”, la sensibilidad ecológica de una determinada solución de diseño depende, de la capacidad e ingenio del proyectista. Esto es así porque el proyecto

---

<sup>25</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000. p.168.

<sup>26</sup> YEANG, Ken. *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000. p.173.



ecológico es un proceso en el cual los atributos medioambientales de un edificio son tratados como objetivos y no como obligaciones.

Las ciudades continuarán expandiéndose y desarrollándose con creciente intensidad y continuará la construcción de estructuras urbanas de alta densidad, como los rascacielos, a no ser que se plantee una forma de construcción alternativa y viable que los sustituya, o que se produzcan cambios sustanciales en la economía del suelo urbano actual o derivados de la revolución digital. Además, en el mundo desarrollado continuarán surgiendo nuevas ciudades y nuevos asentamientos urbanos y algunos repentinamente.

Para evitar equivocaciones entre proyecto bioclimático y proyecto ecológico, se deben aclarar sus diferencias. Generalmente, por proyectos bioclimáticos se entienden aquellos que parten de un planteamiento de proyecto de baja energía pasiva, que utilizan las energías ambientales del clima del lugar para crear condiciones de bienestar para los usuarios del edificio. El proyecto ecológico es una labor mucho más compleja, ya que aquí se pone el énfasis en las interdependencias e interconexiones en la biosfera y sus ecosistemas; la característica crucial es la conexión entre todas las actividades, sean manufacturadas o naturales; esta interconexión significa que ninguna parte de la biosfera queda excluida frente a la actividad humana y que todas las acciones se afectan<sup>27</sup>.

#### **2.4.1. El Rascacielos y otros edificios de gran escala.**

El tema del proyecto ecológico de grandes edificios es tan vital como el proyecto ecológico de tipologías de edificios más pequeños; de hecho, en aquéllos es mucho más importante por su escala y por el enorme consumo de energía y materiales que comportan. El rascacielos o la construcción desarrollada en altura es un tipo de edificio especial cuyo proyecto requiere una acreditada pericia.

El rascacielos (ya sea que esté destinado a oficinas, viviendas, hoteles u otros usos), como tipo de edificio, esta ahí para permanecer, no va a desaparecer, a menos que se produzcan cambios radicales en las prácticas empresariales o en el transporte urbano o que se inviertan las actuales tendencias migratorias del campo a la ciudad; éstos continuarán construyéndose por lo menos en los próximos veinticinco años.

Las ciudades y sus grandes edificios exigen mayor atención respecto a su diseño ecológico, porque son los lugares donde los problemas de consumo de recursos, relaciones económicas y modos de vida contaminantes del medio ambiente, suponen una amenaza mayor y más insistente para los recursos naturales y los ecosistemas globales.

La cuestión del transporte es un argumento crucial para el desarrollo de edificaciones de alta densidad, para la existencia misma de las ciudades y para los edificios urbanos desarrollados en altura, como el rascacielos. Y el argumento de que se requiere menor energía no sólo es aplicable a los sistemas de transporte horizontal, sino también a los sistemas de transporte vertical.

Los automóviles ocupan suelo con las autopistas, las vías secundarias y las zonas de aparcamiento dedicadas totalmente a ellos; también ocupan la mayor parte del espacio de la calle, que originalmente estaba destinado a los peatones. Del territorio urbanizado, entre el 25 y el 35% se destina a calles y carreteras, y otro porcentaje significativo se destina al desplazamiento interurbano. La superficie necesaria para el estacionamiento de cada coche que se desplaza para ir al trabajo iguala la huella de una casa mediana<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> YEANG, Ken. *El Rascacielos Ecológico*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.12.

<sup>28</sup> YEANG, Ken. *El Rascacielos Ecológico*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.17.

El diseño ecológico es partidario de la concentración de la construcción y de la utilización de edificios de huella pequeña que reduzcan al máximo el uso del suelo disponible. Las previsiones de las cifras de población urbana ya muestran que las ciudades del mundo se están densificando, en el año 2020, el 75% de la población de Europa y el 55% de la de Asia habitan en ciudades<sup>29</sup>.

En el caso del rascacielos, la recuperación final de los materiales y componentes del edificio al término de su vida útil resulta más significativa, aunque sólo sea por su tamaño.

La principal cualidad positiva que justifica la existencia de los rascacielos es urbanística y afirma que éstos son una efectiva alternativa “verde” a la ya conocida estructura suburbana descentralizada de la ordenación de baja densidad. Una organización urbanística descentralizada implica recorridos adicionales entre edificios.

Estudios recientes han demostrado que a mayor densidad de población urbana, menor consumo energético por habitante en desplazamientos en automóvil.

En general, la adopción de una densidad más alta en los espacios residenciales y de trabajo tiende a reducir la necesidad de poseer coche; reduce el total de los desplazamientos urbanos; reduce la demanda de espacio de aparcamiento y aumenta el empleo del transporte público.

Se puede definir el rascacielos como un edificio alto, de muchos niveles, con una baja ocupación de suelo en planta, en el que predomina la dimensión vertical de las fachadas. Pero la mayor diferencia son sus sistemas especiales de ingeniería, que resultan imprescindibles por su altura significativamente mayor. Esos sistemas incluyen ingeniería estructural y subestructural, ya que, el rascacielos actúa como una “palanca” vertical que concentra los mayores esfuerzos en su base. Otros sistemas especiales de ingeniería relacionados con su altura son los sistemas de servicios mecánicos y eléctricos, como el sistema de suministro de agua, que requiere potentes bombas para elevar el agua hasta la parte más alta del edificio, desde donde alimentará por gravedad a todos los pisos. Aparte de éstos hay que hablar de los sistemas especiales de transporte y movimiento vertical (ascensores) y de los dispositivos de protección contra incendios, entre otros.

Así pues, el rascacielos ha evolucionado como edificio de alta densidad de ocupación sobre una base o huella pequeña, con la intención de aprovechar al máximo su superficie de terreno. La construcción del rascacielos viene motivada, por los elevados precios del suelo y un transporte urbano conveniente. En términos de economía inmobiliaria, una mayor densidad de ocupación sobre una misma base permite construir más superficie edificable sobre la misma base -pequeña- y, por tanto, obtener mayores ingresos.

En resumen, el rascacielos, como forma edificada, se caracteriza por:

- Una huella pequeña en relación con su superficie total construida.
- Fachadas muy altas.



Imagen 27. Edificio Menara. Arq. Ken Yeang.

<sup>29</sup> YEANG, Ken. *El Rascacielos Ecológico*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.22.

- Superficie de cubierta pequeña, comparada con la gran superficie de sus fachadas.
- Debido a su altura, sistemas especiales de ingeniería, bien diferenciados de los que requieren otras tipologías de altura baja y media.

Otra característica de la edificación en forma de rascacielos son sus grandes superficies verticales, que provoca una gran exposición al calor del sol y, por tanto, su propagación al interior del edificio. Diversos estudios demuestran que, para un mismo volumen, la planta circular es la que arroja menor superficie de fachada expuesta<sup>30</sup>.

En las primeras fases del proyecto de un rascacielos, el proyectista debe evaluar las diferentes alternativas de tamaño para las áreas de los pisos (por ejemplo, diferentes relaciones entre superficie bruta y superficie útil) y de configuración (por ejemplo, medidas de crujías), al mismo tiempo que tiene presente las diferentes opciones de forma y volumen del rascacielos. Es importante que, en las fases preliminares del proyecto, se tengan simultáneamente en cuenta otras consideraciones e incluyen las siguientes:

- La ubicación de los núcleos de servicio y como afectan a la configuración y organización global del edificio.
- La orientación de las fachadas principales y las ventanas (en especial con relación a las características climáticas del lugar).
- Las opciones de diseño de la fachada (por ejemplo, la relación porcentual entre muro y vidrio).
- El color del edificio.
- Uso y efectos de la vegetación y los jardines en el rascacielos.
- Tipos previsibles de sistemas operativos del edificio.
- Selección de materiales y fuentes de energía.
- Gestión de materiales como productos potenciales de desecho.

En resumen, el proyecto ecológico del rascacielos y otros edificios urbanos de gran escala y elevado consumo de energía y materiales, merece una atención urgente por parte de los proyectistas. El desarrollo de proyectos de este tipo es vital debido a la proliferación de rascacielos en todo el mundo<sup>31</sup>.

#### **2.4.2. Sistemas Operativos del Rascacielos.**

En los sistemas naturales, las condiciones ambientales de los hábitats de los animales y otros organismos se sostienen por medios pasivos o por ciertos medios orgánicos. En el caso del entorno humano construido, las condiciones ambientales interiores se sostienen principalmente por medios mecánicos (p.ej., utilizando tecnología y equipos eléctricos y mecánicos) y muchas veces con fuentes de energía ajenas al emplazamiento del proyecto que, por lo general, son fuentes no renovables tales como la electricidad generada a partir del petróleo, el carbón, el gas u otro combustible.

El proyecto ecológico, a imagen y semejanza de los sistemas naturales, trata de mejorar el uso de todos los sistemas operativos pasivos y de aprovechar el clima y las condiciones diurnas de la localidad. Los sistemas operativos del edificio son los encargados de generar las condiciones ambientales internas de bienestar y facilitar la recuperación de materiales.

---

<sup>30</sup> YEANG, Ken. *El Rascacielos Ecológico*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.26.

<sup>31</sup> YEANG, Ken. *El Rascacielos Ecológico*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.28.

El proyectista deberá estudiar detenidamente los medios técnicos disponibles para los sistemas operativos. En este aspecto, se deberán escoger soluciones que armonicen con los criterios de equilibrio energético general y recuperación de materiales, y que reflejen los últimos avances técnicos en la utilización de formas de energía ecológicamente compatibles. El tipo de sistema operativo a adoptar (sea pasivo, mixto, activo, completo, etc.) dependerá del clima de la localidad y de su ecología.

En la fase inicial de diseño del rascacielos ya se tienen que haber realizado todos los análisis de las formas posibles para el edificio que permitan pasar al siguiente conjunto de decisiones acerca de si los sistemas operativos serán activos o pasivos. En este punto hay que considerar las interdependencias ecológicas internas del edificio. Se debe de tomar en cuenta la actividad funcional total del mismo durante su ciclo de vida, sin olvidar incluir todos los impactos e interacciones ecológicas derivadas de esas actividades<sup>32</sup>.

Entre los factores principales se incluyen el desplazamiento espacial del entorno, los recursos y emisiones materiales y de energéticos, las actividades de los usuarios y los sistemas funcionales.

La mayor parte del uso de energía (o sea, recursos) y una proporción semejante de las emisiones de dióxido de carbono, están asociadas a los edificios, de la cual un 60% corresponde a los de tipo residencial y un 7% a los edificios comerciales o de oficinas. Basándose en porcentajes por metro cuadrado, los rascacielos comerciales consumen más energía que los edificios residenciales.

En ambos tipos, alrededor del 60% del uso de energía durante la fase de funcionamiento del edificio corresponde a la calefacción y refrigeración del espacio. En efecto, la totalidad de los componentes constructivos (incluyendo las adiciones durante la vida del edificio) suponen sólo el 35% de la demanda energética total. El objetivo del proyecto ha de ser optar por una forma arquitectónica y unos sistemas operativos que aprovechen al máximo la iluminación y la ventilación naturales disponibles, de este modo se reducirán las demandas energéticas del rascacielos u otros edificios (hasta el 65%).

El éxito de los sistemas operativos de un rascacielos reside en conseguir un nivel inferior anual de consumo energético (en kWh/m<sup>2</sup>). Un objetivo general para los edificios totalmente equipados (en las zonas climáticas templada y ecuatorial) debería ser un gasto inferior a los 150 o 250 kWh/m<sup>2</sup> anuales para los edificios convencionales.

Si se analiza el consumo de energía derivado del funcionamiento de un rascacielos comercial, el mayor porcentaje corresponde al consumo de energía relacionado con el funcionamiento de sus sistemas de corriente alterna de alto voltaje, seguido por los sistemas de iluminación artificial. Por lo que el primer campo de actuación de conservación de la energía y rendimiento es precisamente en estos sistemas, seguido de la iluminación.

El proyectista debe plantear los sistemas operativos en el siguiente orden de prioridad:

- Sistemas pasivos de uso de energía y reciclaje; estos sistemas siempre serán preferibles a los sistemas activos (es decir, a los que utilizan aparatos electromecánicos) y deben tener preferencia.
- Sistemas mixtos (es decir, parcialmente asistidos electromecánicamente que optimizan otras energías ambientales del lugar).
- Sistemas completos o especializados; estos sistemas deben ser de baja energía y producir pocos impactos ambientales.
- Sistemas productivos, es decir, que generan energía *in situ* (p.ej., sistemas fotovoltaicos)<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup> Ibidem. p.196.

<sup>32</sup> YEANG, Ken. El Rascacielos Ecológico. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.197.

Generalmente, la gestión de los sistemas operativos del edificio (sean pasivos, activos, mixtos o una combinación de ellos) afecta al rendimiento térmico y ecológico general, así como al impacto que ejerce el edificio. Hay que recalcar que los sistemas completos o especializados son los que inciden en mayor medida sobre el consumo total de energía a lo largo de la vida del rascacielos o de otros edificios de alta densidad de ocupación.

### 2.4.3. Sistemas Pasivos.

El primer paso del proyecto ha de ser examinar toda la gama de opciones de diseño pasivo en función de las condiciones climáticas del lugar y aprovechar al máximo esas oportunidades. En todo caso, hay que conceder prioridad a los sistemas pasivos sobre los activos y mixtos, ya que éste es el modo de conseguir el nivel ideal de servicios en un proyecto ecológico, porque son los que requieren menos consumo de energía de fuentes no renovables.

El proyecto pasivo es esencialmente un proyecto de baja energía que se ha conseguido sin utilizar medios electromecánicos, aprovechando la propia organización morfológica del edificio. Los sistemas pasivos emplean varias técnicas sencillas de refrigeración y/o calefacción para modificar la temperatura interior del edificio mediante fuentes energéticas naturales y ambientales.

Los sistemas pasivos deben excluir el uso de cualquier aparato electromecánico que empleara formas de energía no renovables. De este modo, reduciendo al máximo el uso de tales sistemas mecánicos, el proyecto sensible al clima (diseño bioclimático) reduce el consumo de energías no renovables.

Por "activos" se hace referencia a los sistemas totalmente dependientes de la energía, mientras que los mixtos son los que dependen de la energía en parte, es decir, son sistemas asistidos electromecánicamente de un modo parcial.

En los climas templados, los principios bioclimáticos pretenden reducir las ganancias caloríficas del verano, por conducción, radiación y convección a través de muros y ventanas, mientras que, en invierno, lo que se pretende es reducir las pérdidas térmicas frente al exterior. Los sistemas de refrigeración transfieren la energía incidente a depósitos energéticos naturales (heat sinks) como el aire, la atmósfera superior, el agua y la tierra. Los sistemas de calefacción pasivos almacenan y distribuyen la energía solar, sin necesidad de establecer complicados controles para su distribución. Aplicando sistemas pasivos, es posible rebajar los valores de la temperatura exterior en verano y aumentar las temperaturas interiores en invierno.

A continuación, se citan algunos sistemas pasivos utilizables en el proyecto de rascacielos ecológico, mientras que las restantes necesidades energéticas se pueden satisfacer mediante sistemas activos o mixtos impulsados por formas de energía ecológicamente sostenibles:

- La configuración de la edificación y su emplazamiento en el terreno.
- La orientación del edificio (fachadas principales, vanos, aberturas, etc.)
- El diseño de la fachada (incluyendo tamaño, ubicación y detalles de las ventanas).
- Dispositivos de control solar (p.ej., parasoles para las fachadas y ventanas).
- Dispositivos pasivos de iluminación natural.
- Color del revestimiento del edificio<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> YEANG, Ken. El Rascacielos Ecológico . Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.202.

## 2.5. Consideraciones finales.

Una de las principales metas del ser humano es conservar el medio ambiente en un estado biológicamente viable; que el ritmo actual de destrucción ambiental debido a las actividades humanas no puede proseguir si se quieren evitar consecuencias fatales y que el impacto ecológico negativo debe reducirse al mínimo. El proyecto ecológico tiene en cuenta los efectos sobre los ecosistemas y recursos de la tierra y trata en todo momento, de eliminar o mitigar los impactos adversos, al mismo tiempo que intenta potenciar los efectos positivos y reparadores del proyecto sobre el medio ambiente.

Los problemas medioambientales relacionados con las construcciones no son otra cosa que el fruto de los cambios introducidos en el ecosistema como consecuencia de la producción, funcionamiento y eliminación final del edificio; por lo tanto, incluyen el ciclo de vida completo del edificio, que es responsabilidad del proyectista.

Entre los impactos negativos están el agotamiento de los recursos terrestres, la reducción de la diversidad biológica y la expulsión de contaminantes al ecosistema. El proyecto ecológico debe minimizar tales cambios. Por lo que se requiere un planteamiento interdisciplinario, ya que los efectos del entorno construido abarcan muchos campos.

La arquitectura es un arte social, en que intervienen un gran número de disciplinas. La ecología es una ciencia natural e incluye la supervivencia humana en el medio natural, un medio que los seres humanos están usando y cambiando constantemente. El edificio es un modo primario de cambiar el medio natural; no sólo ocupa físicamente su espacio, sino que también se usan recursos procedentes de lugares, a veces, lejanos para construirlo.

Si se pretende reducir los impactos no deseados de las construcciones humanas sobre los sistemas naturales, arquitectos y proyectistas, deben perfeccionar su conocimiento de las interacciones entre arquitectura y medio ambiente.

El proyecto ecológico incluye las interacciones de la arquitectura y el medio ambiente, las cuales van más allá del desplazamiento espacial y sus efectos en el lugar de emplazamiento. Así, los tipos, cantidades de energía y recursos materiales que intervienen en la construcción del edificio, sus fuentes y los efectos ambientales sobre los lugares de extracción, son otros aspectos que hay que considerar. Por lo que se refiere al funcionamiento, los procesos internos del medio edificado y sus productos son otros factores a considerar, así como las respuestas o reacciones del ecosistema como resultado de sus esfuerzos por absorber los productos. La estructura de interacciones proporciona una base fundamental desde la cual se puede plantear la investigación sobre diseño ecológico y sobre todos los problemas de deterioro ambiental.

Un edificio es una estructura con una función social y económica, que encarna las teorías estéticas de un individuo o grupo de individuos y que al mismo tiempo requiere ciertos recursos para ser realizado y produce ciertos efectos medioambientales como resultado de su creación y funcionamiento.

Desde una perspectiva ecológica, el proyectista es responsable de la elección de materiales, sistemas y de la forma en que el edificio y sus componentes son utilizados, reciclados o desechados al final de la vida del edificio. La cantidad de recursos consumidos en la creación de un edificio urbano de gran escala es enorme.

El edificio también deberá ser controlado durante todo su ciclo de vida para comprobar sus efectos ecológicos, para lo cual habrá que crear un sistema de verificación que permita llevar a cabo ese control<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> YEANG, Ken. El Rascacielos Ecológico . Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.284.

Para enfocar un problema de proyecto, el arquitecto tiene que encontrar un equilibrio que asigne una importancia relativa a los diversos elementos; empleando planteamientos variables conforme al dictado de las demandas ambientales, es un sistema efectivo de proyectar de un modo responsable y ecológico.

La alteración del medio ambiente por parte del ser humano no tiene por qué ser necesariamente destructivo. La tarea del proyectista consiste en integrar el rascacielos o edificio de alta densidad de ocupación en su ecosistema ambiental, para reducir los efectos negativos y para conseguir, por medio de las decisiones de proyecto, una relación estable y tranquila con el medio ambiente.

Algunos de los elementos que precisan desarrollo cuantitativo de información son: las cantidades de energía y materiales empleados en el edificio; la disponibilidad global de esos recursos y sus ritmos de agotamiento; las consecuencias ecológicas de cada recurso; los niveles admisibles de productos emitidos por el edificio y las rutas adoptadas por cada una de esas descargas a través del ecosistema; la gestión de los productos materiales y energéticos emitidos por el edificio; la idoneidad y eficacia de los sistemas operativos del edificio; el alcance de la incorporación de procesos del sistema; las consecuencias ecológicas de los sistemas técnicos; la biodiversidad del ecosistema ambiental del edificio; los impactos sobre otros sistemas artificiales y el impacto global sobre los recursos renovables y no renovables.

El proyecto ecológico no significa que toda la biosfera tenga que ser preservada de la intervención humana para transformarla en una reserva natural. Los ecosistemas experimentan cambios, con o sin intervención humana. Por lo tanto, el objetivo del proyecto ecológico es gestionar la interacción entre el hombre y el medio ambiente de la manera menos destructiva posible, dentro de las limitaciones inherentes a los ecosistemas. En principio, nada impide proyectar un rascacielos u otro edificio de alta densidad de ocupación que ejerza impactos ecológicos beneficiosos. La cuestión radica en si arquitectos y proyectistas serán capaces de llegar a entender la complejidad del mundo natural de un modo lo suficientemente completo como para emularlo con éxito.

Cuando los datos no puedan ser cuantificados con precisión, siempre cabe la posibilidad de acudir al uso de índices (por ejemplo, índices de calidad del agua). Pueden establecerse sistemas de verificación como componentes de los sistemas de protección.

El propio proyecto ecológico es un instrumento para cambiar la mentalidad de la gente acerca de la relación entre el medio edificado y el medio ambiente y también es un aliciente para el desarrollo de nuevas tecnologías “ecológicas”. No hay ninguna razón que impida a los arquitectos encabezar esos avances, en lugar de estar esperándolos.

Si se quiere asegurar la supervivencia indefinida del medio edificado en la biosfera, sus sistemas deberán mantener ciertas relaciones de compromiso con el ecosistema y sus procesos. En lugar de proyectar un medio edificado completamente aislado de los ecosistemas, los edificios y en particular aquellos que son de alta densidad de ocupación, deberán integrarse y mantener unas relaciones de compatibilidad con los ecosistemas. Por el simple hecho de ocupar un emplazamiento dado, el sistema proyectado asume un papel ecológico (sea activo o pasivo) en relación a la composición y la función del ecosistema. El arquitecto debe garantizar que su creación responda como un componente íntegro del ecosistema; esto significa que no la considere como una estructura aislada del lugar de emplazamiento, ni tampoco como completamente dependiente de los ecosistemas circundantes. También debe darse prioridad a los impactos, aunque este sea un aspecto de difícil generalización para todos los emplazamientos<sup>35</sup>.

---

<sup>35</sup> YEANG, Ken. El Rascacielos Ecológico . Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2001. p.287.

## **CAPÍTULO III. EL HÁBITAT ORGÁNICO.**

### **3.1. El Hombre: su espacio a través del tiempo.**

La arquitectura vernácula encuentra su característica esencial en que procede de no profesionales. Considerando que depende directamente del entorno geográfico, la arquitectura vernácula puede considerarse casi como un producto natural; llega a establecer con el ecosistema local una simbiosis completa y en su búsqueda de economía en la materia prima y energía. En ella, el hombre se vale de los materiales e instrumentos que el medio le proporciona en estado natural, por lo que apenas si requiere de un proceso semi-industrial. Asimismo, debido a que sus formas proceden de necesidades bien definidas, la arquitectura vernácula logra fundirse y confundirse con el paisaje donde se asienta. Aquí el hombre no se impone: se acopla.

La vivienda vernácula resulta de un esfuerzo común, el esfuerzo de generaciones que acumularon conocimientos, experiencias y métodos. El individuo que hoy construye aplica la sabiduría empírica herencia de todos sus antepasados: no comete los mismos errores y lo mismo la enriquece con el aporte de nuevos elementos. En los poblados vernáculos se observa que cada vivienda nueva se integra enriqueciéndolos.

La arquitectura vernácula mantiene la individualidad de sus creadores. A pesar de resolver necesidades semejantes, aprovechar materiales de la misma procedencia y valerse de conocimientos empíricos, es sorprendente constatar que las moradas de aldeas próximas modelan el semblante de cada región y le otorgan una particular individualidad<sup>1</sup>.

La arquitectura vernácula, también llamada doméstica, es una muestra de cómo las respuestas simples a los problemas que el medio físico plantea producen resultados satisfactorios, con todas las ventajas que ello implica. Lo sencillo resulta ser lo más funcional y, paradójicamente, lo más complejo de conseguir.

Se calcula que el hombre apareció en la Tierra hace más de un millón trescientos mil años. Durante mucho tiempo vivió recolectando sus alimentos y buscando en el propio ambiente natural su refugio; el hombre no producía su manutención ni modificaba al medio físico de una manera profunda, mucho menos permanente. El hombre no transformaba, solamente se adaptaba: era el reino de lo Natural donde su cultura apenas comenzaba a dar los primeros indicios de existencia. Durante esa época los grupos humanos durmieron sobre los árboles para protegerse de los ataques de animales.

La vida del hombre sedentario es muy reciente, puesto que el Paleolítico, horizonte del hombre nómada, comprende más del 95% de vida total del género humano<sup>2</sup>.

#### **3.1.1. El refugio del Hombre de Neanderthal.**

El Hombre de Neanderthal apareció en Europa hace unos cien mil años. Entre los 100,000 y 40,000 años a.C. se observa en la boca de una caverna; dueño de un rostro barbado, quijada prominente y movimientos toscos. Algunas pieles cubren su cuerpo, sostiene un hacha de piedra y mira reflexivo hacia el valle.

---

<sup>1</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 82.

<sup>2</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 83.



Cuando se habla de él, se debe concebir como un ser sumamente ingenioso que sabía sacar el mejor provecho de todos los climas y medios en que vivía; hay que tomar en cuenta que cuando inició sus largas caminatas de recolección todo estaba por inventarse; para él, la Historia aparecía como una pizarra completamente limpia. Cavernícolas se les llama puesto que en cavernas se refugiaban.

Las cavernas son formaciones naturales, aunque el Hombre de Neanderthal no le daba a cualquier cueva el papel de morada. En primer lugar, buscaba aquellas que contaran con una entrada orientada hacia el sur, lejos del camino de los vientos árticos. Hay que recordar que las cavernas conjuntaban las características de una morada, pues daban la posibilidad de almacenar alimentos y brindaban un refugio invernal. En segundo término, se requería que contara con una entrada de aire suficiente ya que la fogata -pozo amplio y poco profundo- jugaba un rol preponderante para que la caverna cumpliera su función. La ventilación se conseguía al hacer un surco desde la propia boca de la gruta hasta el centro de la morada, con el objeto de conducir el aire bajo las llamas y así favorecer la combustión. Huesos de mamut cortados en trozos pequeños, estiércol y ramas de coníferas se empleaban como combustible.

El centro de la morada es la fogata en torno de la cual se agrupa la comunidad. Con el tiempo la fogata se transformó en chimenea, la que fue desplazada a su vez, por la televisión familiar y en la actualidad cada recámara cuenta con un televisor<sup>3</sup>.

La caverna proporciona al hombre, por primera vez, la posibilidad de almacenar alimentos, de sentir un lugar como suyo. No cabe la menor duda de que es el primer refugio, el primer sitio del que el ser humano se siente dueño y parte a la vez. También en este espacio resistente y seguro, es donde arranca y se desarrolla la historia de la arquitectura, a medida que el hombre busca y crea nuevas formas y métodos para construir su refugio. La caverna fue la conquista de la casa y de la tranquilidad<sup>4</sup>.

### **3.1.2. El refugio del Hombre de Cro Magnon.**

El siguiente eslabón evolutivo apareció también en Europa hace aproximadamente unos 40,000 años: el Hombre de CroMagnon. En esta época se inició propiamente el desarrollo cultural. Si bien ocupó cavernas y el abrigo de las rocas como moradas, el Hombre de Cro Magnon es un cavernícola muy especial.

Tras su salvaje apariencia, los hombres de CroMagnon surgen como seres inteligentes, intrépidos, innovadores, místicos y, sobre todo, artistas. Fueron los primeros en utilizar el tiempo de ocio -indispensable para el desarrollo cultural- para crear, ya que debido a las inclemencias del clima pasaban mucho tiempo dentro de sus cavernas. Resulta, por otro lado, que ellos cerraron un período histórico, el del hombre nómada y cazador y dieron paso al siguiente: la era de la agricultura, de la vida sedentaria.

Aunque ya el Hombre de Neanderthal se había procurado objetos de la naturaleza como herramientas, el Hombre de CroMagnon imprimió mayor destreza en la fabricación de sus utensilios. Cada uno de ellos resultaban diferentes; el artesano debía ingeniárselas para esculpir hueso o piedra y aprovechar su forma y textura.

Es muy probable que el Hombre de CroMagnon inventara la técnica de la orfebrería cocida al fuego. Del mismo modo comenzó a preocuparse por el vestido, ya que confeccionó con mucho cuidado las pieles que lo cubrían y elaboró distintas prendas.

---

<sup>3</sup> Ibidem. p. 84.

<sup>4</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 85.

El hombre encontró en el Reino Animal la carne como comida, las pieles como ropa y los huesos como herramientas. También acudió al Reino Vegetal en busca de comida, ropa y herramientas: comía fruta, se cubría con ramas y como herramientas se valía de raíces silvestres. El Reino Mineral, por último, le brindó refugio y la materia prima para la mayor parte de sus herramientas.

Sin embargo, falta agregar una característica del Hombre de CroMagnon, la que le confiere un papel de punta en la evolución, de trascendencia infinita: el arte. Por otro lado, el surgimiento del arte requirió una modificación en la visión del hombre del Paleolítico.

El arte desempeñó una función social específica. El artista explicaba al mundo, a la vez, que debía hacer el mundo más habitable. De ahí la interrelación que se gestó desde un principio entre el quehacer artístico y la morada. En este periodo el arte siempre se incorporó al medio ambiente, a la morada, a la vida cotidiana; no se trataba de una labor ajena a la comunidad, sino por el contrario, el arte mismo perseguía una mayor cohesión social. A través de sus obras, el hombre primitivo buscó la armonía propia y la de sus semejantes con la naturaleza.

Al pintar animales sobre la roca, logró un efecto de tridimensionalidad que consigue integrarse a la cueva misma. Con las moradas cavernícolas del Hombre de CroMagnon arranca el desarrollo de la arquitectura orgánica<sup>5</sup>.

### 3.1.3. Arquitectura Troglodita.

Las cavernas constituyeron el punto de partida de la Historia de la Arquitectura, después de todo, se trata de los primeros refugios del ser humano. Sin embargo, las moradas cavernícolas resultaban de un proceso de creación natural, los hombres primitivos efectuaban muy pocas modificaciones a las formaciones permanentes. El siguiente eslabón de la cadena es el verdadero arranque del proceso transformador: la Arquitectura Troglodita.

La caverna, más que hogar o morada, se utilizaba como guarida. De hecho, el hombre las ocupaba esencialmente en invierno y cuando se le presentaban fenómenos climáticos adversos. La aparición de la vivienda como hábitat cotidiano es posterior; para esto, se requirió del desarrollo de la agricultura.

La arquitectura troglodita fue la primera respuesta al problema de la morada dentro de los nuevos parámetros de la vida sedentaria, determinada por la organización social del trabajo que impone la agricultura. Conforman el hábitat troglodítico un conjunto de viviendas se trata de una arquitectura de comunidad.

Las razones que impulsaron al hombre a desarrollar la técnica de la vivienda enterrada son: en primer lugar, se tiene el factor clima: las construcciones trogloditas ofrecen una extraordinaria respuesta a las zonas con climas extremos, gracias a la masa térmica (tierra) que forma la propia edificación; la temperatura favorable para el hombre se mantiene constante. En segundo lugar, la morada subterránea asegura un excelente refugio. Por último, hay que tomar en cuenta razones de índole estructural y religioso<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Ibidem. p. 87.

<sup>6</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 90.



Imagen 28. Viviendas trogloditas. Capadocia, Turquía.

Esta etapa histórica de la arquitectura se caracteriza por la edificación subterránea. El hombre, apoyado en la agricultura y en la domesticación de los animales, emergió de las cavernas para construir sus casas bajo tierra; con la salvedad de que las viviendas trogloditas resultan del aprovechamiento de cavidades naturales o de una excavación voluntaria.

El hombre crea, transforma y altera el medio físico para procurarse bienestar; la gran diferencia entre la guarida cavernícola y la morada de los trogloditas es que, en estas últimas, el hombre se acoplaba, pero también modificaba, creaba al perforar las entrañas de la tierra.

Cuando el Hombre de CroMagnon habitaba una caverna, solamente la ocupaba, cuando los primeros hombres sedentarios excavaban sus moradas, al habitarlas establecieron una relación simbiótica con el medio.

### 3.1.4. Los primeros constructores.

En sus primeras construcciones el hombre siguió el ejemplo de los animales: edificó con tierra, piedra y fibras vegetales, materiales ofrecidos al alcance de sus manos. Los testimonios arqueológicos indican que las primeras construcciones se levantaron hace aproximadamente unos doce mil años.

Si el Hombre de Neanderthal ocupó como refugio una caverna y los trogloditas continuaron bajo el abrigo de la roca, los primeros constructores edificaron. La diferencia es sustancial; cuando el hombre erigió por primera vez una construcción propiamente dicha, en ese instante arrancaba todo un proceso transformador.

Las primeras construcciones permanecieron fieles a toda una inercia histórica, más que una revolución se dio una evolución; estas imitaron formas naturales. Al principio fueron semisubterráneas, el hombre, al hallar una hendidura en el terreno, aprovechó la cubierta natural de un árbol caído y con ingenio creó sus primeras moradas.

Un caso representativo de este tipo de arquitectura es la aldea neolítica de Lindenthal (Alemania) la cual, fue una colonia, así como un refugio de toda una comunidad neolítica y se muestra como un conjunto de viviendas integradas pero originales cada una. Su arquitectura, cuya columna vertebral fue el diseño libre, permitió a cada uno de sus habitantes imprimir a su hogar una cierta individualidad. No se trata de una agrupación accidental, por el contrario, existe una armonía bastante evidente entre el conjunto y el ecosistema. Se considera a Lindenthal como la conjunción entre la arquitectura troglodita, la morada móvil y las primeras construcciones.

Las moradas de Lindenthal eran amplios espacios, pensados con el objetivo de brindar comodidad, no sólo física sino también emocional. Existe una preponderancia de las líneas curvas: los arquitectos anónimos del neolítico se inclinaron hacia las formas libres, por ello dedicaron tiempo y trabajo a esculpir los interiores mismos de sus hogares.

En todas las regiones del mundo en las que el hombre ha construido, en cualquier clima en cualquier altitud, se observa el ingenioso empleo de las materias primas que el medio le ha brindado por miles de años: hielo, pieles, barro, madera, hojas, piedra, tierra amasada, etc.; el resultado depende del ingenio, creatividad e inteligencia del constructor. Sin embargo, no existe rincón en la tierra en el que no sea posible crear una morada<sup>7</sup>.

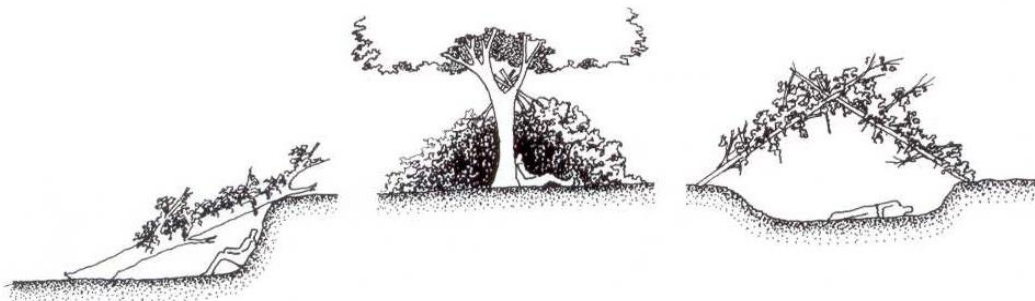


Imagen 29. Origen de las primeras construcciones.

En la actualidad, la invención de los sistemas de aire acondicionado o clima artificial acarrió la estandarización de materiales y diseños de casas, independientemente del lugar donde éstas se ubiquen. No obstante, durante miles de años las moradas se construyeron en función directa del clima.

Las construcciones nativas, anónimas todas ellas, han solucionado el problema del clima en las regiones extremosas. Los estilos arquitectónicos difieren de un lugar a otro; en los sitios donde llueve poco, como en los desiertos, se utilizan los techos planos, mientras que en lugares muy lluviosos se emplean los inclinados. El tamaño de las ventanas varía según el asoleamiento, vistas y ventilación requeridos.

En el globo terráqueo se distinguen cuatro zonas climáticas básicas: la región ártica, la de praderas abiertas, la desértica y la selvática; y en todas ellas el hombre ha construido sus moradas<sup>8</sup>.

## 3.2. La Ciudad Moderna.

### 3.2.1. Las Primeras Civilizaciones.

A las primeras ciudades que se fundaron hace 5000 o 6000 años les precedió un lento proceso de concentración de asentamientos humanos que duró muchos miles de años. Durante este tiempo había tenido lugar una serie de importantes innovaciones tecnológicas que tenían un efecto fundamental sobre la vida de los hombres: el cultivo de los cereales, el desarrollo del arado, el torno del alfarero y el telar. Con la ayuda de arcaicas técnicas metalúrgicas se fabricaron herramientas de cobre y de otros metales. También se encuentran muestras de actividades intelectuales, por ejemplo, en el campo de las matemáticas. Al contrario de los progresos tecnológicos que se produjeron durante la Revolución Industrial y que contribuyeron a una difusión de la forma y la función de la ciudad, las innovaciones de las primeras civilizaciones condujeron a una “implosión”, un aglutamiento de actividades humanas.

En las ciudades se reunieron y concentraron las actividades que, hasta ese momento, se habían repartido desorganizadamente por grandes extensiones geográficas<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 94.

<sup>8</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 95.

En el surgimiento de las primeras ciudades fue de vital importancia la evolución de la agricultura. En primer lugar, surgieron todas en regiones de condiciones climáticas similares situadas entre el trópico de cáncer y 30 grados de latitud norte. En segundo lugar, todas se situaron cerca de grandes ríos que ofrecían facilidades de riego y de transporte y cuyas fértiles zonas inundadas podían utilizarse para la agricultura. Resulta evidente que las primeras civilizaciones dependieran en gran medida del abastecimiento energético de su entorno más próximo. Los valles de ríos como el Éufrates y el Tigris (Mesopotamia), el Nilo (Egipto), el Indo (India) y el Wei He (China) ofrecían las condiciones ideales para la fundación de ciudades de las primeras civilizaciones.

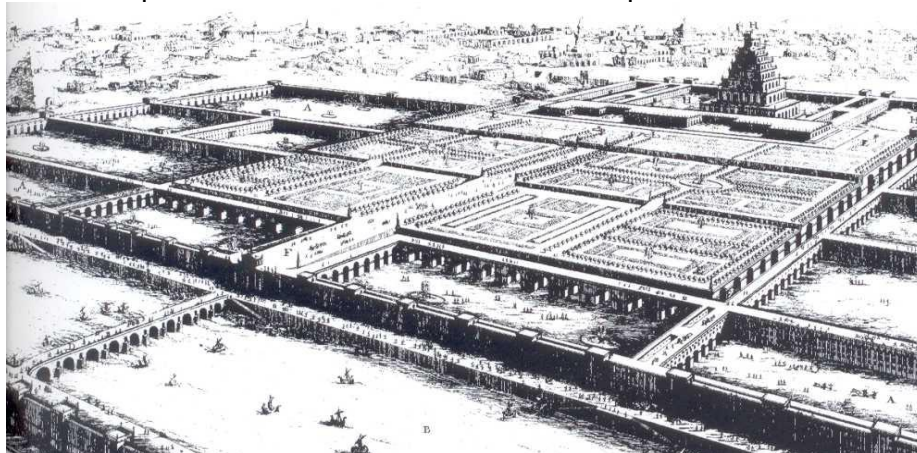


Imagen 30. Babilonia, ciudad famosa por sus jardines colgantes. Reconstrucción del siglo XVIII.

Los famosos jardines colgantes de Babilonia se construyeron sobre unas terrazas elevadas, regadas con agua del Éufrates mediante un sistema de bombeo. Naturaleza y arquitectura se combinaron para dar uno de los primeros ejemplos de una arquitectura solar espectacular. Babilonia fue también un buen ejemplo de la importancia de la orientación hacia el sol para la planificación de una ciudad. Las calles se dispusieron de tal manera que los habitantes podían aprovecharse de las ventajas climáticas y, al mismo tiempo, se protegían de los aspectos menos favorables, como los fuertes vientos<sup>10</sup>.

Unos procesos similares de formación de ciudades comenzaron entre los años 2000 y 1000 a.C. en el valle del Wei He, China y en las tierras de la cultura maya, en las zonas boscosas de Centroamérica. La clave del éxito de todas estas primeras culturas urbanas era idéntica: un orden político estable, así como la influencia del misticismo.

La planificación reticular y la orientación solar fueron también características de las formas urbanas de las civilizaciones siguientes. En el rígido sistema ortogonal se manifestaba el deseo de una comunidad ordenada y eficiente. La cuadrícula proporcionaba en gran medida una lógica sintáctica que facilitaba la orientación dentro de la ciudad y, además, hizo posible una rigurosa división de la ciudad que reflejaba una sociedad que se iba organizando en capas sociales cada vez más acentuadas.

En el valle del Indo hubo varios grandes asentamientos urbanos durante la época de mayor esplendor, de las cuales Harappa y Mohendjo-Daro eran los mayores. Estas ciudades se caracterizaron por un alto nivel administrativo y una sociedad rigurosamente estructurada. Destacaron por una urbanización muy compacta y un sistema reticular de calles orientadas al sol.

<sup>9</sup> BEHLING, Stefan. SOL POWER. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.78.

<sup>10</sup> BEHLING, Stefan. SOL POWER. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.78.

Mohendjo-Daro (3000 a.C.) muestra una clara orientación norte-sur y dispone de una ciudadela compacta que servía como centro religioso y ceremonial de la ciudad. Alrededor del año 2500 a.C. se había establecido la estructura social de la ciudad. Los ricos vivían en casas de dos plantas, cuyos patios agrupaban a su alrededor un número elevado de habitaciones. Los pobres, en cambio, habitaban moradas de una sola habitación. Todas las casas se construyeron con ladrillos estándar.

El equipamiento sanitario “moderno” en la ciudad Mohendjo-Daro estaba formado por un alcantarillado público al que tenían acceso gran parte de las casas. En la ciudadela había un gran baño que servía para baños rituales.

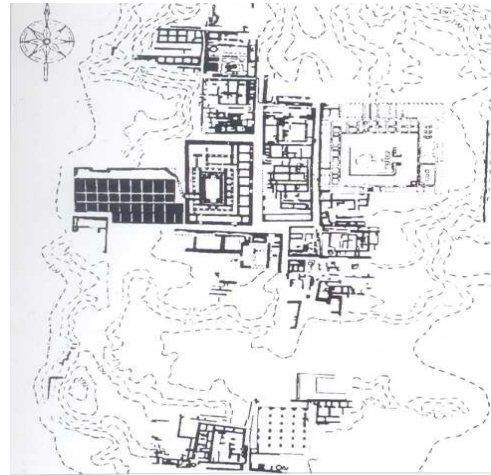


Imagen 31. Ciudadela de Mohendjo-Daro 2500 a.C

En la ciudad de Teotihuacán se muestra la influencia del misticismo en los edificios religiosos, que sobrepasan en altura a todos los demás. La Pirámide del Sol, la de la Luna y otros edificios religiosos estaban distribuidos por una ciudad estructurada en cuadrícula.

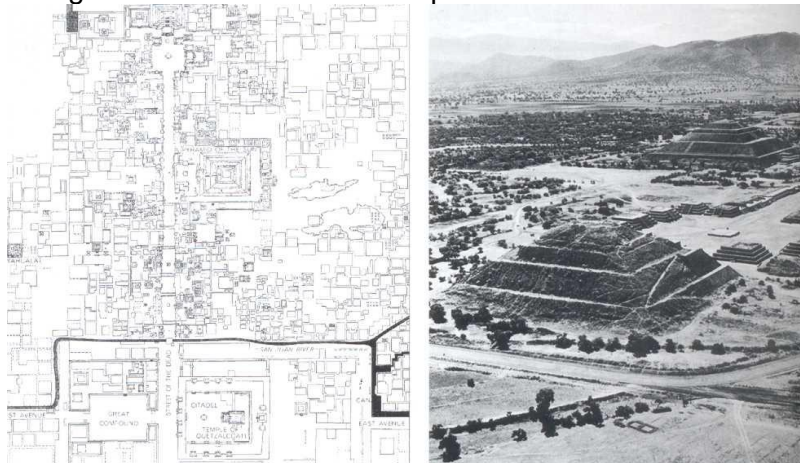


Imagen 32. Teotihuacan. 500 d.C.

En la antigua Grecia, el arquitecto Hipodamo introdujo el sistema de *damero* en urbanismo; también se le atribuye la transformación del ágora de espacio para mercado a núcleo de vida pública cuidadosamente diseñado para tal fin. Otros equipamientos urbanos, como por ejemplo los baños públicos, teatros y estadios, indican la importancia que se le daba en las ciudades griegas a la salud y la higiene, pero también al ocio. Los romanos adoptaron de los griegos tanto la cuadrícula urbana como los equipamientos sociales y culturales; ellos orientaban, a su vez, la cuadrícula de las calles hacia el sol para poder aprovechar su energía y atenuar sus efectos menos favorables mediante sistemas de ventilación y sombra.

Todas estas primeras ciudades tenían en común la dependencia de una interacción muy sutil entre la actuación del hombre y la naturaleza, pero debía conservar cuidadosamente el equilibrio entre las acciones del hombre y el entorno natural. Las antiguas civilizaciones urbanas satisfacían su demanda energética indirectamente con la energía solar mediante la agricultura y la ganadería. Por tanto, la conservación de las condiciones agrícolas óptimas era de importancia fundamental<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> BEHLING, Stefan. SOL POWER. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.79.

### 3.2.2. De la Antigüedad a la Revolución Industrial.

Las antiguas civilizaciones orientales precedieron en más de cinco mil años a la civilización occidental; la influyeron primero a través de las civilizaciones griega y romana, que dieron forma a la clásica casa urbana con patio central y posteriormente, gracias a la expansión del cristianismo.

Después de la caída del Imperio Romano, apenas algunas ciudades bizantinas se salvaron de las guerras y las pestes. En la península Ibérica Córdoba, Granada, Toledo, así como Palermo al sur de Italia, mantuvieron su estilo de vida oriental hasta que los árabes fueron expulsados a fines del siglo XV. Salvo algunas excepciones y la de Bizancio (Constantinopla), que floreció durante la Alta Edad Media, la herencia oriental del concepto de vivienda volcada hacia el patio continuó usándose en conventos y monasterios de la Iglesia Cristiana; en tanto que los edificios seculares se convirtieron en edificaciones extrovertidas.

Muchas casas medievales conservaron el patio central pero su función fue diferente a la de la vivienda urbana oriental, pues se usó con fines de servicio: para cargar y descargar la mercancía de los comerciantes, para que los artesanos hicieran mezcla o como huerto para los campesinos. Los cuartos se orientaban hacia la calle y miraban a un patio trasero que servía de establo. Al paso del tiempo, esta orientación de la vivienda se convirtió en el patrón del mundo urbano occidental<sup>12</sup>.

La ciudad de aquel entonces se conformaba rodeada por murallas defensivas y un foso; una o dos torres flanqueaban las puertas y vigilaban la entrada. Debido a su topografía, la forma de la ciudad resultaba de un crecimiento natural orgánico que tendía al círculo. En el centro se encontraba generalmente una Catedral o un Monasterio. La muralla era la barrera inconfundible que marcaba el final de la zona rural y el principio de la ciudad, del espacio conquistado de la seguridad.

En el periodo renacentista se construyeron algunas poblaciones regidas por los siguientes principios de planificación: avenidas y calles rectas y amplias, trama urbana en forma de cuadrícula y uso de plazas, no solamente como monumentos o zonas de mercadeo, sino también con un carácter doméstico.

Este estilo influenció a Norteamérica, donde las primeras ciudades fundadas incorporaron el concepto de plaza y el trazo reticular. La primera ciudad que aplicó estos conceptos de vida urbana fue Filadelfia; planeada en 1683 por Thomas Hulme, que aportó, además de la plaza central, otras cuatro de menor tamaño para la recreación.

Este nuevo estilo de vida produjo un cambio sin precedentes: la vivienda urbana se separó del lugar de trabajo; la separación de las actividades productivas y domésticas otorgó nuevas características a los edificios y los barrios; la ciudad se fraccionó en zonas comerciales, residenciales, industriales y recreativas. La Revolución Industrial fue un factor decisivo que afectó a la vivienda urbana occidental.

Al principio, dado que el funcionamiento de las máquinas dependía de la energía producida por el movimiento del agua, la mayoría de las industrias se ubicaron en las orillas de los ríos. El río era la fuente de energía para la industria; la vía principal para el comercio y el transporte, además, servía como espacio recreativo para la comunidad.

La Revolución Industrial pasó a su segunda fase cuando el carbón sustituyó al agua como fuente de energía. Por ello las industrias comenzaron a desplazarse a donde abundaba el mineral, hecho que produjo cambios significativos en el aspecto urbano. Las viviendas se ubicaron en torno a las fábricas.

---

<sup>12</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 120.

La explotación del suelo urbano, a finales del siglo XIX, terminó por subdividirlo en lotes pequeños y profundos; un gran número de constructores erigieron apretados desarrollos de casas en hilera con fachadas hacia la calle y un reducido patio en la parte de atrás. En algunos casos se hicieron grupos de 10 a 20 casas alineadas una junto a otra con plantas y fachadas idénticas. Alrededor de la ciudad proliferaron los suburbios.

Desde fines del siglo XIX se favoreció un desarrollo tecnológico que, junto a los progresos de los medios de comunicación, produjeron el Bauhaus, incubación de un movimiento denominado moderno o estilo internacional. La arquitectura moderna se caracteriza por el tipo de edificios que se empezaron a construir hacia 1910 y evolucionaron en la época intermedia entre la Primera y la Segunda Guerra Mundial<sup>13</sup>.

### 3.2.3. La Ciudad Moderna.

La nueva ciudad de finales del siglo XX aparece enmarcada en una fase dinámica de evolución ecológica y técnica, en un proceso cada vez más global de cambios: sobresaliendo por la extensión y el alcance de las comunicaciones; por el desarrollo de procesos transnacionales centralizadores, de dirección y control económicos y administrativos; por la obtención de nuevas fuentes de energía nuclear, eléctrica, geotérmica, solar y sobretodo, por nuevos problemas ambientales.

Se acentúan también los cambios sociales y geopolíticos que son inducidos por la socialización y especialización en los centros urbanos y la expansión de las regiones hiperurbanizadas, lo que lleva a mayores concentraciones de población e industria; ciudades de más de 10 millones de habitantes y de más de 20km<sup>2</sup> (20 000 ha.) de superficie, hasta llegar a las "megalópolis".

En Occidente, ya aparecieron ciudades muy extendidas y/o descentralizadas en decenas de kilómetros de suburbios, reunidos en regiones hiperurbanizadas. En los países en desarrollo, las ciudades son primarias y concentradas, precariamente semiurbanizadas y con una mayoría de la población del país viviendo en ellas. La hiperurbanización se da con o sin desarrollo, como un proceso incontrolable en todo el mundo y se agudiza en África, Asia y América Latina.

Las especiales características que configuran a la nueva civilización global dan como resultado ciudades en crecimiento en altura, densidad y extensión, de cada vez mayor tamaño y, a la vez, otras en dispersión, disgregadas y marginales. La ciudad neotécnica tiene varios modelos, la sociedad moderna-industrial uno sólo, la sociedad urbana de masas y por la revolución de las comunicaciones, la dispersión en el espacio y la homogeneización de las ciudades y asentamientos<sup>14</sup>.

La ciudad occidental contemporánea proviene directamente de La Modernidad; la arquitectura tenía que ser consecuente con su tiempo histórico. El desarrollo de la matemática y sobretodo de la física newtoniana jugaron un papel determinante en las ciudades modernas. La geometrización se erigió en el modo de "racionalizar" los espacios la geometría analítica salió del mundo abstracto de la teoría y comenzó a tomar forma de viviendas, talleres, de edificios públicos, etc., las ciudades se trazaron con regla.

La Naturaleza dejó de ser la gran maestra de la humanidad. Ahora, la ciencia toma su lugar: sólo lo que se basa en las relaciones puramente cuantitativas tiene validez.

Los principios básicos de la arquitectura moderna son prácticamente los mismos en Berlín y en Buenos Aires, en Montreal y en Madrid, en la Ciudad de México y en Roma.

<sup>13</sup> SENOSIAIN, Javier. Bio Arquitectura. Ed. Limusa. México, 1998. p. 122.

<sup>14</sup> MUNIZAGA, V. Gustavo. Las Ciudades y su Historia. Ed. Alfaomega, 2ª edición. Chile, 1999. p. 210.



Edificios y viviendas construidos con paralelepípedos, calles y avenidas surcando y dividiendo, plazas y rascacielos. La masificación se ha vuelto premisa; la arquitectura urbana en Occidente se volvió cosmopolita, internacional: sin nacionalidad.

La Modernidad no sólo nos identifica, sino que nos homogeneiza. **Las ciudades han determinado nuestra forma de vida y no nuestra vida la forma de las ciudades.** A las ciudades modernas las surcan miles de líneas rectas; su rigidez, se erige a partir de una comunión de líneas paralelas y perpendiculares que se suceden interminablemente. Hoy en día, en nuestro medio urbano, cada país posee prácticamente la misma arquitectura<sup>15</sup>.

En todo el siglo XX no ha habido ningún invento tecnológico que haya tenido tanta importancia para la transformación de las ciudades como el petróleo y el automóvil. Las autopistas sirvieron de modelo para todo el mundo industrializado.

El Arq. Ludwig Hilberseimer fue un defensor de la construcción de bloques alineados. Sus proyectos muestran la eficiencia de la distribución del espacio de la edificación alineada en comparación con los modelos de urbanización de baja densidad y cuánto espacio abierto puede conseguirse mediante una edificación más alta<sup>16</sup>.

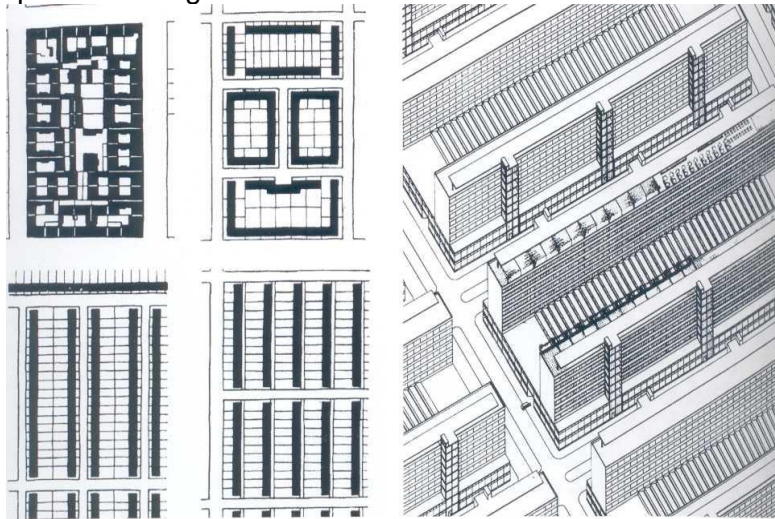


Imagen 33. Diagramas de edificación alineada y con alta densidad, Ludwig Hilberseimer.

En las grandes metrópolis o conurbaciones, la producción y los servicios van hacia una automatización, se produce una diversificación cada vez más grande y especializada de las actividades, las cuales, están orientadas hacia los sectores terciarios (comercio y prestación de servicios) y cuaternarios (comunicaciones, esparcimiento e información). Ha aumentado la interdependencia entre las funciones y la multiplicación de nuevas actividades y actitudes de vida: aparece la cultura del ocio y del hedonismo.

Por otra parte, aparece la sobreproducción, el consumismo y derroche de recursos y energía en los países industrializados. Se desarrollaron nuevos materiales y técnicas constructivas, sistemas de industrialización en la construcción de alta resistencia y la prefabricación<sup>17</sup>.

Las unidades habitacionales son un claro ejemplo de cómo los cánones de producción en serie han dominado a la arquitectura y al urbanismo. Existen cuadras y cuadras cubiertas de edificios idénticos; si en un principio prevalecía la tendencia a unificar los estilos, ahora las casas y edificios se construyen totalmente iguales. A partir de la Revolución Industrial y de la producción en serie se intensifica la planeación de módulos.

<sup>15</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 124.

<sup>16</sup> BEHLING, Stefan. *SQL POWER*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.166.

<sup>17</sup> MUNIZAGA, V. Gustavo. *Las Ciudades y su Historia*. Ed. Alfaomega, 2ª edición. Chile, 1999. p. 211.

La Modernidad es la cultura de la fragmentación, impuso su axioma en todas las ramas del pensamiento y el quehacer humano. La distribución de las ciudades modernas se dio de tal modo que se confinaron las colonias proletarias y marginadas de un lado, la alta burguesía del otro y la clase media llenando los huecos.

En gran parte, el diseño de las ciudades modernas obedece a los intereses de tres agentes que intervienen en la consolidación de un fraccionamiento: el primero es la dependencia gubernamental que autoriza la construcción, siempre y cuando esta “cumpla” con una serie de normas; otro el promotor, cuyo principal interés consiste en la utilidad económica; y el último es el urbanista, el que toma en cuenta los reglamentos, las vialidades y la utilidad, pero muy poco al ser humano.

El medio urbano actual se encuentra formado por colonias, que son grandes cuadrículas divididas a su vez en otros cuadros llamados manzanas que, a la vez, se subdividen en lotes. Es en el lote cuando empieza el trabajo del arquitecto que, al encontrarse limitado por un rectángulo, generalmente hace de la casa una gran caja. La vivienda-caja consiste en un conglomerado de prismas rectangulares que se destinan a las funciones específicas de lo que comúnmente se denomina “hogar”.

Cajas y cuadrícula, he aquí los elementos básicos de una ciudad occidental de nuestros días. El uso indiscriminado del ángulo recto ha limitado la imaginación arquitectónica contemporánea. Lo más grave del asunto es que hoy las cosas no sólo no cambian, sino que se regeneran, se reproducen.

Cuando los primeros estudios de sociología urbana aparecieron, los urbanistas e intelectuales se apresuraron a afirmar la innegable existencia de una cultura propia de la ciudad. En un sentido muy general puede decirse que la cultura es la manera en que se relacionan en un espacio y tiempo determinados, el conjunto de formas y conductas de un pueblo. Así, la comprensión de una cultura depende de la definición que se tenga del espacio y del tiempo en que ésta se desenvuelve<sup>18</sup>.



Imagen 34. Rascacielos en Manhattan Nueva York. Estados Unidos.

<sup>18</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 128.

### 3.3. El Espacio Natural del Hombre.

La idea más profunda de espacio que tiene el hombre es la del claustro materno; el origen de la vida yace en este sitio. El vientre materno contiene las condiciones óptimas para el desarrollo y es ahí donde el hombre permanece durante nueve meses, rodeado de protección y tranquilidad.

El hombre busca espacios o moradas con la esperanza de encontrar algo que recuerde al seno materno. El ser humano no debe desprenderse de sus impulsos primigenios, de su ser biológico. Debe recordar que él mismo proviene de un principio natural y que la búsqueda de su morada no puede desligarse de sus raíces, es decir, debe evitar que su hábitat sea antinatural. De ahí la importancia que adquiere hacer consciente nuestro origen y responsabilizarnos de ello<sup>19</sup>.

En todo el mundo, las moradas humanas deben cumplir las mismas necesidades básicas: protección y confort. Sin embargo, las formas de las tipologías elementales de casas varían notablemente de una región a otra y dependen de los materiales naturales disponibles y de las condiciones climáticas prevalecientes.

Se han desarrollado construcciones energéticamente eficaces, acordes con sus condiciones climáticas y su entorno específico, una forma de tecnología solar específicamente regional. Nacen unas respuestas sencillas pero hábiles contra el reto del calor, frío, lluvia o viento. Los seres humanos han creado las más diversas formas de construcción autóctona para poder vivir bajo duras condiciones climáticas<sup>20</sup>.

#### 3.3.1. El Hielo: respuesta a las zonas árticas.

Construir una vivienda en el ártico sin la ayuda técnica que asegure la supervivencia durante el invierno es un desafío incluso para el mejor ingeniero. El Iglú es sin duda, la solución perfecta.

Los bloques de hielo utilizados para la construcción de un iglú pueden llegar a tener hasta 1m. de longitud, 50cm. de altura y 20cm. de ancho. El maestro constructor esquimal traza un círculo en el suelo con un diámetro de 5m. y coloca la primera hilada. Los siguientes bloques están sesgados para que la cúpula se eleve en una espiral continua.

Algunos esquimales revisten el interior de su iglú con pieles de animales para tratar de conseguir un mayor aislamiento. Junto con el calor emitido por las lámparas de aceite de ballena y por los seres humanos, un iglú puede llegar a tener una temperatura interior de hasta 5°C, con temperatura exterior de -40°C<sup>21</sup>.

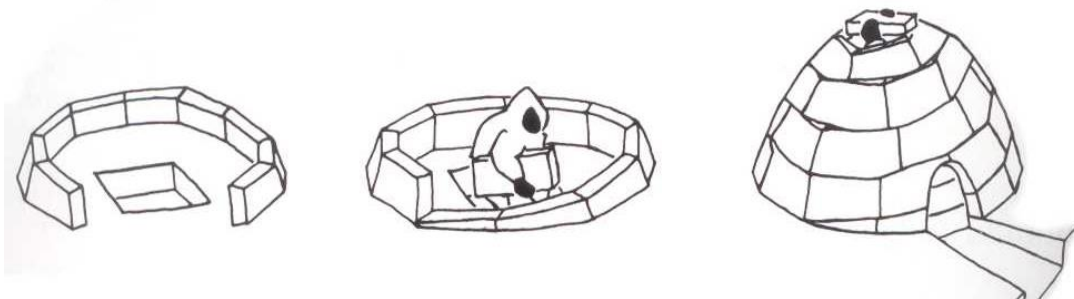


Imagen 35. Sistema constructivo del Iglú.

<sup>19</sup> SENOSIAIN, Javier. Bio Arquitectura . Ed. Limusa. México, 1998. p. 26.

<sup>20</sup> BEHLING, Stefan. SOL POWER. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.44.

<sup>21</sup> BEHLING, Stefan. SOL POWER. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.46.

La construcción de un iglú representa todo un ritual que esta emparentado con el medio de vida de los esquimales: la caza. El lugar en donde se cazó a la primera foca marca el sitio exacto. A partir de ahí, se busca una superficie lo más plana posible y con nieve dura después el esquimal, traza un círculo cuyo radio es su propia altura y con la ayuda de un hueso de morsa, que se usa como cuchillo, corta bloques de hielo; extrae estos bloques de la propia superficie señalada, de tal modo que el esquimal emprende una doble tarea: excava y construye al mismo tiempo.

Existen dos métodos básicos para la construcción del iglú: el primero consiste en colocar los bloques de hielo de tal modo que formen anillos concéntricos, cada anillo disminuye de diámetro conforme se va elevando el iglú, hasta quedar cerrado completamente; el segundo método consiste en colocar los bloques de hielo uno junto a otro, levantándolos en forma de espiral ascendente. Este sistema se inicia al colocar los tres primeros trozos de hielo en declive, con el propósito de formar la cúpula; desde el interior se levanta el iglú dándole una ligera inclinación hacia adentro. Finalmente, se coloca el último bloque en la cúspide de la cúpula a la altura de un esquimal con los brazos extendidos.

El esquimal no requiere del metro, ya que nada tiene que ver con las medidas del hombre, él toma su cuerpo como patrón de medida para construir a su escala el refugio<sup>22</sup>.

La última pieza colocada en la parte alta del Iglú, por lo general es de hielo transparente a fin de que cumpla su función de ventana o domo para permitir una iluminación natural. Al concluir con la disposición de los bloques de hielo se sellan con nieve suelta las ranuras exteriores entre bloque y bloque, y el viento consolida la mezcla. En suma, el iglú se conforma como una cúpula térmica aislada del exterior.

El mobiliario del Iglú consta de una plataforma de nieve cubierta con pieles de oso que juega el papel de cama familiar. Este lecho de nieve queda aprox. a 70cm. del suelo.

Al cambiar la estación se abandona el primer iglú que termina por derretirse. Dentro de un espacio relativamente reducido, este tipo de vivienda cuenta con todos los requerimientos de una familia: sirve para cocinar, comer, descansar y dormir. Las provisiones y el trineo, junto con los perros de arrastre, permanecen en el túnel de acceso

La entrada más común del iglú consiste en un pasadizo excavado bajo la nieve. Esto presenta dos ventajas: evita la pérdida de aire caliente que tiende a ascender y no permite que el viento frío del ártico penetre. La altura del túnel apenas debe permitir el acceso en cuclillas de la mujer con su hijo sobre la espalda, así se evita la posible intromisión de algún oso polar. La puerta se orienta en sentido contrario a la dirección del viento. La estabilidad térmica se logra por el calor de los cuerpos y de las lámparas de aceite.

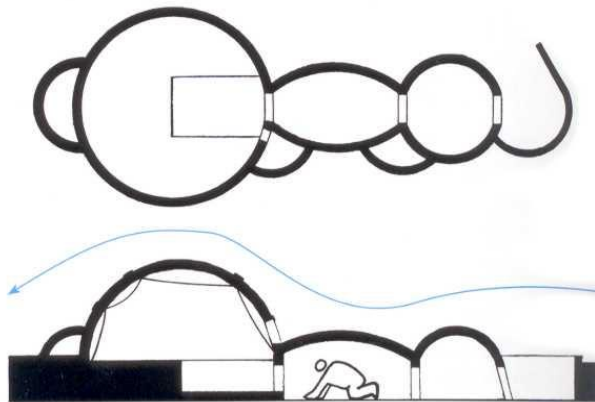


Imagen 36. Planta y sección del Iglú.

El admirable comportamiento del iglú se debe a la forma y al material utilizado. El domo hemisférico, al presentar una superficie mínima, expone una máxima resistencia al viento. Probablemente su estructura y método básico de construcción ha evolucionado desde hace unos diez mil años. Este espacio se adapta al cuerpo y a las necesidades del esquimal; por último, lo protege del viento, del frío y de los animales.

<sup>22</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 96.

### 3.3.2. La Tierra: respuesta a las zonas desérticas.

En el desierto, el viento recorre el espacio y moldea la topografía caprichosa de estos lugares, como ejemplo están las dunas efímeras. Por la noche, el frío del desierto es muy fuerte con sus ráfagas heladas.

En tales circunstancias se presenta un doble problema: resguardar al morador del calor diurno, por un lado, y por el otro, conservar este calor para equilibrarlo con el frío de la noche, en una región donde casi no hay piedras ni árboles para construir un refugio.

En un principio, el hombre excavó su morada bajo tierra, donde encontró agua y cobijo para protegerse de las tormentas de arena y el calor. Posteriormente, ideó la técnica de construir aprovechando la misma tierra. Los materiales básicos que la componen son: arcilla arenosa o una turba firme; se humedece, se amasa y a continuación se mezcla con algunas plantas fibrosas, como la paja o el excremento de animales, con el propósito de darle mayor resistencia al material. Primeramente, la mezcla se moldeaba con las manos en forma de bolas, para después erigir los muros de adobe, vocablo español que significa arcilla cocida al sol.

Dentro de la zona semidesértica se encuentra un ejemplo notable: los *dogones*. Estas comunidades, que habitan el noreste de África, algunas aldeas constan de una docena de chozas cilíndricas destinadas al padre de familia, a las mujeres, a los niños, a la cocina, graneros y talleres. La forma cilíndrica de la vivienda responde a las condiciones de una región sometida al viento; esta forma además de esquivar fácilmente las ráfagas, permite agrupar las chozas dejando espacios entre sí para un gran patio, espacio principal de la familia durante la estación seca, que cumple con el papel de cocina, taller y corral para los animales domésticos.

La tierra se extrae a mano, directamente en el lugar de la construcción. Después de construir el cimiento de piedra sobre el suelo, se colocan los adobes o bolas de tierra alternando las juntas para evitar fisuras. La estructura del techo se elabora en el suelo con troncos de ramas, quedando una armadura ligera en forma de cono; esta techumbre se coloca con los troncos sobresalientes de la pared exterior para evitar el escurrimiento de lluvia sobre los muros. Posteriormente, la estructura se recubre con placas de paja entretejida que conforma una cubierta muy resistente al viento. Finalmente, la punta del techo se amarra con una cuerda y se cubre con una vasija de barro para garantizar un sellado hermético.

Para la arquitectura escultural de ciertas culturas africanas y del medio oriente, la tierra es el elemento más fértil de nuestro planeta. Algunas de estas civilizaciones tradicionales aplican la ornamentación con gran vitalidad plástica, en un proceso de simbolización.

Contemplar estas construcciones provoca un estado psicológico muy especial: la fertilidad de la tierra, representada por la naturalidad de las curvas voluptuosas, inspira placer<sup>24</sup>.

Hasta hace treinta años, en nuestro planeta dos terceras partes de la población mundial habitaba en casas hechas con tierra; a la fecha solamente una tercera parte de la población ocupa este tipo de viviendas.

El contacto prolongado con la naturaleza funde las construcciones con el paisaje; se puede decir que la exposición al sol, al viento y a la lluvia produce un hecho que las impregna de tiempo. La forma nace de la combinación de la tradición del constructor con la esencia de la vida<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 100.

<sup>25</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 102.

Parten de la decisión de cada individuo por integrarse armónicamente en la cultura heredada, en el espíritu del lugar. Uno de los encantos de esta arquitectura proviene de que rehuye la uniformidad.

En Medio Oriente se hallan ciudades que florecieron hace siglos y que aún se mantienen como nuevas. Se han encontrado rastros de edificios fabricados con tierra que datan de 12 000 años atrás.

Chanchan, a 570 km. de Lima, Perú, es la ciudad de barro más grande del mundo las construcciones originales actualmente se encuentran deshabitadas. No obstante, los lugareños siguen empleando viviendas de adobe.

Las viviendas elaboradas con un material como el adobe resultan muy eficientes para los climas desérticos. En el transcurso del día la tierra absorbe los ardientes rayos del sol y su solidez impide que el calor penetre a la morada. En la noche, el adobe irradia el calor almacenado. Además, hay que agregar que es de los materiales más baratos.

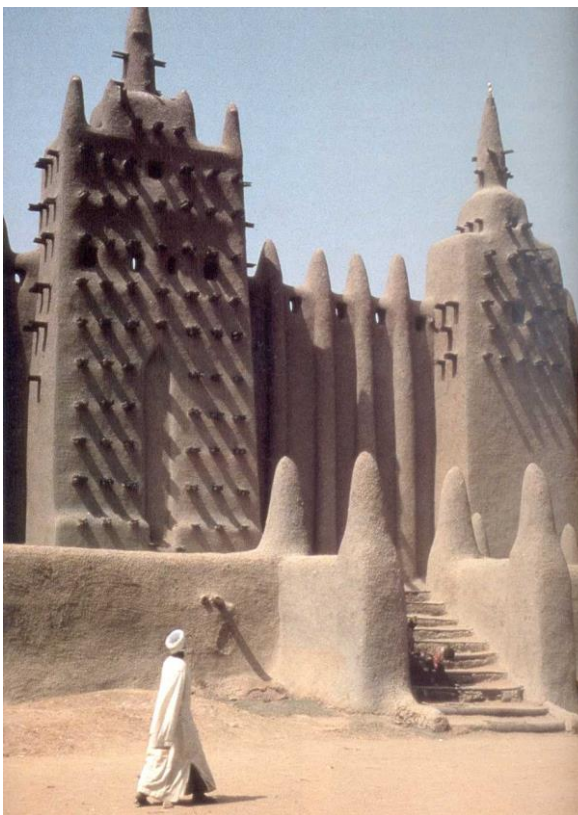


Imagen 37. Mezquita de Djenne, Mali.

### 3.3.3. La Vegetación: respuesta a las zonas selváticas.

La selva es el entorno que, para los seres humanos, no resulta fácil aguantar debido a la combinación de calor y humedad. Por lo que se requiere, una ventilación eficaz y una protección contra el sol y la lluvia. Paredes, suelos y cubiertas deben secarse rápidamente.

Los muros macizos y aislantes estarían totalmente fuera de lugar en este clima, ya que apenas hay oscilaciones entre las temperaturas diurnas y nocturnas. Lo que se exige aquí es una óptima protección contra el sol y una buena ventilación. Las paredes son delgadas y la incidencia de la intensa luz solar que atraviesa las ventanas se amortigua con marquesinas para poder aprovechar incluso la brisa más suave<sup>26</sup>.

En estas zonas selváticas se enfrenta una problemática específica. Después de observar los principales modelos de los refugios típicos de estas regiones, se llega a la conclusión de que todos ellos pretenden proteger a sus moradores contra la lluvia, el calor y las bestias salvajes.

La procedencia de los materiales empleados en las chozas selváticas es del reino vegetal. Para el armazón: ramas o troncos, incluso bambúes y carrizos. La cubierta se elabora con hojas, palmas, hierba y paja. Entre los motivos que determinan el aprovechamiento de estos materiales se encuentran la inmediata disponibilidad de los mismos, su fácil manejo, la enorme resistencia que ofrecen al agua y la solidez que consiguen.

De igual manera, las formas se determinan por las condiciones climáticas. Los tejados presentan un ángulo de inclinación tal que permiten a las aguas de las tormentas escurrir

<sup>26</sup> BEHLING, Stefan. SOL POWER. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2002. p.61.

con rapidez; simultáneamente el tejado se prolonga más allá de los muros mismos para proteger a la morada de la lluvia, del sol y las ventiscas.

Con el objeto de conseguir una buena ventilación, el arquitecto de la selva edifica paredes con carrizos y hojas entretrejidas que en algunos casos enrolla durante el día. Además, algunas moradas se erigen elevadas sobre el terreno, con el propósito de aumentar la ventilación y de resguardarla de las inundaciones. En los espacios interiores se ubican los muebles empotrados y dispuestos de tal forma que mantienen libre el centro de la morada, propiciando así la ventilación cruzada.

El valor de la arquitectura vernácula radica en la medida en que, sin agredir al medio físico, consigue darle personalidad a sus obras<sup>27</sup>.

Las casas de Batak, al norte de Sumatra, con sus grandes cubiertas a dos aguas con cumbreseras curvas están construidas para conseguir una ventilación óptima. Las cubiertas bajas y angulosas, vuelan sobre la fachada para dar mayor sombra; las casas están construidas con madera y juncos. Los postes de madera muestran la función y el significado de las actividades del interior. Unos postes más cortos, empotrados y fijados con unos clavos, soportan el suelo bien ventilado que descansa sobre durmientes de hasta 10m. de longitud y vigas transversales.

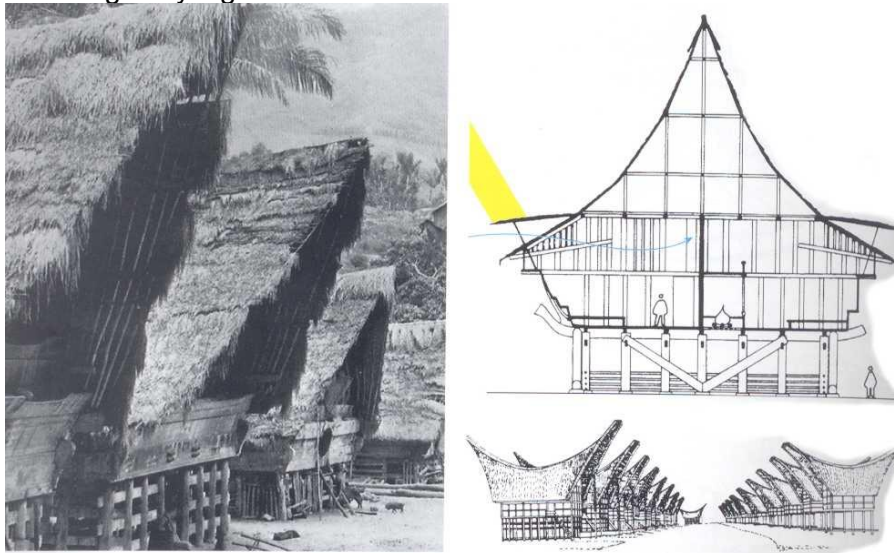


Imagen 38. Casas de Batak, al norte de Sumatra.

Los orígenes del ser humano están en la **sabana**, en el límite con la selva. Aquí, las condiciones climáticas son tan buenas que el hombre puede sobrevivir sin morada ni indumentaria. En consecuencia, las exigencias de los edificios son mínimas; basta con unas paredes exteriores permeables sin un efecto aislante digno de mención.

Para las cubiertas se requiere una considerable cantidad de hierba, que se recoge cada año según una ceremonia ancestral. Puesto que en las viviendas se emplean materiales vegetales de la región, se les puede considerar como parte de su ciclo natural.

Los muros de las casas de la sabana son delgados y permeables para conseguir una óptima corriente de aire. Aquí no hay necesidad de muros gruesos ni aislantes<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 104.

<sup>29</sup> Ibidem. p. 63.

### 3.4. La Arquitectura Orgánica.

#### 3.4.1. Introducción.

La arquitectura orgánica es una tradición viva, que en estos momentos se encamina por direcciones nuevas y apasionantes. No se trata de un movimiento unificado, sino diverso, complejo, contradictorio y vivo. Siempre controvertido y difícil de precisar, la mejor manera de percibirlo es a través de la experiencia directa “sobre el terreno”, visitando los edificios y dejando que entren en juego todos los sentidos. A veces se le ha denominado como “la otra tradición”, ya que posee una celebre y larga historia que se extiende desde la Grecia antigua hasta el Art Nouveau.

Se basa en la pasión por la vida, la naturaleza y las formas naturales y está repleta de la vitalidad del mundo natural por sus formas y procedimientos biológicos; hace hincapié en la belleza y la armonía, sus curvas fluidas y sus expresivas formas se adecuan al espíritu, la mente y el cuerpo humano. El hombre se siente mejor y más libre en un edificio “orgánico” bien diseñado.

El hecho de que la moda rectilínea y ortogonal llegara a ser dominante en el siglo XX constituye un reflejo de los valores materialistas de esta época de marcada orientación industrial. El resurgimiento del diseño orgánico supone una nueva libertad de pensamiento y constituye una expresión de esperanza para el futuro. Y estos cambios están afectando a la mayoría de los campos del diseño, desde los objetos y muebles, iluminación y diseño textil, hasta la arquitectura, el paisajismo y el interiorismo. Como consecuencia, el diseño orgánico pierde cada vez su carácter de estilo marginal para convertirse en una de las principales tendencias del diseño.

La nueva propuesta del “estilo libre” ha recibido también las influencias de la filosofía moderna y de ideas científicas tan diversas como la astrofísica avanzada, la teoría del caos y la teoría de Gaia, de James Lovelock (que describe “Gaia”, la Tierra, como un supraorganismo vivo que se regula a sí mismo).

Se podría establecer un paralelismo en el modo en el que estas influencias han afectado al “estilo libre” con el efecto que produjo la revolucionaria teoría de la evolución de Charles Darwin sobre la arquitectura Victoriana, que en aquel caso inspiró formas y motivos decorativos naturales.

La moderna tecnología de la información y el rápido desarrollo del diseño por computadora (CAD computer-aided design), así como con los últimos programas de diseño en tres dimensiones aplicados a todos los campos de la arquitectura y el diseño resulta mucho más fácil proyectar y modelar formas y figuras complejas y sofisticadas.

La línea recta, el ángulo recto y el cubo ya no tienen por qué ser los rasgos dominantes. La utilización del principio “distribución de fuerzas a través de la forma” permite que las líneas curvas, como los arcos, las bóvedas, las cúpulas y las esferas, sean más estables, eficaces y económicas que las estructuras rectilíneas equivalentes. Tanto los materiales tradicionales como los modernos pueden emplearse de manera orgánica<sup>30</sup>.

Actualmente la arquitectura orgánica se renueva en un nuevo movimiento internacional que aúna el respeto a la naturaleza con la estética y la armonía de los sistemas, formas y flujos naturales. En el nuevo milenio despunta una imagen del universo más holística y orgánica, que exige nuevas formas de expresión que reflejen la variedad y la creatividad de la propia naturaleza. Este paradigma novedoso se extiende por todo el mundo, mientras cambia la arquitectura y el diseño del siglo XXI.

---

<sup>30</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna*. Ed. Blume. Barcelona, 2002. p.8.



Como se inspira en la ausencia de linealidad y en las fuerzas creativas de la naturaleza y los organismos biológicos, la arquitectura orgánica es visualmente poética, radical y respetuosa con el medio ambiente; encarna la armonía del lugar, la persona y los materiales. La arquitectura orgánica es multifacética, libre y sorprendente. A pesar de sus innumerables imágenes, que se superponen y son siempre cambiantes, todo surge y se desarrolla a partir del mismo origen: la inspiración de la naturaleza<sup>31</sup>.

### 3.4.2. Antecedentes.

Durante el siglo XIX la arquitectura perdió la brújula de la historia, ya que mientras la técnica evolucionaba, ella se limitaba a imitar los estilos anteriores. Entonces, aparece el *Art Nouveau*, movimiento que en Europa abarca a varias manifestaciones del siglo XX, como una transición entre el Barroco y el Modernismo, deseoso de librarse de estilos anacrónicos.

El *Art Nouveau* tuvo el vigor para salir al encuentro de la caótica confusión de los estilos históricos, alimentarse de ellos y seguir su propia trayectoria. Sin embargo, no acabó de dar el paso decisivo y no pasó de ser un gesto pasajero. Este movimiento comparte con el Barroco su pasión por lo biodinámica; por la proliferación de curvas y ondulaciones enroscadas, por los motivos orgánicos en la ornamentación, al mismo tiempo abstracta y figurativa.

En este estilo hay una intención decidida por adaptar los nuevos materiales y técnicas para construir una arquitectura original: concreto, hierro y vidrio constituyen la masa maleable que necesitó el arquitecto para expresar las nuevas formas derivadas de la funcionalidad de estos materiales llenos de posibilidades creativas.

Todas las artes visuales se vieron comprometidas en un entorno armonioso, lográndose formular por primera vez las leyes totalizadoras del urbanismo moderno: el artista tiene que crear la ciudad, el barrio, la casa, los objetos de la vivienda y los muebles que usa el hombre. Todo debe responder a una armonía que le permita a ese hombre reencontrar la armonía del cosmos. El adorno modelado resplandece y se multiplica invadiendo fachadas y muebles; el objeto no debe expresar solamente su función a través de su forma, sino sugerir además un estado de ánimo en el espectador<sup>32</sup>.

El *Art Nouveau* permitió la transición hacia el movimiento racionalista, el cual tomó como premisa lo sencillo y funcional, pero que pronto cayó en la estandarización y deshumanización, en lo teórico e innatural, en arquitectura de cajas. Surgió entonces como corriente alternativa la llamada arquitectura orgánica, como un oasis dentro del desierto, más preocupada por el hombre y su medio, así como por la creación de las formas naturales, racionales y estéticas.

En esta corriente orgánica es donde se encuentran los nombres de algunos de los más célebres arquitectos del siglo XX y, que por la importancia de sus obras merecen ser revisados con mayor detenimiento, sobretodo porque se enmarcan en un tiempo en el que sus aportaciones implicaban ir en contracorriente<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna* . Ed. Blume. Barcelona, 2002. p.9.

<sup>32</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura* . Ed. Limusa. México, 1998. p. 132.

<sup>33</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura* . Ed. Limusa. México, 1998. p. 133.

### 3.4.3. Principales exponentes de la Arquitectura Orgánica.

#### 3.4.3.1. Antonio Gaudí (1852 - 1926).

Antonio Gaudí Cornet arquitecto español, artista romántico al que hay que ver de manera muy especial, portador del espíritu mediterráneo, es un diseñador creativo; nace bajo el signo de la modernidad, del espíritu crítico, racionalista.

Formado en el ambiente del romanticismo catalán, Gaudí desarrolló un fuerte apego y admiración hacia todo lo que era Edad Media. Por otra parte, su espíritu crítico y sobre todo su gran imaginación, lo llevaron inmediatamente a cuestionar los principios de la escuela internacional.

La concepción del oficio arquitectónico de Antonio Gaudí surge de la relación armónica entre el concepto de la arquitectura medieval (escolástica) y el espíritu modernista; toma como modelo, como arquetipo la naturaleza, el Trabajo del Supremo Arquitecto, como él lo llamaba. La obra del catalán, si bien arranca de un proceso de creación inspirado en la naturaleza, no es la obra de un copista.



Imagen 39. Casa Parqué Güell. Antonio Gaudí. 1905.

Gaudí encontró su sitio idóneo de inspiración en la costa próxima a Tarragona, entre olivos, en el color de la tierra, en las formaciones rocosas, en la intensa luz y los reflejos y movimientos del mar. Resulta evidente que muchas de sus obras están empapadas de estos paisajes, son diseños, no copias literales, sino que ofrecen dibujos distintivamente personales inspirados en formas naturales.

Su obra evidencia una visión y una comprensión de auténticos valores plástico-escultóricos que sólo podría haber sido influida por lo visto, por las formas, no por los argumentos escritos.

La plástica gaudiana tiene un denominador común: la continuidad.

Cada cosa tiene un lugar, una función y, como en el cuerpo humano, existe una armonía que matiza sus partes para que aún siendo diferentes, participen de la unidad de la obra maestra. Su máxima cualidad consistía en saber exactamente si una cosa ha de ser más alta o más baja, más plana o más curva<sup>34</sup>.

Gaudí fue más allá de la contemplación y arribó a la creación libre, pasando por una etapa de minucioso estudio de las formas naturales, de sus ritmos, choques vectoriales y relaciones intrínsecas, es decir, se fue haciendo de un concepto orgánico de la creación.

<sup>34</sup> Ibidem. p. 136.



Imagen 40. Figura escultórica. Parque Güell.

El punto axial de su trabajo lo constituye la estructura. Forma, espacio y función debían ser congruentes: la utilidad y la belleza se dan en su obra porque estructuralmente está bien sentida, bien pensada y bien hecha. Él tomó como guía el análisis de las estructuras de los esqueletos de los animales, de la dinámica de los caracoles y de las plantas. Los descubrimientos a los que llegó son realmente impactantes y aún hoy la bioingeniería descubre con sorpresa cómo el catalán se adelantó con mucho a su época.

Otra parte de su obra, fue la escultura: la magia de las formas. Para su último periodo, Gaudí manejaba integralmente el valor estético dentro de la plástica de sus obras; de hecho, se podría decir que murió cuando estaba al borde de los grandes descubrimientos, precisamente en el momento en que comenzaba a incorporar el concreto como un nuevo elemento en su gramática arquitectónica.

Sumando ambos componentes, Gaudí llegó a la concepción de edificaciones que parecían tener una condición celular, animada. Su lógica no paró ahí, si se trataba de diseñar construcciones vivas y los seres vivos crecen, era menester idear el mecanismo que permitiera que las obras arquitectónicas manifestaran cierta dinámica. La respuesta fue el espacio interior, la construcción implosiva, la que se desarrollo desde dentro. Las curvas que van avanzando, quebrándose, llevando un ritmo hasta arribar a la unidad que es suficiente en sí misma.

Gaudí dio un gran paso al inclinar los soportes, evitando así los contrafuertes. Siempre trabajó de acuerdo a las leyes de la naturaleza, interesándose primordialmente en las fuerzas internas de la misma. En la ciudad de Barcelona, en España se concentra lo más representativo de su obra.

Antonio Gaudí construía caprichosamente, sin embargo su capricho jamás jugó a lo absurdo. Y el espíritu lúdico gaudiano jamás chocó con la racionalidad del genio. Logró imprimir en cada una de sus obras un mensaje, un estado anímico, un proyecto, un ideal.

Evidentemente esto implica un riesgo: ser artista. Tal vez, en este orden de ideas, la obra más gaudiana sea el Templo de la Sagrada Familia. Quizá lo más congruente consista en tratar de vivir la obra artística de Antonio Gaudí, el más orgánico de los pioneros de la propuesta orgánica<sup>36</sup>.



Imagen 41. Iglesia Sagrada Familia

<sup>36</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 140.

### 3.4.3.2. Frank Lloyd Wright (1867 - 1959).

La historia del arte se conforma a partir de una sucesión de ciclos, Frank Lloyd Wright hizo lo propio: cuestionó, propuso e innovó. Su cuestionamiento a la arquitectura racionalista fue contundente; ya que se estaban edificando “viviendas” cuadráticas, edificios e iglesias igualmente paralelepípedos. También criticó el divorcio entre la construcción y el paisaje donde se levanta, entre la vivienda y la familia que la sobrevive.

La propuesta de Wright: **la Arquitectura Orgánica**. Por orgánico hay que entender lo total, lo único, inseparable, entero e indiviso, lo integral. La integración entre el ornamento y la estructura, entre la casa y la naturaleza es el paradigma para cualquier obra inspirada en los principios de la arquitectura orgánica. Desde sus primeras obras hasta el Museo Guggenheim, el constructor norteamericano avanzó hacia el prototipo de la arquitectura orgánica e integral.

El espacio interior del Museo muestra un movimiento continuo utilizando una espiral de 800 metros que sube seis pisos. El incremento del diámetro de la espiral permite la entrada de luz en cada uno de los niveles.

El planteamiento de Wright se apoya en cuatro elementos fundamentales: la inspiración en la naturaleza, la influencia oriental, las reminiscencias de las construcciones de las culturas primigenias y la incorporación de la naturaleza viva en sus obras, principalmente en jardines, patios y terrazas.

Recuperó los principios de la arquitectura vernácula de las culturas primigenias; así, los contornos de sus casas se redondean con curvas, conformándose en ambientes desprovistos de ángulos rectos.

En 1894 dio comienzo a la serie de las llamadas Casas de Pradera, integradas en el paisaje, con tejados salientes, franjas de ventanas horizontales y diseño libre en torno a una chimenea central.

Para la empresa química S.C. Johnson & Son elaboró en Wisconsin un complejo administrativo, cerrado hacia afuera y por dentro con pilares de concreto en forma de hongo, así como una torre-laboratorio con cubierta de cristal. Los principios estructurales del hongo, le inspiraron para el diseño de las columnas de las oficinas administrativas.



Imagen 42. Museo Guggenheim, interior,

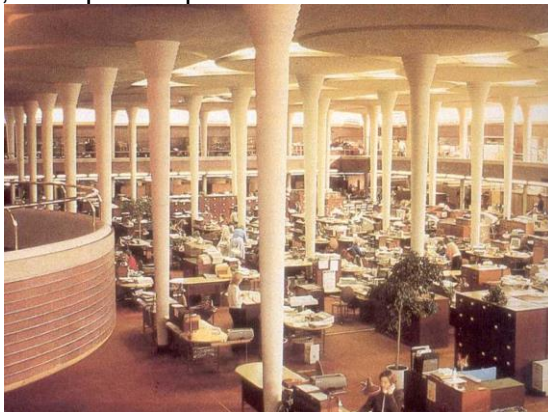


Imagen 43. Oficinas de Ceras Johnson, interior. Racine, Wisconsin. 1936-1939.

### 3.4.3.3. Paolo Soleri (1919 - 2013).

Nace el 21 de junio de 1919, en Turín, Italia. Después de recibir un doctorado por parte de la Universidad Politécnica de Turín, trabajó para Frank Lloyd Wright en Arizona (1947–1949). Durante este periodo, gana reconocimiento internacional por el diseño de un puente exhibido en el Museum of Modern Art.

En 1950 vuelve a Italia donde se le encarga la fábrica Ceramica Artistica Solimene. Se familiariza con los procesos de la industria de la cerámica, que le permitirán hacer sus famosos diseños windbells de cerámica y bronce, así como estructuras arquitectónicas. Se establece en Scottsdale, Arizona, en 1956, y crea la Cosanti Foundation, fundación educativa sin ánimo de lucro.

En 1959 comenzó a diseñar un plan para una serie de centros urbanos compactos que se extenderían verticalmente en un mismo espacio. Estas mega-estructuras fueron concebidas para ahorrar energía y recursos (parcialmente mediante la dependencia de energía solar y la eliminación del uso de automóvil dentro de la ciudad), preservar el entorno natural y condensar las actividades humanas en el interior de ámbitos unificados.

Soleri acuñó el término de *arcología* (de "arquitectura" y "ecología") para describir sus edificaciones utópicas. La palabra arcología se basa en que esta es una "hiperdensa ciudad diseñada para maximizar la interacción humana, maximizar el acceso para compartir los servicios costosos como son el agua y drenajes, minimizar el uso de energía, materiales sin refinar y tierra, reducir el desperdicio y contaminación ambiental, y permitir la interacción con el ambiente natural que le rodea".

En 1970 inició la construcción de una ciudad prototipo llamada Arcosanti para una población de 5,000 habitantes, proyectada a estar entre Phoenix y Flagstaff.

En 1996, el Ministerio de Construcción y Cultura de Japón, patrocinó una competencia para el diseño de un Hiper Edificio, una estructura capaz de alojar 100,000 personas y que permaneciera erigida por sobre los 1,000 años. Tres arquitectos fueron invitados a participar: Rem Koolhaas, Nobuaki Furuya, y Paolo Soleri. La intención de la competencia fue la de producir un edificio que retendría la expansión urbana, ser capaz de generar y reciclar sus recursos, y reducir el daño ambiental. Soleri propuso una estructura de 1 km. de altura, flanqueada por dos estructuras semicirculares o "exedras".

El Hiper Edificio es un diseño conceptual, el cual busca reducir el impacto urbano sobre la tierra mediante el equipamiento de una simple estructura con todos los elementos necesarios para la vida. Los habitantes viven, trabajan y juegan en la estructura mientras que el campo que le rodea es preservado para el disfrute, conservación, y agricultura, reduciendo así el uso de tierra en un 90% comparado con una megalópolis.

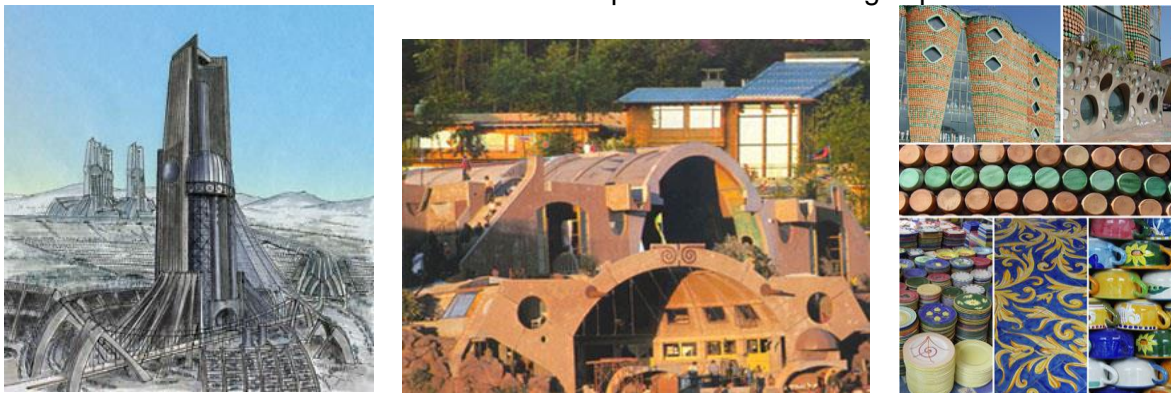


Imagen 44. Diferentes obras Arq. P.Soleri. (Hiper edificio, Arcosanti, Fabrica de cerámica)

### 3.4.3.4. Santiago Calatrava (1951 - ).

Ingeniero y arquitecto español que, en sus obras somete la utilidad de la ingeniería a una particular visión artística. Autor de una arquitectura acorde con las posibilidades tecnológicas, donde la estructura constituye un balance entre el criterio científico de eficiencia y las formas armónicas; Calatrava logra la fusión entre la escultura, la arquitectura y la ingeniería, evidenciando su formación en cada una de estas actividades.



Imagen 45. Velódromo olímpico, Atenas.

Las formas bellas y dinámicas de cada una de sus obras son el resultado de la expresividad formal de las fuerzas presentes en ellas, experimentos con las leyes básicas de la estática, donde la sección importa tanto como la planta.

La gramática de Calatrava es orgánica, no por copiar formas naturales, sino por que aplica a las soluciones estructurales adoptadas por la naturaleza. Él menciona: "trabajar con estructuras isostáticas conlleva a los esquemas de la naturaleza".

Característica de su obra es el magistral empleo de los materiales tradicionales:

acero, concreto, vidrio, madera, piedra, aluminio, etc., de tal manera que consigue de cada uno de ellos lo mejor de sus cualidades estructurales.

De entre sus obras arquitectónicas, destaca el proyecto para completar los transeptos norte y sur de la Catedral de St. John The Divine, en Nueva York, donde el programa incluía la introducción de un nuevo elemento: un refugio biológico que deberá integrar la arquitectura con la utilización de tecnologías solar y electrónica, para la producción de alimentos, purificación de agua y recirculación de desperdicios.

Calatrava concibió un proyecto innovador colocando el refugio ecológico debajo de la cubierta de acero y cristal, donde usando la imagen de un árbol como elemento base de la composición ofrece una nueva interpretación del sistema estructural del edificio y mantiene, al mismo tiempo, la forma arquetípica de la catedral.

En 1983 le fue adjudicada su primera obra de cierta importancia, la Estación de Ferrocarril de Stadelhofen, ciudad cercana a Zurich donde también había establecido su despacho. Al año siguiente diseñó el Puente de Bach de Roda en Barcelona que marcó el inicio de varios puentes que se le irían encargando.

En 1989 Calatrava abrió su segundo despacho en París, mientras estaba trabajando en el proyecto de la Estación de Ferrocarril del Aeropuerto de Lyon.



Imagen 46. Auditorio de Tenerife.

Su prestigio internacional fue rápidamente en aumento y hoy se considera a Calatrava como uno de los arquitectos especializados en grandes estructuras que se caracterizan por una extraordinaria estética y armonía. Calatrava convierte a las estructuras de los edificios en elementos esenciales y en obras de arte.

### 3.4.3.5. Javier Senosiain Aguilar (1948 - ).

Arquitecto mexicano, ha combinado la docencia con el ejercicio profesional y la investigación. Egresó con mención honorífica de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México en 1972. Desde entonces, imparte las cátedras de taller de diseño y teoría de la Arquitectura.

En la actividad profesional ha desarrollado proyectos y construcciones de edificios de oficinas, casas habitación, plantas industriales y turismo. Asimismo, se ha dedicado a la investigación y experimentación del espacio habitable del hombre.

La finalidad del hábitat orgánico se planteó con el objetivo siguiente: crear un espacio adaptado al hombre, de acuerdo a sus necesidades ambientales, físicas y psicológicas, partiendo de su origen en la naturaleza, así como de los antecedentes de su espacio.



Planta arquitectónica.



Vista exterior.

Imagen 47. Casa orgánica. Planta arquitectónica. Vista exterior.

La idea básica: lograr espacios adaptados al cuerpo humano, semejantes al claustro materno, a los refugios de los animales, al de los trogloditas, al iglú... Asimismo, se pretendió que en el interior los espacios cambiantes resultaran la envolvente de la organización de los espacios adaptados al hombre, envolventes que en el exterior generan volúmenes cambiantes “dunas” verdes que invitan al descanso y la meditación.

Desde un principio la idea fue hacer a un lado aquellos prejuicios sociales y académicos que se heredan respecto de la arquitectura, dejando la puerta abierta para elegir tanto materiales de construcción como tecnologías, para crear espacios continuos, amplios, integrales, liberadores de formas y luces cambiantes que siguieran el ritmo natural de los movimientos del hombre; espacios en donde el mobiliario integrado facilite la circulación y aproveche el área construida.

El ferrocemento, padre del concreto armado, surge como un material sumamente plástico que permite ser moldeado e incluso esculpido, casi como plastilina; se trata de un elemento que abre nuevos caminos en el diseño. Otro material moldeable, es el plástico y sus derivados, tal es el caso del poliuretano esreado.



Planta arquitectónica.



Vista interior (vital).

Imagen 48. Casa Flor. Planta arquitectónica. Vista interior (vital).

### 3.4.4. Lo Orgánico.

A principios del siglo XVIII comenzaron a usarse los términos organismo y organización para indicar la armoniosa combinación de partes. El término orgánico, que procede de la Biología, significa organización relacionada con los seres del reino animal y vegetal y, se aplicó por primera vez a la arquitectura en París, en el año de 1863.

Aunque hay algunas excepciones, la arquitectura orgánica se basa en la experiencia y también en la independencia de la geometría euclidiana. La palabra orgánica se refiere a la entidad y, quizás por ello sería mejor emplear la palabra integral o intrínseco; como se usó originalmente en arquitectura, orgánico significa la parte al todo y, el todo a la parte.

El todo no es la suma de las partes, sino la integración de cada una de las partes: metamorfosis que se funde para lograr la unidad deseada. El todo arquitectónico se concibe como un absoluto y cada parte se crea exactamente en un propio lugar. El biólogo y el filósofo saben bien que el todo no equivale a la suma de sus partes, sino que abarca mucho más que eso; se trata de conseguir una organización de piezas con una ordenación mutua, donde se relacionen unas con otras y no una simple acumulación. Aristóteles llama a este concepto “un solo e indivisible principio de unidad”, que no representa nada más un principio metafísico, sino una verdad biológica. El animal vivo es un todo integral e indivisible, en él no puede darse un cambio en una parte sin afectar otra no existen divisiones claras entre la cabeza y el cuerpo, la fibra y el hueso, etc.

En un edificio existe la **correlación de las partes**, es decir, que todos los elementos forman un solo sistema, en el que cada parte esta unida a las demás actuando y reaccionando sobre las otras, cuando la obra arquitectónica y su contexto integran una unidad: sitio, estructura, mobiliario, decoración, árboles, plantas, etc... todo se vuelve uno; esto es lo que la posteridad llamará arquitectura orgánica.

También existe la **subordinación de los caracteres**, es decir, que los órganos o elementos principales sirven como base para la integración del resto. En la arquitectura hay espacios que rigen la composición y otros que se complementan.

La arquitectura orgánica profundiza y se vuelve más funcional que la llamada racional. La diferencia es clara: una percibe obras que funcionen; la otra percibe obras con vida.

No se trata de copiar a la naturaleza, sin embargo, se pueden tomar en cuenta sus principios; así como se pueden sentir los esfuerzos que se dan en el empotre de una viga con la columna, también se puede introducir y comprender la configuración total del gótico y sus esfuerzos. De igual manera se aprende a sentir el interior de las formas creadas por la naturaleza. Sumergirse dentro del proceso de crecimiento orgánico en la arquitectura llega a dar como resultado formas plásticas que recuerdan a las de la naturaleza.

En la arquitectura orgánica se pretende encontrar una trilogía de aspectos integrales: lo funcional, implica el proceso y el modo de vida; lo constructivo, que abarca materiales y tecnología; y lo estético, donde radica la estructura ideo-emocional. Lo que se llama arquitectura mercancía solamente toma en cuenta los dos primeros aspectos, por lo que en este caso la sociedad desperdicia sus recursos para producir deshechos físicos y morales. En el caso contrario, cuando la estética es el único objetivo en una construcción aparece el llamado formalismo, deformación de la imagen arquitectónica.

La arquitectura orgánica es la manifestación artística que tiene una relación directa con la geografía y la historia del lugar donde se realiza. La arquitectura orgánica se caracteriza por tomar en cuenta el **entorno geográfico**, al **ser humano** y a su **identidad cultural**<sup>35</sup>.

---

<sup>35</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 162.



## CAPÍTULO IV. ARQUITECTURA BIÓNICA.

### 4.1. Teoría y Conceptos.

La Biónica es una ciencia moderna, interdisciplinaria, surgida a mediados del siglo XX y que está formada sobre la base de las ciencias naturales y de infinidad de ciencias ingeniero-técnicas. En esencia, sintetizados conocimientos acumulados en biología, radio-técnica, química, cibernética, física, psicología, biofísica, construcción, etc., que nacen del estudio de los sofisticados sistemas resistentes y vitales de los seres y formas de la naturaleza, analizados desde un punto de vista biotecnológico. El espíritu biónico puede resumirse en la máxima: “la Naturaleza lo hizo antes y lo hizo mejor”.

Es objeto de la Biónica el estudio de los principios estructurales y el funcionamiento de los organismos vivos con el fin de emplear estos conocimientos en el desarrollo de la técnica para lograr un perfeccionamiento radical de las maquinarias, instrumentos, mecanismos, construcciones, así como de procesos existentes y crear otros empleando nuevos principios. Se le puede llamar también “ciencia que trata de los sistemas que poseen algunas características comunes con los sistemas naturales o análogos a éstos”<sup>6</sup>.

A continuación, se da una definición de lo que es la Biónica:

**Biónica.** (palabra de origen griego bios-, vida, vitalidad; e -icos, unidad). Es la ciencia que estudia los órganos especializados de los seres vivos para aplicar los principios de su funcionamiento a la fabricación de aparatos y sistemas electrónicos. Así como la construcción de mecanismos cibernéticos artificiales inspirados en el funcionamiento de los procesos biológicos<sup>7</sup>.

#### 4.1.1. Antecedentes.

A mediados del siglo XX se desarrolló una rama científica en la que la biónica coopera con la arquitectura y la técnica de la construcción, se trata de la **Bioarquitectura**. Los arquitectos han comenzado a estudiar el “arte de la construcción” de la Naturaleza y se han iniciado investigaciones de las formas arquitectónicas maravillosamente calculadas por ella.

La Naturaleza da ejemplos en cada una de sus manifestaciones de cómo solucionar con éxito las más complicadas tareas arquitectónicas y de construcción. Frecuentemente los sistemas orgánicos de construcción, debido a su sencillez, solidez, por su belleza y elegancia, pueden servir de idea para la creación de los arquitectos y constructores. Como ejemplo esta el mundo de los radiolarios (orden de organismos semejantes a los protozoarios), representa una variedad de formas tan fabulosa que puede servir de modelo para la creación de decenas de miles de nuevas obras arquitectónicas.

En el mundo de las diatomeas se pueden observar construcciones en forma de rejilla “micro bloques” cupulares y figuras complicadas y fantásticas, así como gran cantidad de “sistemas de ingeniería”, que conjugan armoniosamente la belleza con la racionalidad, la solidez con la sencillez, la seguridad con la economía. El arquitecto P. Soleri proyectó un puente fluvial de una longitud superior a un kilómetro siguiendo la analogía de una hoja vegetal cerrada.

---

<sup>6</sup> LITTINETSKY, I.B. *Iniciación a la Biónica*. Barral editores. Barcelona, 1975. p. 25.

<sup>7</sup> Recuperado de <http://www.cuautitlan2.unam.mx/num4/2003>

Otro ejemplo, es el del inglés Sir Joseph Paxton quien en el siglo XIX para diseñar la cubierta del Crystal Palace en Hyde Park se basó en la forma de un nenúfar sudamericano, cuyas delicadas hojas de hasta dos metros de diámetro podían soportar 90kg. de peso gracias a un sistema de nervaduras que poseía el reverso de las hojas.

Uno de los mayores logros de la ingeniería, las altas chimeneas fabriles, son muy parecidas, por su estructura, al tallo del *Trichophyrum* (planta de la familia del carrizo). Ambas estructuras son huecas y tanto el tejido -estructura fundamental del tallo de la planta (esclerenquimia)- como el armazón longitudinal de la chimenea están situados en la periferia. El papel del armazón espiral situado en la parte exterior de la chimenea lo desempeña en el *Trichophyrum* un tejido muy delgado<sup>1</sup>.

Esto condicionó la considerable longitud vertical de la columna de la chimenea. La altura del tallo de esta planta está determinada por la necesidad permanente de energía solar por parte de ella. La chimenea y el *Trichophyrum* se hallan bajo la acción de los mismos factores: el viento, las tempestades, etc.

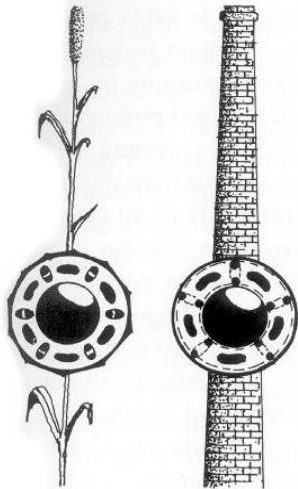


Imagen 49. Tallo trichophyrum y chimenea.

La similitud de las fuerzas mecánicas exteriores que actúan sobre ambos y la necesidad de una posición vertical condicionaron la similitud de las estructuras de las mismas. Así, las soluciones dadas por el hombre y por la Naturaleza resultaron idénticas.

Examinando el proceso evolutivo de las construcciones técnicas y de las creaciones de la naturaleza viva, los hombres de ciencia se convencen de que entre éstas existe mucho en común. Ambas crean basándose en unas mismas leyes: observan los principios de economía de material, al concebir los sistemas buscando soluciones óptimas para la estructura de los mismos<sup>2</sup>.

Los pioneros en el estudio de las formas naturales, fueron Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), Ernst Haeckel (1834-1919) y D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948). Goethe estudió las formas naturales y acuñó el término *morphologie*; aplicó también la idea de metamorfosis al arte y la arquitectura: la dinámica de la forma activa en todos los organismos vivos por medio de los cuales se puede rastrear una transformación cíclica y ordenada en la forma de todas las plantas, desde la semilla hasta el cáliz, el capullo y la fruta (para regresar de nuevo a la semilla).

El biólogo y zoólogo Ernst Haeckel estudió el radiolario (un plancton) y le cautivaron sus exquisitas formas geométricas y la complejidad de sus patrones; es más conocido por su obra *Art Forms in Nature*, magníficamente ilustrada con láminas del litógrafo Adolf Giltsh. Estas ilustraciones ejercieron un impacto inmediato en el Art Nouveau, así como en la obra de Hermann Obrist, August Endell y Louis Comfort Tiffany.

El arquitecto René Bidet no sólo escribió un libro sobre ornamentación basándose en las ilustraciones de Haeckel, sino que también proyectó la monumental puerta de entrada a la Exposición Mundial de París de 1900 como si fuera un inmenso radiolario. El propio Haeckel empleó las bellas formas de la medusa en la decoración del techo de su primera casa, la Villa Medusa.

<sup>1</sup> LITTINETSKY, I.B. *Iniciación a la Biónica*. Barral editores. Barcelona, 1975. p. 18.

<sup>2</sup> LITTINETSKY, I.B. *Iniciación a la Biónica*. Barral editores. Barcelona, 1975. p. 19.

El zoólogo D'Arcy Thompson también emprendió la definición y clasificación de las formas; estudió una sorprendente variedad de formas naturales, desde microscópicos radiolarios hasta el impacto de un guijarro en un estanque, pasando por conchas, alas de insecto, gotas de agua y copos de nieve. Publicó los resultados de ese trabajo en su obra *On Growth and Form*<sup>3</sup>.

**Richard Buckminster Fuller** (1895-1983) estudió en la Universidad de Harvard en Cambridge, Massachusetts. En 1927 diseñó una casa unifamiliar integrada por seis habitaciones triangulares dentro de una planta hexagonal; el peso total de esta vivienda prefabricada incluido el mobiliario era de 2,227 kilos, con un diámetro de 15m. y una altura de 12m., conocida más tarde como "4-D House". De 1932 a 1935 Fuller fue fundador y director de Dymaxion Corporation, en ese tiempo patentó su "Dymaxion Car", un automóvil aerodinámico sobre tres ruedas. Más tarde, Fuller se dedicó a investigar estructuras portantes, con las que grandes espacios podían cubrirse de forma rápida, económica y con la menor superficie posible. Desarrolló así sus cúpulas geodésicas, basadas en la multiplicidad regular de superficies. Su edificio más famoso fue la esfera del pabellón de Estados Unidos en la Exposición Universal de Montreal de 1967. Con ello, sus planes de cubrir barrios enteros con tales cúpulas apenas tenían posibilidades de llegar a realizarse. Las Tensile-Integrity Structures, patentadas por Fuller en 1962, fueron complementadas en 1973 por el diseño de una estructura portante asimétrica.

**Frei Otto** (1925) comenzó sus estudios de arquitectura en la Technische Hochschule de Berlín en 1947. Trabajó por su cuenta como arquitecto en Berlín, ocupándose en la investigación de construcciones ligeras. Con sus construcciones de lona tuvo oportunidad de probar sus nuevas formas arquitectónicas. En 1961 conoció al biólogo y antropólogo J.G. Helmcke, con el que fundó el grupo investigador Biología y Naturaleza dedicado a estudiar las variadas construcciones biomórficas de la diatomea. Otto inventó el techo movable y transportable, un entramado de cubiertas de lona, mástil hueco y construcción de cable de acero, que se podía plegar o extender según las condiciones climáticas. Hacer agradables la vivienda y el trabajo lo motivó a continuar en cierta línea de experimentación. En colaboración con el arquitecto Günter Behnisch realizó la cobertura del sector principal del estadio Olympia-park de Munich<sup>4</sup>.

**Metabolismo.** Movimiento que surgió en 1960 por un grupo de arquitectos japoneses integrado por Kenzo Tange, Kisho Kurokawa, Kiyoroni Kikutake, Koboru Kawazoe y Arata Isozaki, posteriormente se integrarían Masato Ohtaka y Fumiko Maki. La palabra metabolismo (del griego Μεταβολη, que no solo expresa cambio, sino también revolución, transformación cíclica) fue usada en sentido metafórico para indicar la meta a seguir. Al mismo tiempo, el término empleado debía dar a entender que no sólo son los arquitectos los que se deben ocupar en los problemas de la ciudad del futuro, sino también los sociólogos, críticos, biólogos, políticos, ingenieros y muchos otros grupos profesionales.

Otro de los criterios básicos de este grupo es que la actividad de los arquitectos debe dirigirse esencialmente a la ordenación urbanística y no a temas específicos, Urbanismo y arquitectura para ellos son equivalentes.

---

<sup>3</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna*. Ed. Blume. Barcelona, 2002. p. 48.

<sup>4</sup> GÖSSEL, Peter; LEUTHÄUSER, Gabriele. *Arquitectura del Siglo XX*. Ed. Taschen. Alemania, 1991. p. 412.

### 4.1.2. Formas del Futuro.

El cada vez mayor interés por los diseños de la naturaleza es fomentado por la ciencia moderna, la matemática y la ingeniería, que utilizan las nuevas tecnologías de modelado por computadora para retorcer, plegar y curvar formas que soporten los esfuerzos estructurales con una mayor elegancia. A medida que la ciencia se adentra en el mundo microscópico de la materia y descubre más sobre las notables estructuras de los seres vivos, la naturaleza continúa sorprendiéndonos y enseñándonos cómo se podría construir de un modo más inteligente, económico, sutil y ecológico.

Los patrones y las formas de la naturaleza, como lo fractal y la espiral, son producto de leyes internas de crecimiento y de la actuación de fuerzas externas tales como el sol, el viento y el agua. Los arquitectos aprenden a utilizar las formas naturales observando las estructuras vivas: los árboles, los huesos, las conchas, las alas, las telarañas, los ojos, los pétalos, las escamas y las criaturas microscópicas. Son éstas las verdaderas formas de vida y crecimiento que han sido claves en la inspiración de la arquitectura.

El estudio detallado de las formas naturales, el empleo de la geometría no lineal y el diseño por computadora, permiten explorar el mundo apasionante, aunque poco conocido, de la nueva arquitectura no lineal. En una época en que se considera a la naturaleza como una viva mezcla de orden y caos, de patrones y accidentes, de sencillez y complejidad, los creadores de edificios respondan con conceptos nuevos<sup>8</sup>.

En la naturaleza, los patrones y las formas son el producto de leyes internas de crecimiento, como la espiral y el fractal y, de fuerzas externas que actúan sobre ellas, como el sol, el viento y el agua. Una de las leyes naturales más poderosa y extendida es la serie de Fibonacci. Denominada así en honor a Leonardo Fibonacci, matemático italiano del Medioevo, consiste en la secuencia infinita de los números 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89 y siguientes, en la que cada número es la suma de los dos que lo preceden. Esta serie gobierna la filotaxis (la disposición de las hojas en el tallo) para que se obtenga una producción óptima de clorofila. También describe el patrón de crecimiento en espiral de seres tan diversos como la piña, el girasol, los zarcillos de las plantas trepadoras, los cuernos de los animales y numerosas conchas, siendo el nautilo el más citado. La serie de números ha dado origen a la sección áurea (o segmento áureo), la proporción 1:1168 u 8:13 y al rectángulo áureo, cuyos lados están en esa proporción. Los arquitectos clásicos y del renacimiento la utilizaron para crear proporciones armoniosas. Asimismo, los arcos proyectados con el radio de los cuadrados en rectángulos áureos progresivamente mayor dan lugar a una espiral logarítmica continua.

El círculo, que representa el camino del Sol, la Luna y las estrellas, así como el ciclo de la vida y la muerte, se ha utilizado desde los tiempos prehistóricos para los monolitos y túmulos de los lugares sagrados. Las cúpulas, los arcos y las bóvedas se empleaban en la arquitectura religiosa a causa de su capacidad de evocar lo sublime; incluso cuando se las usa en construcciones seculares, las curvas todavía retienen un poder emocional.

Pueden ser delicadas y graciosas como el cuello de un cisne o la curva sinuosa de la vida, que es muy frecuente en el diseño decorativo que utiliza motivos de plantas, o tensas y explosivas como una cuerda enrollada. Pueden ser también elegantes y aerodinámicas para responder a la energía y la fuerza del viento y el agua, o sensuales y eróticas sugiriendo la belleza de las formas vivas. Las curvas son muy resistentes y pueden alcanzar formas estructurales óptimas, como los arcos y los arzones parabólicos e hiperbólicos.

---

<sup>8</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna*. Ed. Blume. Barcelona, 2002. p. 62.

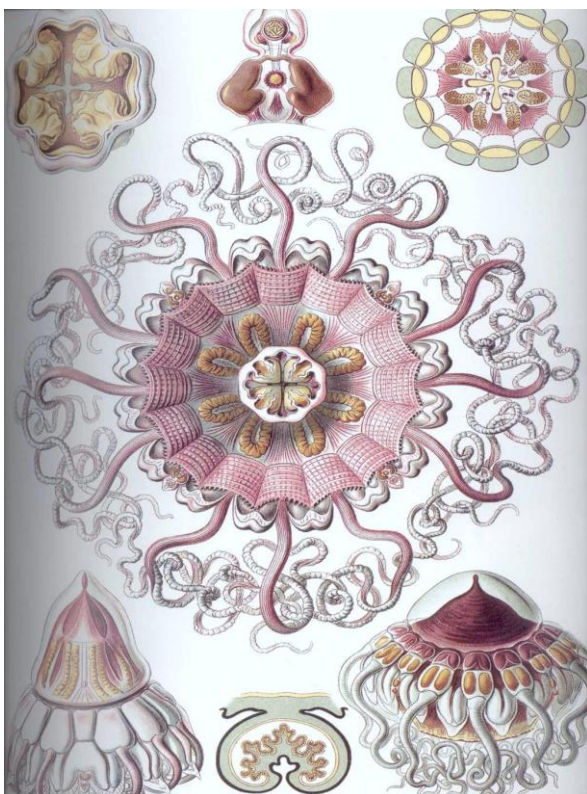


Imagen 50. Peromedusae, Art Forms in Nature. Ernst Haeckel.

La geometría fractal describe las formas y los ritmos naturales, como el de los copos de nieve, las hojas, las ramas de los árboles, las montañas, las olas y los litorales. El núcleo central de su concepto es la semejanza que guardan entre sí las diferentes escalas, desde las macroscópica hasta la microscópica. Si se analiza un sistema fractal, siempre se encontrará una serie de detalles semejante entre si pero no idénticos<sup>9</sup>.

Cuando se aplica a la arquitectura, el ritmo y la composición se transforman en detalles fractales semejantes entre si, de los que a menudo se habla como una “progresión de la textura”. Desde un punto de vista fractal, la arquitectura del movimiento moderno carece de esa progresión como también de armonía con su entorno. La geometría fractal abre posibilidades infinitas a los diseñadores que tienen interés en expresar los ritmos y los patrones aleatorios más complejos que se ocultan tras la naturaleza<sup>10</sup>.

#### 4.1.3. Postulados de la Ciencia Biónica.

Los postulados en los que se basa el estudio de la Biónica son los siguientes:

**Primero.** La Biología conocía hacía ya mucho tiempo, ininidad de mecanismos útiles existentes en la Naturaleza viva. No obstante, los conocimientos acumulados por ella, no podían ser materializados, convertidos en dispositivos técnicos reales, debido a que en esta ciencia predominaba el análisis y la descripción verbal, faltaban la teoría y práctica de la construcción de modelos lógicos.

**Segundo.** La Biología se ha desarrollado durante siglos sin enlace alguno con la técnica. No compuso para los ingenieros un “registro de patentes” de la Naturaleza donde se pudiese encontrar lo que se necesitaba para la creación de sistemas técnicos análogos.

**Tercero.** Al analizar las obras de los ingenieros, arquitectos y constructores que en tiempos pasados intentaron copiar a la Naturaleza, se puede constatar que muy pocos de ellos se dieron cuenta de que la naturaleza no solamente está “bellamente” construida, sino que también está idealmente “calculada” y que al crear en su proceso evolutivo cualquiera de sus obras, unió en un todo único la armonía de la belleza con la armonía de lo racional, dándoles la única forma justa que desde el punto de vista del ingeniero resulta ser la óptima. Las formas biológicas frecuentemente no pueden ser ni calculadas con los métodos técnicos y matemáticos actuales ni descifradas debido a su complejidad.

<sup>9</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna* . Ed. Blume. Barcelona, 2002. p. 68.

<sup>10</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna* . Ed. Blume. Barcelona, 2002. p. 69.

**Cuarto.** La Naturaleza no revela fácilmente los secretos de su creación. Los misterios de las estructuras originales de los organismos vivos, los procesos vitales que se suceden en los mismos, los principios de funcionamiento de infinitos y sutiles mecanismos, sólo se descubren tras laboriosas investigaciones con ayuda de métodos cuidadosamente elaborados, empleando la moderna técnica experimental: electrónica, química, biológica, etc., así como de muchos aparatos e instrumentos.

**Quinto.** Los sistemas vivos son considerablemente más diversos y complicados que las construcciones técnicas. Para llegar a conocer la “estructura” y principios de funcionamiento de un sistema biológico, así como su modelación y construcción mecánica es necesario que el investigador posea conocimientos universales<sup>21</sup>.

La Biónica procura trasladar a la técnica las mejores creaciones de la naturaleza, las estructuras y procesos más racionales y económicos que fueron cimentándose en los sistemas biológicos durante millones de años de desarrollo evolutivo.

La nueva ciencia de la Biónica (biología-electrónica) proporciona hoy los conocimientos necesarios para crear las maravillosas máquinas del mañana. La Biónica combina conocimientos nuevos y viejos sobre biología, electrónica, química, física y matemáticas. Se puede decir que este esfuerzo científico “encierra más promesas para el beneficio del ser humano que cualquier otra ciencia de nuestra civilización actual”<sup>23</sup>.

#### 4.1.4. La Arquitectura Biónica. Definición

La **arquitectura biónica** es un movimiento para el diseño y construcción de edificios que expresan trazos y líneas tomadas desde las formas naturales (como las biológicas). El movimiento comenzó a madurar a principios del siglo XXI, y desde las primeras investigaciones de diseños se hizo hincapié en la practicidad. La arquitectura biónica se considera a sí misma en oposición de los tradicionales trazados rectangulares, diseñando esquemas que usen formas curvas así como superficies reminiscentes de estructuras en biología y matemáticas fractales. Una de las tareas que abordaron por sí mismos los primeros pioneros del movimiento fue el desarrollo de justificaciones estéticas y económicas para su aproximación a la arquitectura<sup>11</sup>.

Se podría definir como una síntesis eco-filosófica de los principios comunes de la biología, la ingeniería y la arquitectura aplicada al desarrollo futuro del hábitat humano en armonía con el progreso y con la naturaleza. La filosofía biónica busca el espacio común con el ser humano, de las otras disciplinas científicas.

El objetivo primordial es encontrar paralelismos entre la lógica del crecimiento vital de las formas orgánicas y la lógica arquitectónica, estructural y tecnológica aplicable al diseño de los súper-rascacielos y de las megaciudades. Reflexionar sobre los procesos de crecimiento de la naturaleza abre un debate sobre los nuevos criterios de diseño que se podrían adoptar en la creación de espacios verticales, que necesitan fundamentalmente una manera diferente de ver, entender e interpretar la naturaleza y el problema de la construcción en altura<sup>12</sup>.

---

<sup>21</sup> LITTINETSKY, I.B. *Iniciación a la Biónica*. Barral editores. Barcelona, 1975. p. 22.

<sup>23</sup> Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos/cibernética>. 2005

<sup>11</sup> Recuperado de [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_bi](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_bi). 2009

<sup>12</sup> Recuperado de <http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES>. ¿Qué es Arquitectura Biónica?. 2000

Intenta desarrollar tecnología a base de imitar o versionar las soluciones que ha seleccionado la Naturaleza durante millones de años. Hasta ahora sus aplicaciones se habían centrado en la ortopedia avanzada y la robótica.

Los arquitectos Javier Pioz y María Rosa Cervera, radicados en Madrid, han utilizado la biónica para diseñar un edificio radicalmente distinto a cuantos han existido hasta la fecha. Se trata de una gigantesca estructura que, según sus autores puede superar el kilómetro de altura y proporcionar vivienda a 100.000 personas. En realidad, es una ciudad vertical, confortable y a escala humana. La ventaja principal es la concentración como en el rascacielos convencional, pero sin los agobios y secuelas de un entorno duro y artificial. El transporte de personas y materiales deja de ser el permanente problema que ya padecen muchas macrociudades, mejora el balance recursos-residuos y sobretodo se ocupa menos territorio natural que puede permanecer intacto para el disfrute general.

Varias son las inquietudes que están en la mente de arquitectos, urbanistas e ingenieros a la hora de enfrentarse a los problemas que plantean tanto el crecimiento urbanístico de las superpoblaciones como la construcción de edificios de gran altura<sup>13</sup>.

La arquitectura biónica se ocupa de las consideraciones sobre las formas y principios existentes en la naturaleza y en el medio ambiente. Bionismo (*Bionik* en alemán) tiene en su raíz las palabras *bios* y *technic*. Esta nueva disciplina apenas inicia su desarrollo. La belleza y la armonía de lo natural complementadas, logran aquí una fascinación en las formas y los principios de edificación<sup>14</sup>.

El bionismo es una definición estructurada en el ámbito de la técnica, es decir dentro de la investigación científica dedicada al estudio del funcionamiento de los órganos y de los organismos vivos, de los cuales importa profundizar en el análisis de sus propiedades particulares para fundamentar un modelo de desarrollo ecológico.

En el ámbito de la construcción, el bionismo es un terreno poco explorado, solamente algunos arquitectos, así como ingenieros constructores, se han ocupado de este aspecto. Henry Le Fel, uno de los primeros constructores biónicos, considera que el arribo al bionismo es un suceso creativo natural, en el que se hace hincapié en la utilización de las formas espirales de la naturaleza que permitan desarrollar una investigación biónica aplicable a la construcción de vivienda humana.

Una razón por la cual se pondero el desarrollo de este tipo de investigación científica, fue el descontento existente con el tratamiento del ángulo recto en los cantos constructivos y en la llamada construcción cubica (largo-ancho-alto). Un argumento para cuestionar dicha forma constructiva, es que se ha afectado el modo de habitar humano, reduciéndolo a una estancia bloqueada, penosa, sin uniformidad y monótona.

La construcción biónica se encuentra en lo que podría llamarse el primer nivel de la evolución de la investigación científica. El estudio para crear esta forma constructiva ha retomado el ámbito de los organismos naturales.

En el acto de libertad creativa del arquitecto esta presente la posibilidad de la integración de medidas y reglamentaciones biónicas, así como el adecuar las características de la naturaleza en formas constructivas dinámicas, armónicas y vitales.

Una tarea central de la construcción biónica, es la búsqueda sistemática de opciones nuevas que permitan modular en el papel las formas y principios constructivos, similares a los que prevalecen en la naturaleza y que perduran en el medio ambiente.

---

<sup>13</sup> Recuperado de <http://www.elmundo.es/opinion/eloycelaya>. 2001

<sup>14</sup> Recuperado de <http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES>. ¿Qué es Arquitectura Biónica?. 2000

## 4.2. Biomímesis aplicada a la Arquitectura.

### 4.2.1. Antecedentes.

El término Biomímesis surge a partir de los años 90 en ámbitos disciplinares como la robótica, donde se observaba, por ejemplo, la locomoción de los insectos para desarrollar robots que funcionaran correctamente.

La observación de la naturaleza por parte del ser humano está presente a lo largo de su historia. Los primeros ejemplos de carácter científico datan de la Edad Media con los estudios de Leonardo Da Vinci sobre sus máquinas voladoras que imitaban las alas de los pájaros o los numerosos ejemplos de las catedrales góticas con sus estructuras nervadas semejantes a los esqueletos de los animales. Por lo cual resulta difícil reconstruir una historia de dónde y cuándo ha surgido la idea de imitar a la naturaleza.

El desarrollo científico está estrechamente vinculado a los avances tecnológicos. Así como también la investigación en el campo de la biomímesis está relacionada con los actuales modelos matemáticos, de cuantificación y de modelación.

El mayor desarrollo de ésta área científica se encuentra a lo largo de todo el siglo XX. Por medio del proceso evolutivo, la naturaleza ha desarrollado mecanismos optimizados con un menor consumo de energía, seleccionando los mecanismos que funcionan en el contexto ambiental actual. Sus mecanismos siguen principios como el ahorro energético, la optimización de las formas, la adaptación al medio y la sostenibilidad. En general estos modelos no suelen ser directamente aplicables, pero si lo son las funciones y los procesos que se observan, considerando que las limitaciones y los objetivos son similares: funcionalidad, optimización y eficiencia.

A mediados del siglo XX se define otra área científica relacionada, la Biomecánica, cuyo principal promotor fue el ingeniero Yuan-Cheng Fung (China, 1919). Esta ciencia estudia la aplicación de las leyes de la mecánica a estructuras y órganos de los seres vivos, con particular atención al cuerpo humano. Se ocupa tanto de las fuerzas físicas externas que actúan sobre los cuerpos, como de la mecánica interna de los aspectos físicos de las articulaciones, de los huesos y de los tejidos del cuerpo<sup>23</sup>.

La Biomecánica está estrechamente ligada a la Biónica, que en la última década del siglo XX ha pasado a ser una rama científica autónoma, gracias a la mejora en la potencia de las computadoras y del avance tecnológico. La Biónica se ocupa de la aplicación de soluciones biológicas a la tecnología moderna, aunque se acostumbra ver su aplicación a un contexto médico, como implementación en prótesis humanas. Su campo se extiende a sistemas de ingeniería y arquitectura tratando la relación forma/función y entrando en el área morfológica funcional, definiéndola en el campo de la construcción como: biomórfica.

Los orígenes modernos de la biomímesis se le atribuyen al ingeniero Richard Buckminster Fuller. Entre sus trabajos están: el estudio de estructuras tensigrity, sistema que se encuentra también en las células del cuerpo humano, sus estudios de mecano-biología del Hospital de Boston y la Universidad de Harvard.

---

<sup>23</sup> Tesis Maestría. Título: "Arquitectura y Biomimesis". Autor: Ludovica Rossi. Barcelona, España. 2009.

<sup>24</sup> Artículo: "Biomimesis en Arquitectura e Ingeniería Estructural". Autor: Leonardo Moreno De Luca. 2012



### 4.2.2. Biomímesis. Definición.

La Biomímesis (de bio, “vida”, y mimesis, “imitar”), también conocida como **biomimética** o **biomimetismo**, es la ciencia que estudia los modelos de la naturaleza para imitar o inspirarse en los diseños y procesos biológicos para resolver problemas de escala humana. Es el término más utilizado para hacer referencia al proceso de entender y aplicar a problemas humanos soluciones procedentes de la naturaleza, en forma de principios biológicos y de biomateriales.

La Biomímesis es el estudio, entendimiento, replicación y adaptación de los principios, métodos y sistemas naturales aplicables a diseños de escala humana, como en las áreas de la Ingeniería, la Arquitectura y la Tecnología. Esta ciencia pretende hacer que los diseños realizados sean más eficientes, óptimos y ambientalmente compatibles con el mundo natural actual.

La naturaleza, le lleva al ser humano millones de años de ventaja en cualquier campo y ha dado origen a lo largo de años de evolución a estructuras de diseño óptimo que se pueden imitar para propósitos de la humanidad. La biomímesis estudia los modelos de la naturaleza e imita o se inspira en sus diseños y procesos para resolver los problemas del hombre, consiste en aprender a diseñar tecnologías sostenibles adaptando estructuras desarrolladas por la naturaleza. Es una nueva forma de ver y valorar la naturaleza, que introduce una visión basada en lo que se puede aprender del medio natural.

Janine M. Benyus, escritora estadounidense, pionera en el estudio de ésta ciencia plantea tres grandes enfoques en los cuales se puede desarrollar la biomímesis al momento de crear nuevos diseños e ideas que pretendan solucionar algunas necesidades o problemas humanos. El primero es “La naturaleza como modelo”, donde se expone a la biomímesis como una ciencia que estudia los modelos naturales para después imitarlos, o utilizarlos como inspiración. El segundo es “La naturaleza como medida”, aquí se presenta la utilización de un estándar ecológico, por parte de la biomímesis, para juzgar lo que sería correcto, o no, de las innovaciones elaboradas, la naturaleza ha aprendido, lo que funciona, lo que es apropiado y lo que perdura. Por último, el tercer enfoque es “La naturaleza como mentor”, aquí se toma a la biomímesis como una nueva manera de ver y valorar a la naturaleza, introduciendo una era basada en lo que se puede aprender del mundo natural, no en lo que se puede extraer de él.

De esta manera, la biomímesis es aplicable a todo tipo de diseños, desde biólogos, científicos, diseñadores, ingenieros, etc., se inspiran en la naturaleza para generar nuevas e innovadoras soluciones.

La biomímesis consiste en transpolar métodos y sistemas naturales a problemas de la arquitectura, la ingeniería y la tecnología, creando soluciones que el ser humano no está en condiciones de desarrollar por sí mismo sin ayuda de la naturaleza.

Esta ciencia tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de la humanidad, se basa en la sostenibilidad, mediante el fundamento de que la naturaleza es el único modelo que perdura por millones de años. Otro fin importante es el compromiso ecológico que conlleva la biomímesis, de modo que la solución a los problemas ecológicos se encuentra en la optimización de la naturaleza. Esto implicaría que los sistemas sociales y económicos, al imitar las soluciones dadas por la naturaleza, estén subordinados al entorno y no al contrario.

### 4.2.3. El estudio Biomimético.

Para los científicos y para las diferentes profesiones que buscan aplicar los modelos de la naturaleza al diseño, como los ingenieros, arquitectos, diseñadores, existen tres niveles de aproximación al estudio biomimético, los cuales son:

Primer Nivel

Abstracción formal de la naturaleza. Aplicada a envolventes, texturas, proporciones, patrones, etc.

Segundo Nivel

Análisis y funcionamiento de un ser vivo. Aplicada a estructuras, mecanismos, tránsito de fluidos, conservación del calor, entre otros.

Tercer Nivel

Estudio a nivel micro celular del funcionamiento de las partes que integran a un ser vivo. Aplicada para generar aportaciones tecnológicas relevantes.

La Biomimesis estudia la naturaleza desde diferentes puntos de vista, los cuales son:

1. Considerando los cinco reinos que la componen, sus características y las leyes que rigen su comportamiento en general.
2. Observando y analizando los procesos biológicos que generan el nacimiento, crecimiento y permanencia de las especies.
3. Analizando los fenómenos que acontecen en distintas especies para su protección y mantenimiento.
4. Estudiando las leyes armónicas de organización, distribución, crecimiento, etc.

La Biomimesis es aplicable en muchos campos distintos y para el estudio de la naturaleza se realiza su análisis desde tres aspectos fundamentales: las **formas**, los **procesos** y las **estructuras**.

Forma

Se estudian las formas naturales en tanto se presentan como condicionantes de la solución de determinados problemas. El campo formal se estudia como el análisis de diferentes formas geométricas que adopta la naturaleza. En esta sección se incluyen tres componentes: los **patrones**, la relación **forma-función** y las **texturas**.

Procesos

A través del desarrollo y evolución de los organismos naturales, la naturaleza ha creado una cantidad innumerable de procesos totalmente eficientes y, por supuesto, sostenibles. Estos procesos tienen, entre sus principios básicos, el uso de los recursos inmediatos disponibles, el uso y transformación de energía de manera eficiente, la producción por medio de sistemas cerrados, la construcción por medio de auto-ensamblaje y, el uso de la mínima energía posible, entre otros.

Estructura

El diseño estructural es un campo muy promisorio para el desarrollo de investigaciones de aplicación de principios biomiméticos. Esto debido a los innumerables ejemplos de estructuras naturales totalmente eficientes, adaptables y con excelente comportamiento estructural, tanto para cargas dinámicas como para cargas estáticas.

La manera en cómo se construyen las estructuras en la naturaleza, resulta ser muy interesante, la eficiencia de estas estructuras se da por su proceso constructivo donde, por lo general, siempre se construye monolíticamente, en una sola pieza, muy diferente a los procesos constructivos que llevan a cabo los ingenieros y arquitectos.

Las aplicaciones de principios biomiméticos en el diseño estructural, se dividen en cuatro grandes grupos: **rigidez**, **flexibilidad y adaptación**, **optimización** y **jerarquía**.

#### 4.2.4. Arquitectura y Biomímesis.

Arquitectura y naturaleza se han acompañado a lo largo de la historia. No obstante, hoy la **arquitectura biomimética** va mucho más allá de la mera imitación del diseño de la naturaleza y transpone los procesos naturales en busca de que las instalaciones de los edificios funcionen a su semejanza, promoviendo entornos sostenibles y naturales.

La Arquitectura Biomimética nos acerca a un diseño más natural, tomando en cuenta las estrategias y soluciones que utiliza la naturaleza, aplicándolas en varios aspectos, creando diseños más naturales, ahorrando y haciendo más eficientes los recursos.

Nuevas proyecciones ecológico–ambientales que están dando un salto definitivo en nuestro acercamiento a la naturaleza: dejar de inspirarse meramente en ella (como lo han hecho, con maestría, Antonio Gaudí, o Santiago Calatrava) para operar una “biomímesis” que convierta a las construcciones naturales, en auténticos seres vivos habitables. Pasar de “vivir en la naturaleza” (Frank Lloyd Wright) a crear nuestros hogares “con la naturaleza”, que tienen un cambio de paradigma en la construcción de vivienda.

En ellas, el proyectista ya no sólo debe pensar en la forma final, sino en un proceso continuo, que además es de naturaleza “biológica”.

La Biónica, que es el estudio de las formas y sistemas vegetales y animales para crear formas y sistemas artificiales. Esta ciencia consiste en observar, por ejemplo, el comportamiento de un perro y construir un artefacto que se mueva, ladre y comporte como la mascota real. Pero esto no dejará de ser una construcción artificial.

Los arquitectos actuales suelen utilizar la computadora para dibujar mejor y más rápido sus proyectos, disponen de potentes aplicaciones para calcular la resistencia de los materiales, y de plotters 3D para obtener las proyecciones finales y las maquetas<sup>25</sup>.

La aplicación de la biomímesis a la arquitectura, es estudiada desde tres campos específicos:

**A. Estudio de un caso de biomimesis.** Se logra con esto comprender cómo el análisis del principio biológico es aplicado en una solución técnica o en un producto tecnológico vinculado a la arquitectura.

**B. Aplicación de una solución de la naturaleza.** Esto permite comprender la descripción de una característica propia de la naturaleza, y el modo en que se puede aplicar técnicamente buscando la posibilidad de su utilización en diferentes objetos. Esto nos llevaría a una gran diversidad de opciones en su aplicación.

**C. Solución de un problema técnico.** De este modo la resolución de un problema técnico se extrapola a productos distintos entre sí. Muchos objetos cotidianos con una característica común están condicionados por las soluciones técnicas existentes, siendo necesario encontrar soluciones más innovadoras.

En cuanto a la Arquitectura y la Ingeniería Civil, las soluciones biomiméticas que se han llevado a cabo generaron proyectos muy interesantes desde el punto de vista de la sostenibilidad, de la solución estructural, funcional, estética y tecnológica, que han producido proyectos integrales que sirven como catálogo de múltiples soluciones que pueden emplearse en nuevos proyectos.

La **arquitectura biomimética** brinda un diseño más natural, con estrategias y soluciones propias de la naturaleza, aplicables en varios aspectos, en busca de eficiencia y ahorro de recursos. Las formas naturales han demostrado que funcionan mucho mejor que las tecnologías más innovadoras que existen en la actualidad, ya que requieren menos energía y producen menos residuos.

---

<sup>25</sup> Recuperado de [http://www.tendencias.cientificas.com/vivienda\\_futuro](http://www.tendencias.cientificas.com/vivienda_futuro). 2004

### 4.2.5. Ejemplos de Arquitectura y Biomímesis.

Existe una amplia variedad de ejemplos naturales tomados en referencia correspondiente a una multiplicidad de interpretaciones y puntos de partida. Es posible encontrar soluciones que aplican principios y conceptos presentes en la naturaleza como la optimización del material o de la energía producida y/o consumida. En paralelo hay ejemplos que reproducen los mecanismos propios de la naturaleza como las leyes y modos de agregación de las células tanto en una visión estática como dinámica de los seres vivos.

Por otro lado, se observan ejemplos experimentales desarrollados por medio de modelos virtuales de representación. Estos, resultan alejados de la materialidad de la construcción real. Igualmente, el uso de programas y de instrumentos informáticos ofrece un diferente proceso de análisis e investigación de la naturaleza sumamente interesante. Además, el desarrollo de los prototipos y los modelos virtuales están estrechamente relacionados entre sí por el uso de computadoras y programas de representación virtual.

Dada la gran variedad de ejemplos que tienen una connotación en el campo de la biomímesis aplicada a la arquitectura, se clasifican según las siguientes analogías:

1. En relación al sistema estructural en la optimización del comportamiento para cubrir grandes claros, reducir el uso de material, etc., por ejemplo. En un contexto donde la analogía entre estructura y sistema natural aparenta tener una relación privilegiada debido a un largo recorrido histórico.
2. En relación al ahorro energético que se analiza respecto a la producción de energía y a la reducción del gasto energético. En este último caso se involucra tanto la reducción del consumo eléctrico como en términos más generales una mirada hacia la reutilización o reciclaje de material como comportamiento sostenible propio de los seres vivos.
3. En relación a una visión dinámica que responde a cambios de necesidades que varían en un determinado plazo de tiempo, a los tiempos de uso y transporte del objeto arquitectónico.

Un concepto que se entrelaza entre los ejemplos es el de “multifuncionalidad”. Tanto en la arquitectura como en la naturaleza hay elementos que sirven para responder a más de una necesidad o función.

#### 4.2.5.1. Pabellón de Investigación ICD Stuttgart, Alemania.

La naturaleza hace un uso notablemente económico de los materiales, en la mayoría de las ocasiones mediante formas desarrolladas. A través de pliegues, costillas, bóvedas, los organismos han sido capaces de crear formas que demuestran una eficiencia sorprendente. La arquitectura trata de buscar el mismo principio de eficiencia: menos material, más diseño.

Los esqueletos y exoesqueletos forman parte del sistema biológico, que proporciona el soporte interior, en el primer caso y exterior en el segundo, de todos los organismos.

El exoesqueleto de los artrópodos ha sido una fuente de inspiración e investigación para ingenieros y arquitectos, debido a la eficiencia y el potencial expresivo de la curvatura de su caparazón.

Una de las principales características de los artrópodos es la presencia de un exoesqueleto de quitina (polisacárido constituido por unidades de glucosa y nitrógeno, propio de la pared celular de muchos hongos y característico de los artrópodos) o cutícula que cubre externamente el cuerpo del animal. Este esqueleto se divide en segmentos,

cuya articulación permite el movimiento. Además, estos segmentos están formados por unas fibras, que se alternan en su dirección, una cualidad similar a la que se encuentra en algunos materiales constructivos, como en la madera. Esta característica lo convierte en un material con excelentes propiedades en cuanto a solidez y con una gran resistencia a la fractura.

El **pabellón de investigación ICD**, realizado por la Universidad de Stuttgart (2012), está basado en la comprensión del exoesqueleto de los artrópodos, en específico la estructura de la langosta, trasladando este estudio a una forma arquitectónica. Esta investigación permitió constatar que las fibras del exoesqueleto, compuestas fundamentalmente de quitina, estaban dispuestas en sentidos y densidades diferentes.

Basándose en éste análisis, el siguiente paso consistió en emular las prestaciones de las hebras de quitina y proteína, mediante hilos de fibra de carbono y de vidrio. Las fibras se entrelazan formando una estructura, cuya geometría se pudo calcular a través de simulaciones digitales. Para construirla, se ideó y fabricó un robot de dos brazos pluri-articulados con marcos de acero en sus extremos, empleados como bastidores, sobre los cuales el robot fue capaz de tejer la fibra de vidrio hasta formar un hiperboloide hiperbólico. El resultado es un pabellón autoportante, construido a partir de tecnologías digitales y materiales innovadores.

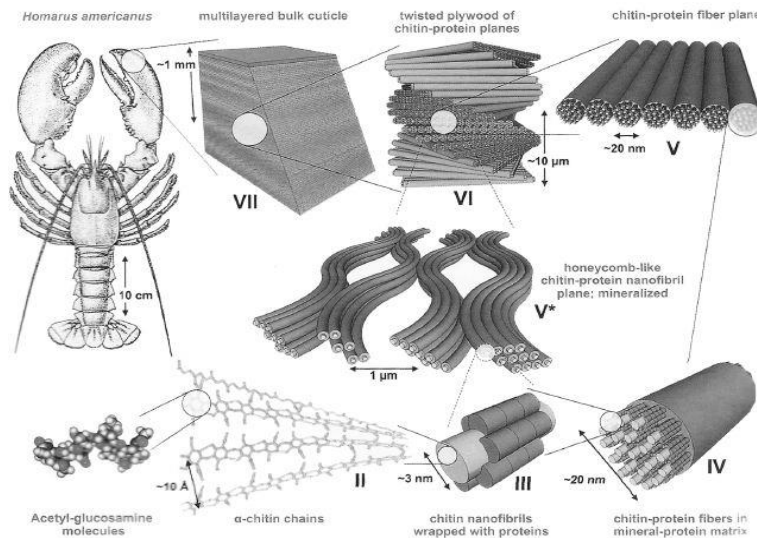


Imagen 51. Exoesqueleto de los artrópodos mostrando la estructura interna, formada por fibras de quitina.

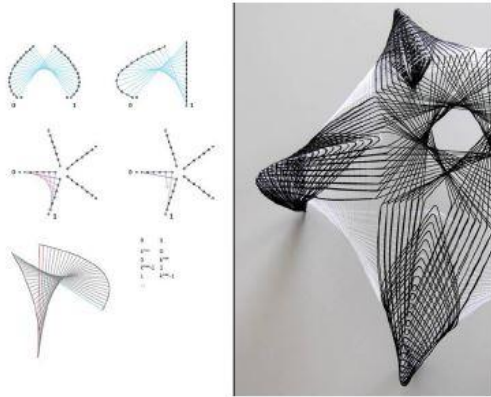


Imagen 52. Proceso de ejecución del hiperboloide hiperbólico.

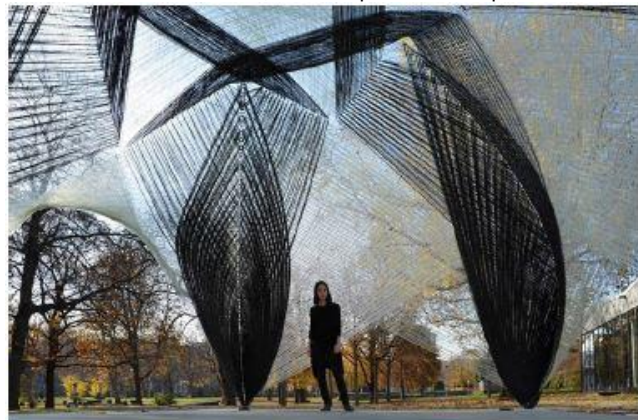


Imagen 53. Pabellón ICD, Universidad de Stuttgart (2012)

#### 4.2.5.2. Edificio Eastgate Harare, Zimbabue (Africa).

Este edificio imita los principios básicos de termorregulación de una especie de termita africana. Las termitas necesitan una temperatura casi constante, alrededor de los 30°C para asegurar su supervivencia. Mientras que la temperatura exterior sufre grandes variaciones, los termiteros son capaces de mantener la temperatura interior con una oscilación del orden de 1°C entre el día y la noche. Esto lo logran a través de la realización de pequeñas aberturas en la parte inferior de los termiteros, donde el ambiente es más húmedo. Estas aberturas captan el aire más fresco, disminuyendo la temperatura a medida que circula por las galerías. La presión de vapor, la temperatura del aire y la del agua intentan igualarse, manteniendo el interior a una temperatura constante.

El proyecto fue realizado por el arquitecto Mick Pearce (Zimbabue, 1938), quien se inspiró en los termiteros que construyen dichos insectos, siendo su interés principal la dosificación de energía calórica (producida en su interior) que estas estructuras realizan, con el fin de mantener una temperatura óptima tanto de día como de noche.

Este edificio de oficinas mantiene unas condiciones estables de temperatura durante el año, sin emplear sistemas de refrigeración o de regulación como aire acondicionado o calefacción.

El edificio, al igual que el termitero, se orienta en el eje norte-sur (eje de los vientos predominantes). Su morfología es similar a la de una chimenea, extrae el aire caliente (menos pesado) y renueva el aire que se encuentra en el interior por medio de corrientes más frescas (aire más pesado) presentes en la parte inferior.

El proyecto integra y capta el aire nocturno de menor temperatura y lo introduce a través de ventiladores de admisión hacia un espacio situado entre la primera y segunda planta. Este aire frío circula a las demás plantas por medio de unos conductos.

De esta manera se crea una red de conductos que actúan como un sistema de refrigeración, evitando la instalación, o por lo menos reduciendo las horas diarias de funcionamiento, de equipos de acondicionamiento de aire. Como resultado, el edificio consume el 7% de la energía que utilizaría un edificio de oficinas tradicional.

La temperatura interior se mantiene en un rango entre 21°C y 25°C, mientras que en el exterior se alcanzan temperaturas de 31°C durante el día y 5°C durante la noche.

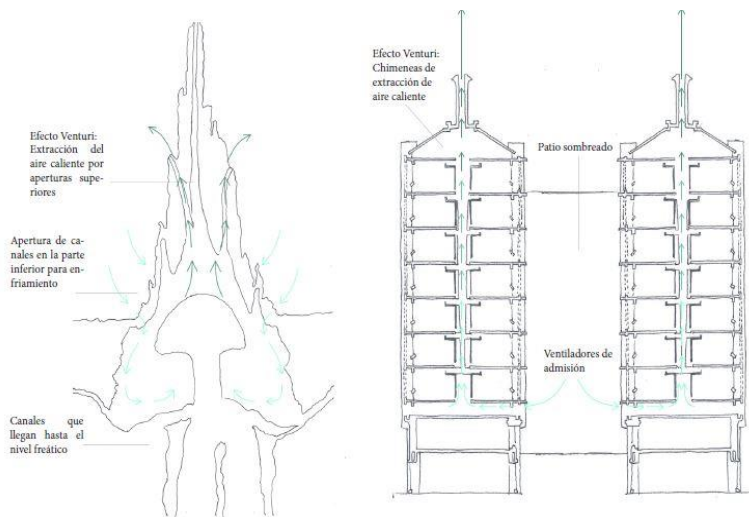


Imagen 54. Proceso de refrigeración en el termitero y sistema de ventilación en el proyecto "Eastgate"

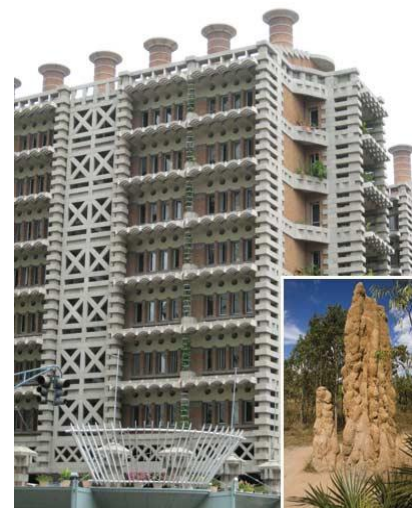


Imagen 55. Edificio "Eastgate", Harare Zimbabue

#### 4.2.5.3. Torre Qatar Sprouts, Qatar Península Árábica.

La Torre Qatar Sprouts se proyectó para brindar nuevas oficinas al ministerio de Asuntos Municipales y Agrícolas en Qatar. Los arquitectos de la empresa Aesthetics Architectural GO Group (Bangkok, Tailandia), son los diseñadores de este edificio. El diseño consiste en un cuerpo volumétrico, que de forma conceptual parece un cactus.

La estructura del edificio es muy simple, cuenta con un núcleo central que actúa como un tubo de ventilación, a través del cual se produce el “efecto chimenea” que permite despedir el aire caliente acumulado durante el día. La vegetación se ubica alrededor de este núcleo central. La envolvente de la torre está constituida por persianas inteligentes que cubren toda la superficie exterior. Estas persianas están accionadas mecánicamente y se abren y cierran de manera automática, según reciban mensajes de sensores de luz y temperatura, manteniendo en el interior del edificio un nivel confortable de temperatura.

En el diseño de la Torre Qatar Sprouts, se tomó como referencia el comportamiento de un cactus que crece en los terrenos desérticos de Qatar, reemplazando los sistemas de refrigeración de alto consumo eléctrico mediante el uso de la biomimética, un proceso biológico de adaptación a las condiciones climáticas propio del cactus.

La biomimética empleada en el edificio consiste en imitar funcionalmente los estomas del cactus -sus poros-, que la planta emplea para mantener la transpiración, haciendo frente de esta forma al clima caliente y árido del desierto.

En primer lugar, se realizó un análisis del sistema orgánico del cactus para entender de qué manera se produce este proceso biomimético, donde intervienen una serie de interconexiones nerviosas que accionan y reaccionan entre sí, impulsados por las condiciones climáticas del desierto, operando interiormente de modo que en determinado momento los estomas se abren para dar paso al aire frío de la noche, y en otro momento se cierran para evitar ese paso, cuando ya el aire se ha calentado durante el día. De este modo, la planta logra mantener la transpiración abriendo sus estomas por la noche cuando la temperatura es menor.

El edificio posee un sistema de persianas inteligentes -parasoles articulados-, que se abren y cierran dependiendo de la temperatura externa, de manera de tener un control mucho más inmediato de la temperatura en los espacios interiores, para lo cual la tecnología moderna brinda la solución a este problema aportando sensores termodinámicos que reaccionan bajo la acción de la temperatura ambiente.



Imagen 56. Torre Qatar Sprouts. Diferentes vistas



Imagen 57. Cactus desierto de Qatar

### 4.3. Principales Exponentes de la Arquitectura Biónica.

#### 4.3.1. Eugene Tsui.

El Dr. Eugene Tsui ha estudiado las profundas e interdisciplinarias obras de la naturaleza, como la base de la arquitectura hecha por el hombre. Tsui acuñó la expresión “**arquitectura evolutiva**”, que se refiere al desarrollo de nuevas estructuras, materiales y procesos de construcción, relaciones ecológicas y conceptos estéticos basados en el desarrollo evolutivo de la naturaleza a lo largo de cinco mil millones de años y ha aplicado estas lecciones a los entornos hechos por el hombre.

La arquitectura es la encarnación perdurable y eterna del legado de la dignidad humana. Es la expresión física significativa de lo más hondo y lo más elevado de las aspiraciones de la vida humana. Sin embargo, a lo largo del tiempo, por lo general ha dejado en un segundo plano la unidad benévola de la naturaleza a favor de su explotación y aprovechamiento. La destrucción del planeta ilustra una enfermedad, cuya única cura estriba en la comprensión de una verdad sencilla y universal, que a menudo se olvida: sólo es posible vivir de forma sana y completa en la presencia de la generosidad e inteligencia de la naturaleza.

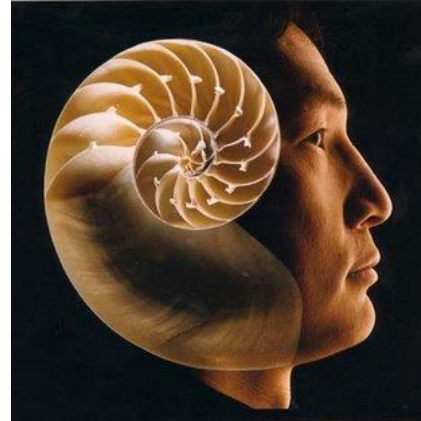


Imagen 58. Eugene Tsui. Pensamiento orgánico-biónico

Para crear una arquitectura con significado y belleza es necesario volver a la fuente: la naturaleza. Debería hacerse uso de los materiales y la innovación que el mundo natural proporciona y emplearlos adecuadamente, sin limitarse a imitar las formas del pasado.

Los medios por los que se lleva adelante el conocimiento y la comprensión de la humanidad está ligada a la investigación directa y profunda sobre el modo de trabajar de la naturaleza. Todo descubrimiento y todo avance tecnológico se gobierna por una idea, una intuición o una posibilidad de que algún fenómeno natural revele sus secretos. La naturaleza es la única presencia física, continua y persistente de Dios o de una inteligencia universal que no llegaremos a conocer jamás. Aquello que se hace a la naturaleza nos lo hacemos a nosotros mismos, puesto que somos parte de ella<sup>28</sup>.

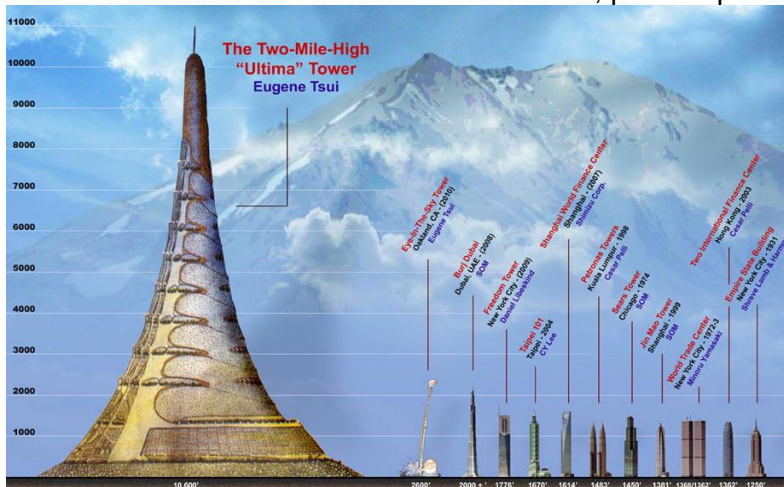


Imagen 59. Proyecto Torre “Ultima”.

<sup>28</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna*. Ed. Blume. Barcelona, 2002. p. 184.



La naturaleza, en su abundante belleza, inteligencia y misterio, es una fuente necesaria de vida; es la fuerza viva que subyace, como lo ha hecho siempre, en el núcleo de todas las ideas, ingenio y salud humana. Lo que ahora es de vital importancia es la aplicación sensata e imaginativa de los principios de actuación de la naturaleza como modo de vida. La arquitectura es un instrumento, si se aplican los principios naturales subyacentes como base para proyectar entornos de trabajo y de vida para el hombre, es posible sentir en uno mismo la fuerza y la belleza de la sabiduría que encarna el diseño de la naturaleza.

Si se observa el paisaje que nos rodea, hecho por el hombre, es posible tomar conciencia del entorno aburrido, incoloro, rígido e impersonal que se ha creado a lo largo de la historia. La arquitectura acostumbra a ser un ejemplo de la conveniencia sin cuestionamientos y de la diseminada repetición de imágenes comunes a la tradición. La arquitectura está demasiado preocupada por las costumbres y por ser aceptada, sin tener en consideración tanto la naturaleza como la dignidad humana. Pero si se mira el mundo natural y se utiliza la naturaleza como la base para el diseño, es posible crear una arquitectura nueva y revolucionaria.

El motivo del pez es recurrente en la arquitectura de Tsui, tanto en la edificada como en la dibujada. **La casa Ojo del Sol**, en Berkeley, California proyectada para los padres del arquitecto, tiene estructuras en forma de aletas, que dispersan la lluvia. Esta forma continua curvilínea permite que las superficies exteriores expulsen bien el agua, de manera que la casa no necesita aleros u otros elementos tradicionales para la lluvia. La planta ovalada facilita que la casa resista bien las ondas expansivas de los terremotos y la construcción con Styrofoam y concreto es a prueba de termitas. La cubierta rizada permite un máximo de insolación, con el fin de calentar el interior y la casa es resistente al fuego por medio de su textura áspera y su forma redonda.

Todo el diseño del edificio alude a los organismos vivientes y a su capacidad de responder activamente a la variedad e imprevisión de las fuerzas naturales del lugar. Un ejemplo destacable es el de los tubos de aire solar –que cubren gran parte del nivel superior de la casa-, colocados para corresponder con los rayos solares. Este sistema de calentamiento se inspira en el estudio de los huesos y las estructuras capilares de dos especies de dinosaurios.

El ejercicio evolutivo de la naturaleza es la presencia que recorre todo el edificio, forma emergente y compleja que, en su engañosa imagen futurista, no pretende sino aproximarnos al origen; al momento originario en el que Tsui encuentra, por ahora, todas las respuestas a los enigmas que la arquitectura plantea<sup>29</sup>.



Imagen 60. Casa Ojo del Sol. Diferentes vistas.

<sup>29</sup> Arquitectura Sísmica. Ed. Gustavo Gili. Barcelona. 2000. p. 106

### 4.3.2. Nicholas Grimshaw.

Arquitecto británico, nacido en Hove el 9 de octubre de 1939. Después de estudiar arquitectura en el Edimburgh College of Art y en la Architectural Association de Londres, Grimshaw fundó su propia empresa en 1965. Ha proyectado varios edificios industriales destacados y sus obras han recibido más de setenta premios de arquitectura. Fue galardonado con el CBE (Comandante del Imperio Británico) en 1993.

El proyecto Edén (1998-2001) es un gigantesco centro botánico que está localizado en Cornwall, en un valle que había sido una cantera de donde se extraía el caolín, un material precioso para fabricar papel y porcelana. Esta es la región más cálida de Gran Bretaña, por lo que ubicar este centro en esta zona permite un ahorro de energía.

Los biomas de Edén son una serie conectada de cúpulas de hasta 60m. de altura, construidas con células hexagonales cuyas diagonales alcanzan los 9m. Estas cápsulas transparentes, de clima controlado contienen plantas procedentes de dos regiones climáticas; el objetivo del proyecto es explorar las relaciones entre las plantas y los seres humanos, a través de la ciencia.

La cubierta es una estructura geodésica formada por “almohadones” de lóbulos hexagonales y transparentes, inflados con aire y encajados en un armazón de acero galvanizado. Esta estructura sofisticada establece un contraste fascinante con los primeros invernaderos de Paxton, como el Great Stove e incluso, el Crystal Palace, el cual, a pesar de su técnica de construcción muy avanzada, es un sencillo recinto de vidrio.

El sistema de revestimiento consiste en celdas almohadilladas infladas con aire, compuestas de finas láminas transparentes, que pesan sólo 1% con respecto al vidrio. Esto reduce considerablemente la carga total que deben soportar la estructura y los cimientos. Como son tan ligeras, la estabilidad de las cúpulas se asegura hincando a gran profundidad los pilares de los cimientos en el granito fragmentado que constituye la superficie por debajo del caolín<sup>30</sup>.

En el diseño, un sendero serpenteante conduce a los visitantes hasta un edificio que conecta con las zonas climáticas. La primera de ellas simula el clima mediterráneo. El segundo bioma alberga una selva tropical con árboles de hasta 50m. de altura y una cascada. La arquitectura de este proyecto es capaz de originar una potencial amplitud de percepciones sensoriales.



Imagen 61. Proyecto Edén. Vista de conjunto.



Imagen 62. Bioma. Vista interior.

<sup>30</sup> PEARSON, David. *Arquitectura Orgánica Moderna*. Ed. Blume. Barcelona, 2002. p. 188.

El **Centro Nacional Espacial** del Reino Unido es obra de Grimshaw & Partners, se encuentra en la ciudad de Leicester, a orillas del río Soar, fue construido de 1996 a 2001, año en que abrió sus puertas al público. Esta considerado como uno de los primeros ejemplos de arquitectura biónica en el mundo. Se puede observar en su diseño, el uso de nuevos y ligeros materiales como el acero, utilizado en la torre “cohete” que presenta un revestimiento en la fachada con almohadillas formadas por láminas EFTE (polímero de tetrafluoruro de etileno), que es un material con excelentes propiedades térmicas y químicas, además de ser reciclable puede soportar todas las agresiones climáticas (hielo, lluvia, humedad) y es considerado como un material ecológico.

El Centro Espacial esta totalmente enfocado a la ciencia, cuya creación es una idea de los científicos de la Universidad de Leicester. Es un edificio de la nueva generación de centros interactivos de ciencia, concebido no solamente para alojar cohetes, satélites y simulación de viajes espaciales, sino también como un modelo que sirva más ampliamente para ubicar al hombre en el cosmos.

La Torre principal esta diseñada para albergar la atracción principal del centro que son dos cohetes espaciales, cuya fachada es semi-transparente, fluorescente y esta construida con la más alta tecnología, por láminas EFTE. En el interior, varias cubiertas conectadas por una serie de escaleras interrumpidas, están colocadas a diferentes alturas dentro de la torre; esto permite un fácil acceso a las salas de exhibición, así como para un reaprovisionamiento de las mismas.

El cuerpo principal del Centro Espacial, un volumen perforado de acero inoxidable, esta construido parcialmente por debajo del nivel de piso, dentro de las paredes de los viejos tanques de tormenta. Abajo del domo esta el planetario y un centro de investigación espacial. La entrada al centro es por medio de una plaza de acceso<sup>31</sup>.



Imagen 63. Centro Espacial. Diferentes vistas

<sup>31</sup> Recuperado de <http://www.grimshaw-architects.com/projects>. 2005

### 4.3.3. LAVA –Laboratorio de Arquitectura Visionaria-

El Laboratorio de Arquitectura Visionaria (LAVA) es un grupo de expertos a nivel internacional creado en 2007 con un enfoque en investigación y diseño. Su objetivo es reposicionar la arquitectura a la vanguardia del cambio cultural, tecnológico y social. Con presencia en Sydney, Beijing, Stuttgart, Berlín y Riad. El grupo tiene tres directores: Tobias Wallisser con sede en Berlín, Alexander Rieck con sede en Stuttgart y Chris Bosse tiene su sede en Sydney.

LAVA se inspira en la naturaleza, utilizando los principios de la biónica y la biomimética, fusiona tecnologías futuras con los patrones de organización que se encuentran en la naturaleza para construir un futuro más inteligente, más amigable, más social y ambientalmente responsable. Utiliza sistemas estructurales en evolución natural, como copos de nieve, telas de araña y pompas de jabón, para nuevas tipologías y estructuras de edificios: las geometrías en la naturaleza generan eficiencia y belleza. La computación es utilizada para simular este comportamiento natural de crecimiento y adaptación de especies. Sin embargo, el ser humano es el centro de sus investigaciones y proyectos.

Este grupo de expertos combina el flujo de trabajo digital, los principios estructurales de la naturaleza y las últimas tecnologías de fabricación digital para construir “más con menos”: más (arquitectura) con menos (material / energía / tiempo / costo). Estructura, material y piel de construcción son tres aspectos fundamentales los cuales son el centro para sus investigaciones basadas en el estudio de la naturaleza. La arquitectura puede aprender mucho de la naturaleza.

Los proyectos de LAVA incorporan sistemas y envolventes inteligentes que responden a las influencias externas del medio ambiente, tales como la presión del aire, la temperatura, la humedad, la radiación solar y la contaminación, algunos ejemplos son: Tower Skin, Snowflake Tower y Bionic Tower.

LAVA se encuentra presente en muchas áreas del diseño, desde planes maestros, aeropuertos, centros urbanos, hoteles, hasta casas hechas de botellas de PET y mobiliario.

Cuando se creó este grupo y lo llamaron “laboratorio” para “arquitectura visionaria” en lugar de nombrarlo de otra manera, sus creadores definieron su objetivo: explorar y probar nuevas ideas, pero siempre bajo una premisa clara, la manera en cómo puede contribuir la arquitectura al desarrollo de un entorno habitable utilizando la tecnología.

La búsqueda de fachadas cada vez más sofisticadas, ese efecto adicional que podría hacer que un edificio sea más valioso en términos ambientales o corporativos, ha desencadenado una serie de proyectos muy llamativos a nivel mundial.



Imagen 64. LAVA diferentes proyectos. Skin Tower (izquierda), Snowflake Tower (centro), Bionic Tower (derecha).

El arquitecto Chris Bosse, trabajando conjuntamente con los ingenieros de la compañía ARUP, realizaron el proyecto del Edificio conocido como “El Cubo de Agua” para los Juegos Olímpicos de Beijing (2008). Construido con un marco espacial de acero, ésta es la mayor estructura ETFE recubierta del mundo con más de 100,000 m<sup>2</sup> de cojines de este material que sólo tienen un grosor de un ocho por mil de pulgada en total. El revestimiento ETFE permite una mayor entrada de luz y más calor que el cristal tradicional, causando una disminución del 30% en consumo de energía.

La “arquitectura del futuro”, argumenta Bosse, “no se trata de la forma, sino de la inteligencia del sistema. Ninguna piel de construcción se acerca al rendimiento del mundo biológico. La fachada tradicional de muro cortina es pasiva, carece del poder para adaptarse al entorno externo fluctuante. La arquitectura debe funcionar como un ecosistema dentro del tejido orgánico de la ciudad. Debe haber una unidad entre estructura, espacio y arquitectura, como en las catedrales y cualquier sistema natural”.

El estudio de diseño LAVA ha proyectado para el edificio de la sede central de la compañía LBBW una pantalla exterior de miles de discos fotovoltaicos circulares, inclinados en ángulo para captar la mayor cantidad de sol mientras protegen las oficinas orientadas al sur.

Los proyectos incluyen: planes maestros para universidades, diseño ganador del concurso para el centro de la ciudad de Masdar, una ciudad libre de CO<sub>2</sub> en Abu Dhabi, instalaciones deportivas, el “reskinning” del edificio UTS en Sydney, la embajada marciana en Sydney que alberga tiendas y clases de escritura para niños en un espacio inmerso de costillas de madera contrachapada oscilante que integran asientos, mostradores, estantes y animaciones por proyecciones de luz y sonido del planeta rojo. LAVA ganó (junto con DesignSport y JDAW) la competencia internacional realizada por la Comisión Federal de Deportes, Etiopía, para diseñar un nuevo estadio de la FIFA, un estadio olímpico de 60,000 asientos y una villa deportiva en Addis Abeba. La construcción comenzó en el año 2014.

Los premios que ha ganado LAVA a nivel internacional, incluyen: el Premio Australiano de Diseño de Interiores, el premio ZEROprize Re-Skinning asociado a la ONU, ID Annual Design Review, IDEA Award, AAFAB AA London, Cityscape Dubai Award Sustainability, Well Tech Award Premio internacional de Italia.



Imagen 65. (1) Edificio “Cubo de Agua”, (2) Edificio Oficinas LBBW, (3) Estadio Olimpico, (4) Embajada marciana –interior-

#### 4.3.4. Zaha Hadid.

**Zaha Hadid** (Árabe: زها حديد) (Bagdad, 1950, Estados Unidos, 2016) fue una prominente arquitecta anglo-iraquí, procedente de la corriente del deconstructivismo. A pesar de ser de nacionalidad iraquí, la mayor parte de su vida la pasó en Londres donde se ubica su estudio de arquitectura. La obra arquitectónica de Zaha Hadid ha sido reconocida en diversas ocasiones con distinciones de rango internacional entre ellos el Premio Pritzker.

Nació en Bagdad, Iraq. Se graduó en matemáticas por la Universidad Americana de Beirut, antes de estudiar en la Architectural Association de Londres. Después de graduarse, trabajó en el estudio de arquitectura Office for Metropolitan Architecture (OMA), con los que habían sido sus profesores, Rem Koolhaas y Elia Zenghelis. En 1979, estableció su propio estudio en Londres.

Durante la década de 1980, dio clases en la Architectural Association, así como en otras prestigiosas instituciones alrededor del mundo; ha impartido la cátedra de Kenzo Tange en la Escuela de Diseño de la Universidad de Harvard, como profesor invitado en la clase de Eero Saarinen en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Yale. Además, fue miembro honorario de la Academia Americana de Letras y Artes, invitada honoraria del Instituto Americano de Arquitectos.

Es ganadora de diversas competencias a nivel internacional; sin embargo, gran parte de su trabajo ha sido de carácter conceptual y un gran número de proyectos nunca se construyeron, entre los que destacan: “The Peak Club” en Hong Kong (1983) y la “Cardiff Bay Opera House” en Wales (1994). En 2002 ganó la competencia internacional para diseñar el plan maestro de Singapur denominado “One North”. En 2005 su diseño para el nuevo casino en la ciudad de Basilea, Suiza fue el ganador, así como el concurso para la construcción del Pabellón Puente de la Exposición Internacional de Zaragoza. En el año 2004, la arquitecta Zaha Hadid se convirtió en la primera mujer en la historia en ganar el premio Pritzker, que es equivalente al Premio Nobel, pero en el ámbito de la arquitectura. En 2006 se realizó una exhibición con su trabajo en el Museo Guggenheim, Nueva York.

En el campo del diseño de interiores realizó algunos trabajos de alto perfil, como el proyecto “Mind Zone” en el Domo del Milenio de Londres. Algunos de sus proyectos son: el Centro Acuático de Londres, uno de los nuevos edificios que se construyeron para las olimpiadas del año 2012, la renovación del Barrio Zorrozaurre de Bilbao, la Biblioteca Central de la Universidad de Sevilla, el Museo Nacional de Arte del Siglo XXI, en Roma; el Centro Cultural “Heydar Aliyev” en Baku, Azerbaijan, el Museo “Guggenheim Hermitage” en Vilnius, Lituania, entre otros<sup>45</sup>.

**La ópera** y centro cultural de Dubai fue diseñado por Zaha Hadid en colaboración con Patrick Schumacher; esta ubicado en una isla, en el nuevo distrito Siete Perlas. Este proyecto alberga la casa de ópera con 800 asientos, una galería de arte, un auditorio, escuela de arte y un hotel.

La forma del edificio esta basada en las dunas que forma la arena del desierto y la estructura parece emerger de la superficie. Su acceso será por medio de una carretera y un tren a la isla.



Imagen 66. Proyecto Opera de Dubai. Perspectiva.

<sup>45</sup> Recuperado de [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Zaha\\_Hadid](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Zaha_Hadid). 2008

El estilo de Zaha Hadid nació al principio de su carrera, ya que proyectó un famoso diseño para The Peak, en Hong Kong. Se trataba de un rascacielos horizontal deconstruido, que llamó la atención en el mundo de la arquitectura. Desafortunadamente, el concepto, y la mayoría de sus diseños radicales de los años 80 y principios de los 90, nunca cobraron vida. Considerada demasiado vanguardista para ir más allá de los bocetos, empezó a ganarse una reputación de “arquitecta de papel”.

Sus edificios públicos a menudo se describen como dinámicos, como si fueran una imagen congelada de un plano de acción. El estilo de Zaha Hadid abarca líneas llamativas, a veces atrevidas con curvas expresivas, otras veces brutales en esencia.

Su estudio, Zaha Hadid Design (fundado en 2006), tiene una amplia cartera más allá de las paredes de la arquitectura, incluyendo accesorios, joyas, interiores, exposiciones y escenografías. También ha creado muebles de edición limitada.

Zaha Hadid declaró que sus diseños arquitectónicos no tenían la intención de ser un sello personal en el mundo. La piedra angular de su estilo y sus creaciones es abordar los retos y las oportunidades del siglo XXI. La arquitectura, afirmó “debe contribuir al progreso de la sociedad y, en última instancia, a nuestro bienestar individual y colectivo”.

Los edificios nacidos de su visión y el genio colectivo de su estudio Zaha Hadid Architects, a veces pueden parecer fantásticos, triunfantes e incluso un poco ruidosos, pero todos ellos provienen de la función básica de la arquitectura: facilitar la vida cotidiana e incluso hacerla funcionar.

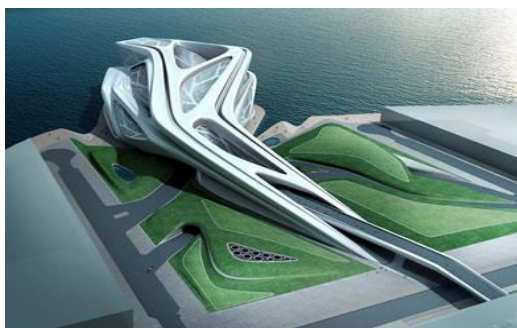


Imagen 67. Proyecto Centro de Artes Abu Dhabi. Conjunto y perspectiva.

El **Centro de Artes** de Abu Dhabi, fue uno de los proyectos más complejos y con un diseño único de la arquitecta Hadid. Este proyecto de 62m. de altura, está concebido para albergar cinco teatros: un edificio de música, otro para conciertos, una ópera, teatro dramático y uno más para uso múltiple, con una capacidad de 6,300 asientos entre todos. Y tendrá una academia de artes.

La autora describe el diseño del Centro de Artes como una forma escultural que emerge de la intersección lineal entre las múltiples trayectorias de los visitantes, desarrollándose gradualmente en un organismo de donde brota una cadena sucesiva de ramas. El lenguaje formal utilizado está derivado de una serie de tipologías evidentes en sistemas organizacionales y de crecimiento en el mundo natural. Estos escenarios naturales están formados por energía suministrada a sistemas cerrados.

La energía está simbolizada por el movimiento urbano, junto con la intersección central de los corredores peatonales y el paseo frente al mar del centro. La simulación de los procesos de crecimiento ha sido utilizada para desarrollar representaciones espaciales en formas geométricas básicas para ser superpuestas con diagramas en series de repetición de ciclos. Los componentes primarios de esta analogía biológica (ramas, tallos, frutos y hojas) son transformados de estos diagramas abstractos en formas arquitectónicas<sup>46</sup>.

<sup>46</sup> Recuperado de [http://www.plataformaurbana.cl/copp/albums/Zaha\\_Hadid](http://www.plataformaurbana.cl/copp/albums/Zaha_Hadid). 2008

### 4.3.5. Cervera & Pioz Arquitectos.

En 1979, los arquitectos María Rosa Cervera y Javier G. Pioz fundan "CERVERA&PIOZ", dedicándose desde entonces a la creación de proyectos y edificios singulares. En 1985, comienzan sus primeras experimentaciones con "Estructuras Dinámicas". En 1991 fundan la "*Sociedad para la Innovación en la Arquitectura*" e inician los "Cursos-Taller Internacionales de Arquitectura y Naturaleza" en Cuenca (en colaboración con la *Diputación Provincial de Cuenca*). En 1992, comienzan sus investigaciones Biónicas sobre Bio-Estructuras en la naturaleza y su aplicación a la moderna ingeniería estructural y a la arquitectura.

**María Rosa Cervera** tiene un doctorado en Arquitectura por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid y es licenciada por el Real Conservatorio de Música de Madrid. Ha sido galardonada con la beca de Roma por la Academia Española de Bellas Artes en Roma, el diploma de la Akademie für Bildende Kunst de Salzburgo y el Diploma de la Universidad de Dunankanyar en Hungría. Además dispone de una beca de investigación por el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid y una beca por el Ministerio de Relaciones Exteriores. Es profesora de Composición Arquitectónica en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Alcalá desde 2001.

**Javier G. Pioz** es doctor en Arquitectura por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, y tiene una Maestría por la Escuela de Diseño de la Universidad de Columbia, Nueva York. Ha sido galardonado con la beca por la Academia Española de Bellas Artes en Roma, el diploma de la Akademie für Bildende Kunst de Salzburgo, y la beca de la Fundación Juan March. Es miembro de la Comisión mixta y presidente de la Asociación Cultural Hispana de América del Norte. Ha sido profesor de arquitectura en la Universidad Politécnica de Madrid desde 1987, y ha dado conferencias en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

María Rosa Cervera y Javier Pioz son los autores de artículos y libros sobre la bioarquitectura, y por lo general reciben invitaciones para asistir a conferencias en muchas instituciones académicas y profesionales. Han dictado conferencias en universidades de España, la India, China, Perú, Bolivia, Uruguay, México, El Salvador y Colombia. Sus teorías y proyectos han llegado a audiencias de todo el mundo a través de monografías, revistas nacionales e internacionales, y los medios de comunicación (prensa, televisión, radio e Internet). Sus proyectos también se han presentado en importantes exposiciones nacionales e internacionales.

En 1993, fundaron el Taller Internacional de Arquitectura y Biónica en Cuenca, España. Desde entonces, han desarrollado la educación y la investigación en el aprendizaje de la naturaleza y la aplicación de sus principios para las Artes y la Arquitectura<sup>47</sup>.

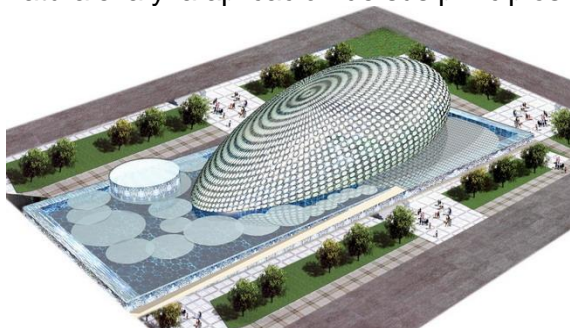


Imagen 68. Proyecto Pabellón de España 2010 en China.



Imagen 69. Proyecto Embajada de China en Madrid. Maqueta

<sup>47</sup> Recuperado de <http://www.cerveraandpioz.com/>. 2008



Desde que se convirtió en asociación, en 1979 CERVERA-PIOZ, han trabajado para desarrollar la nueva arquitectura y el urbanismo propuestas inspiradas en un entendimiento integral de los principios lógicos de la flexibilidad, la adaptabilidad y la eficiencia energética que prevalecen en todas las especies naturales.



Imagen 70. Proyecto de la Isla residencial Saadiyat en Dubai.

En 1985, la empresa comenzó a experimentar con estructuras complejas y dinámicas resultantes de varios proyectos revolucionarios. En 1992, iniciaron sus investigaciones en estructuras biológicas de la naturaleza y su aplicación a la moderna arquitectura y la ingeniería estructural. Un resultado directo de estos estudios fue el descubrimiento de un nuevo concepto de estructura y de la construcción: Bio-Estructura.

Mediante la aplicación de este nuevo modelo, con el concepto de espacios de gran altura, desarrollaron el proyecto Sostenible Bio-Estructura Vertical: un edificio que puede llegar a ser hasta de 1.220m. de altura y, por tanto, hace posible un nuevo modelo urbano de la megalópolis, que sean sostenibles y basados en valores humanos.

CERVERA-PIOZ y el nuevo concepto y modelo de la arquitectura biónica han tenido gran impacto a nivel internacional y han contribuido a abrir nuevas líneas de experimentación. Han recibido peticiones de numerosas instituciones científicas y profesionales en Europa, América y Asia para presentar sus teorías y modelos.



Imagen 71. Proyecto Museo Xixi - Humedal en Hagzhou, China.

El Taller Internacional de Arquitectura y Biónica se creó en 1993 con el objetivo de ofrecer una alternativa a los estudios complementarios disponibles con la investigación de nuevas tendencias en arquitectura, arte y filosofía. Los cursos se basan en el concepto de la Naturaleza como fuente de valores permanentes y fundamentales. La comprensión de las técnicas y estrategias que utiliza la naturaleza como inspiración para la creación de formas dan lugar a esta nueva sensibilidad artística. La aplicación de la ciencia a la Arquitectura Biónica hace este Taller una experiencia única en España, la apertura de nuevas líneas de investigación y pensamiento<sup>48</sup>.

<sup>48</sup> Recuperado de <http://www.cerveraandpioz.com/>. 2008

#### 4.4. Sistemas Estructurales Biónicos.

##### 4.4.1. Concepto Biónico de Estructura: “El Todo-resistente”.

En la mayoría de las especies vegetales, tanto de desarrollo horizontal como vertical, están presentes los órdenes radial, central o arborescente. Asimismo, el modo en que estructura y forma se integran, siendo ambas entidades independientes a la vez que dependientes entre sí. Aunque visualmente se identifiquen, costaría mucho detectar la frontera en la que la estructura se transforma en piel y viceversa. Es esta polivalencia estructural y formal de los elementos que componen los organismos vivos una de las razones biónicas más sólidas para enfocar el diseño de la estructura, como si de un todo estructural se tratara.

Los análisis de los diferentes sistemas de crecimiento de las especies y estructuras naturales, desde un tallo de una hierba hasta las grandes estructuras arbóreas, han permitido descubrir y desarrollar innovaciones en los campos edificatorios de las estructuras resistentes, la climatización natural, los desplazamientos de personas, la conducción de fluidos, los sistemas de protección sísmica y eólica, así como la prevención y control de incendios.

El diente de león con sus semillas ancladas al núcleo de la planta, es un perfecto ejemplo de comportamiento “todo-resistente” por multifragmentación de esfuerzos. La estructura aparentemente caótica que entrelaza todos los filamentos proporciona una gran resistencia a pesar de la fragilidad de sus elementos<sup>1</sup>.

El estudio de esta estructura natural posibilita el desarrollo del mecanismo de cimentación flotante, fundamental para resolver la cimentación del complejo y protegerlo contra los efectos sísmicos

En la naturaleza, la forma de las especies viene dada por su estructura y por los diferentes sistemas biotecnológicos. Análogamente la forma de Torre Biónica es el resultado del desarrollo tecnológico de sus diferentes sistemas dinámicos en equilibrio con el hombre.

El objetivo de estas investigaciones es encontrar paralelismos entre la lógica del crecimiento vital de las formas orgánicas y la lógica arquitectónica estructural y tecnológica aplicable al diseño de los súper rascacielos y de las megaciudades. Estudiar los procesos de crecimiento de la naturaleza abre una opción sobre los nuevos criterios de diseño para la creación de espacios verticales.

La investigación biónica aportó, tres conceptos novedosos cuya combinación conforma el mecanismo estructural (el todo-resistente). Estos son: el **sistema de encapsulados**, la **teoría estructural de capas** y la **piel transpiro-resistente**.

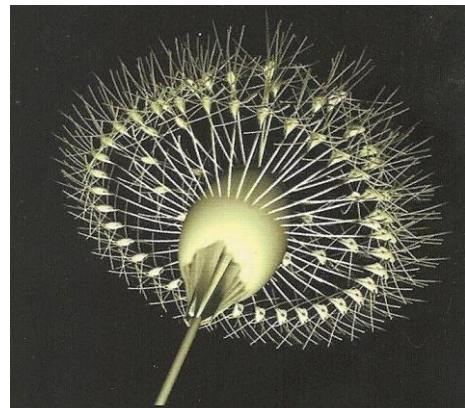


Imagen 72. Infografía de un diente de león con semillas.

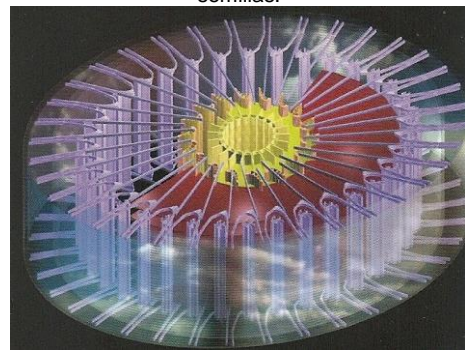


Imagen 73. Esquema del concepto estructural “todo-resistente”

<sup>1</sup> ARQUITECTURA SÍSMICA Prevención y Rehabilitación. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000. p.201.

#### 4.4.2. Sistema de Encapsulados -Contenedor de contenedores-

Los organismos vegetales pueden ser definidos como contenedores que albergan a su vez otros en su interior, esta definición se verifica independientemente de la escala a la que se realice este análisis. El mismo orden estructural por cápsulas se manifiesta al observar tanto un gran corte horizontal de un tronco de árbol, una flor, una semilla, como una pequeña sección de un haz vascular. Esto es lo que se denomina encapsulados o sistema continuo de contenedores.

Este sistema permite a las especies vegetales un gran ahorro de energía; reduce la evaporación de líquidos, racionaliza el volumen ocupado y posibilita la coexistencia de muchas especies en un pequeño espacio, a la par que les proporciona resistencia adicional, pues todos los elementos conducentes o resistentes, al estar encapsulados, contribuyen a la fragmentación de esfuerzos y por ello a poder resistir con mayor eficacia y con un gasto muy pequeño de materia fuerzas del viento u otras similares.

Extrapolando la idea de contenedor de contenedores al campo arquitectónico, el nuevo modelo biónico de ciudad vertical podría ser concebido como una sucesión continua de contenedores a distinta escala. Aplicando este concepto al edificio entendido como un todo, e igualmente a cada una de sus partes, se encontró otra de las principales claves para poder superar estructuralmente la frontera de los 500 metros de altura.

El modelo convencional de rascacielos considera como sistemas independientes – incluso separados espacialmente- los sistemas estructurales (columnas, vigas y forjados), los conductos de fluidos (climatización, agua, electricidad) y los conductos de ascensores.

El sistema de encapsulado o uso compartido del volumen permite optimizar el gasto de superficie no rentable, hecho éste de gran trascendencia económica y comportarse como un mecanismo “todo-resistente”. Por otra parte, considerar la estructura vertical como un contenedor que alberga conductos, a su vez estructurados, permite concebir dicha estructura no como gruesos elementos macizos, sino como piezas huecas formadas por membranas finas que aumentan la sección resistente sin aumentar el peso.

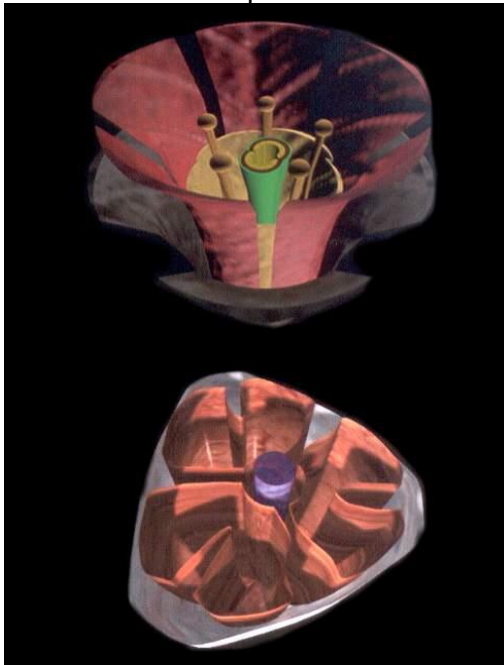


Imagen 74. Esquema de columna-calle, donde se aplica el sistema de encapsulado natural

A igual cantidad de materia, la fragmentación y disposición en cápsulas posibilita un comportamiento resistente diez veces más eficaz que el planteamiento convencional de agrupar materia en grandes y macizos elementos, a la par que aporta al complejo un extraordinario comportamiento flexible, concepto óptimo para la estabilidad antisísmica y antieólica.

Este sistema de cápsulas permite también un importante ahorro de volumen y superficie destinados a instalaciones. Frente a ocupaciones del 50-60% de los mismos sistemas en los rascacielos convencionales, este sistema tecnológico sólo necesita el 15-20% de la superficie construida. Además, la flecha máxima en la punta de la torre es de tan solo 1.23 metros en cada dirección (la misma del Empire State Building), con una frecuencia de oscilación mínima. Por otra parte, la polivalencia de este sistema permite incorporar a los contenedores los diferentes progresos tecnológicos.

### 4.4.3. Teoría Estructural de Capas.

A simple vista la observación de un árbol sesgado permite intuir su crecimiento horizontal según capas radio-concéntricas. Sin embargo, hay importantes mecanismos que se aplican en el crecimiento vertical, por ejemplo, la disposición doble helicoidal de sus fibras que son trascendentes para la resistencia del árbol frente a los extraordinarios esfuerzos de flexión y torsión que ejerce la acción del viento.

Las fibras de los árboles se organizan en dos estructuras fibrosas helicoidales cruzadas, de tal modo que cuando el árbol tiende a rotar en una de las direcciones, parte de esta estructura actúa a modo de tirantes absorbiendo fácilmente los esfuerzos de tensión y cuando el árbol tiende a rotar en la dirección contraria, es el resto de la estructura la que entra en tensión. De esta manera, el árbol puede absorber grandes esfuerzos de tensión y torsión con una cantidad pequeña de materia, sin tener por ello que aumentar excesivamente su volumen.

El crecimiento de estos organismos vegetales se lleva a cabo alternando capas de elementos de disposición radial y capas de elementos de configuración lineal; esto es, combinando capas especializadas en comportamiento fibroso estructural y otras en conducción de fluidos. Estas, además de participar de la mencionada ley helicoidal de crecimiento, poseen un orden geométrico fractal, ley de crecimiento común a todas las especies vegetales y que posee muy importantes ventajas desde el punto de vista tanto de sus capacidades de transformación como de sus cualidades resistentes y aislantes.

Si se suman la proporción de microvacío existente en el interior de cada vena, junto con los microvacíos que se ubican entre la conexión de las diferentes capas, se llega a la conclusión de que el 75% de la estructura de un árbol es vacío. Un vacío que, a pesar de sus reducidas dimensiones diametrales, es el auténtico protagonista de su enorme comportamiento resistente.

Las 92 cápsulas se organizan en tres coronas concéntricas que recorren la totalidad de la altura de la torre. Los contenedores de los distintos edificios van adosados a las cápsulas que definen las columnas. A medida que ascienden los distintos barrios verticales, la edificación va rotando en doble dirección helicoidal su posición, de modo que las tensiones producidas por la dilatación de las distintas capas de la estructura puedan compensarse mutuamente. Las áreas entre los barrios verticales están formadas por una estructura multirradiada que amarra las 92 cápsulas-columnas y permite que el complejo resistente se comporte como un mecanismo unitario flexible.

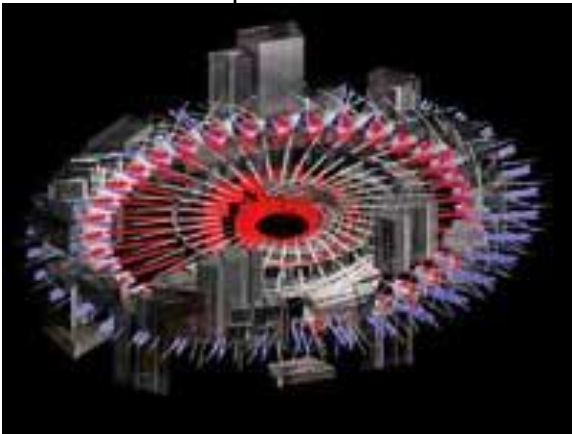


Imagen 75. Esquema distribución espacial fractal, corona de 92 columnas que contienen los sistemas tecnológicos.

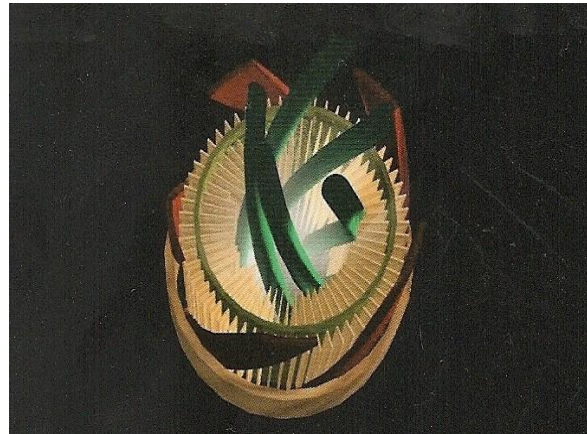


Imagen 76. Esquema de la disposición helicoidal de las fibras de una estructura arbórea.

#### 4.4.4. Piel Transpiro-resistente.

A medida que el árbol crece, los conductos de fluidos interiores se atrofian y van conformando el núcleo leñoso. A su vez, los conductos verticales ubicados en posiciones más perimetrales aumentan en número a la par que disminuyen en tamaño. Tanto más pequeños y más numerosos cuanto más exterior sea su ubicación. Se puede afirmar que los conductos (haces vasculares) forman una segunda piel paralela a la corteza del tallo, muy resistente por la cantidad de microestructura existente y muy aislante por la cantidad de vacío que hay entre la microestructura (auténtico mecanismo de defensa antifuego de las grandes estructuras vegetales).

Esta reflexión posibilitó otra de las principales innovaciones en el desarrollo del concepto del modelo vertical biónico. Como norma general, el cerramiento de los rascacielos se concibe como una membrana pasiva que separa interior y exterior, a la par que permite ciertas dosis de aislamiento térmico, lumínico y acústico; generalmente los sistemas de climatización aconsejan bañar esta membrana para calentarla o enfriarla de modo que sirva de filtro climático.

El modelo vertical biónico define esta membrana como un elemento ciudad perimetral, activo y microestructurado que permite organizar la ciudad perimetral del complejo y participar a la vez de los sistemas tecnológicos resistentes y climáticos. Así, todo el complejo de la torre está totalmente encapsulado en un último contenedor perimetral definido por una estructura fractal –tipo nido- de elementos lineales microestructurados de aluminio, que posee una gran versatilidad tanto por su colaboración como elemento resistente y flexible como por su capacidad para multifragmentar las fuerzas del viento exterior y las vibraciones de los efectos sísmicos.

Por otra parte, la piel del modelo vertical biónico se comporta como elemento que transpira, simulando un mecanismo natural fractal caótico, frecuentemente utilizado por los árboles y por las aves. Al igual que sucede en los organismos vegetales, el primer gran contenedor del modelo biónico sería el formado por la piel. El planteamiento de la existencia de este contenedor primario que envuelve el espacio vertical y su relación arquitectónica, estructural y tecnológica con el resto de los contenedores es una de las innovaciones más importantes y trascendentes del diseño del modelo vertical biónico.

Entre las diferentes capas de edificación que forman el perímetro del complejo del modelo vertical biónico, el aire puede circular reguladamente, contribuyendo a reducir la resistencia al viento de la edificación y a mantener un microclima estable de aire natural en el interior. Así, se reducen las aportaciones necesarias para calentar o enfriar los espacios interiores, a la par que se permite el desarrollo de los jardines pulmonares interiores.

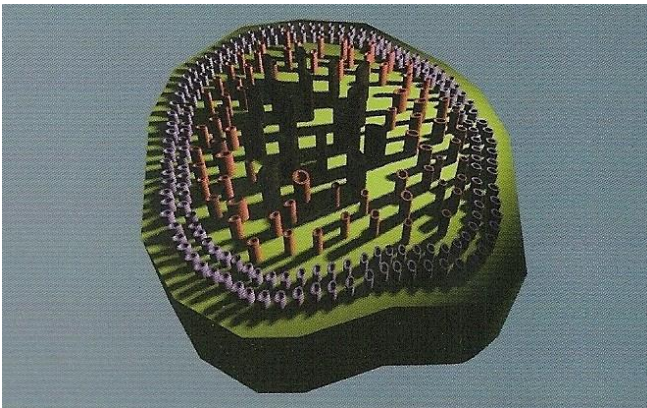


Imagen 77.

Esquema de la disposición perimetral de los conductos de una estructura arbórea.

La multiplicación de dichos conductos en el perímetro dota de una gran resistencia adicional a la estructura.

#### 4.4.5. Sistema de Crecimiento Natural.

En las estructuras vegetales de directriz vertical, el mecanismo de crecimiento por esponjamiento muestra que cuanto mayor es la altura del organismo mayor es también su proporción de vacío interior. La reorganización estructural es así precisamente, interna y externa, de dicho vacío lo que posibilita a la especie vegetal ir superando sus fronteras de la altura. Mientras que un tallo de árbol joven de 4mm. de diámetro tiene un 29% de esponjamiento, con 8mm. de diámetro la proporción aumenta hasta llegar al 46%.

La especie vegetal consigue este efecto de esponjamiento estructurando y ahuecando sus conductos de fluidos o venas. Observando una de estas venas al microscopio, se descubrió que el interior de estos conductos está formado por una estructura de millares de membranas conectadas. Algunos de los alveolos que existen en el interior de estos vasos alojan otros pequeños conductos que sirven para conducir verticalmente los fluidos.

Una vena de una especie vegetal es, además de un conducto de fluidos una columna muy eficaz para aguantar la presión de su peso y un extraordinario tirante para absorber las tensiones de tracción y torsión debidas a la acción dinámica del viento y de las dilataciones y compresiones por cambios de temperatura. Este efecto de reducción de densidad tiene una cualidad benéfica, al reducir el excesivo peso derivado del aumento de volumen.

De esta manera, en las especies vegetales es tan importante el papel que desempeña el vacío en el crecimiento y en la estabilidad estructural que se hace necesario redefinir el concepto vacío, cuando se trata de entender estas estructuras, siendo más apropiado hablar de un vacío dinámico.

Un tallo de una hierba de escasos centímetros de longitud y un árbol de decenas de metros de altura, dos sistemas orgánicos que deben dar respuesta a similares exigencias vitales, físicas y químicas. Ambas especies dependen del aire, la luz, el agua y el contexto en el que viven. Tienen la misma necesidad de alzarse del suelo, soportar su propio peso, resistir los esfuerzos del viento, canalizar internamente fluidos ascendentes y descendentes y realizar sofisticados procesos físicos y químicos. Pero tanto el tallo de la hierba como el árbol resuelven estos problemas empleando materiales, geometrías, estructuras y sistemas biotecnológicos muy diferentes.

Aplicando la lógica de esta reflexión a la arquitectura, se puede decir que una torre de 1,000 metros no puede ser concebida como si fuera simplemente diez veces mayor que una de 100, así como una megaciudad de 20 millones de habitantes no puede tener el mismo modelo de desarrollo urbano (multiplicado por diez) que una de dos millones.

Vaso conductor de una estructura arbórea. Sección de un conducto de un gran árbol donde se aprecia la estructura microfragmentada que rigidiza las pequeñas venas que conducen los fluidos. El porcentaje medio de microvacío en las grandes estructuras arbóreas es del 70%. Este dato posibilitó la evolución del concepto de rascacielos convencional al de ciudad vertical para poder superar la barrera de los 500m. de altura.

El concepto arquitectónico de espacio interior en un rascacielos convencional tiene muy poca relevancia, dado el carácter repetitivo de las superficies de cada nivel con el que se diseñan. Por ello frente al tradicional concepto de super-rascacielos, que reduce el vacío interior y su posibilidad de utilización, el análisis para el diseño de los nuevos rascacielos se asienta conceptualmente sobre una gran presencia de vacío interior, susceptible de ser estructurado, transformado y reorganizado a medida que se alcanzan distintas cotas de altura.

Los aspectos humanos, físicos y psicológicos de los habitantes de un rascacielos o de una gran ciudad son muy importantes. Sin embargo, a partir de determinado número de individuos, los aspectos tecnológicos tales como desplazamientos horizontales y verticales, movimientos de fluidos, comportamientos resistentes, climatización o regeneración de aire demandan una trascendencia tal que, un modelo edificatorio de las características de Torre Biónica podría ser definido, usando terminología científica, como un sistema dinámico de sistemas dinámicos en equilibrio.

Bajo un planteamiento arquitectónico convencional, se podría diseñar la ciudad vertical supeditando todas las decisiones a la mayor comodidad y disfrute personal de cada individuo. Pero, bajo una lógica biónica, es más acertado plantear que las diversas facetas dinámicas del comportamiento humano dentro de Torre Biónica sean racionalizadas y organizadas en equilibrio con el resto de los sistemas que la conforman.

Cada persona como entidad vital, tanto como el conjunto total de los habitantes y el complejo formado por los restantes sistemas dinámicos propios de la tecnología edificatoria (sistemas resistentes, climáticos, de desplazamiento, etc.), pueden ser entendidos como constituyentes de un sistema dinámico global en equilibrio.

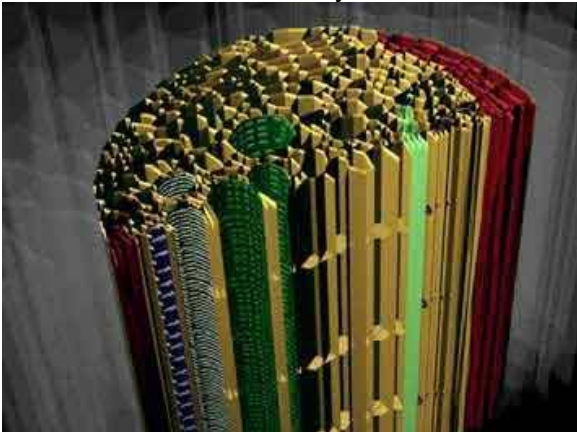


Imagen 78. Esquema de vaso conductor de una estructura arbórea. Sección de un conducto de un gran árbol donde se aprecia la estructura microfragmentada.

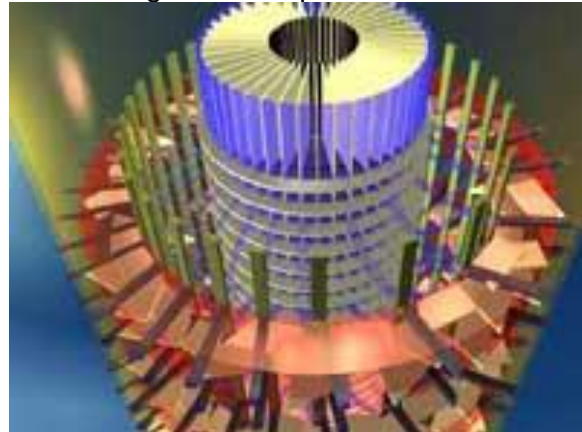


Imagen 79. Esquema de la disposición de las dos ciudades verticales que componen Torre Biónica.

#### 4.4.6. Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos.

##### 4.4.6.1. Concreto de Altas Prestaciones (CAP).

En los últimos años, ha nacido, gracias al empleo y desarrollo de los aditivos químicos, el Concreto de Altas Prestaciones (CAP), lo que se conoce como el cuarto elemento que, con la ayuda de superfluidificantes avanzados derivados de los copolímeros de vinilo en combinación con plastificantes y refrigerado con la adición de nitrógeno líquido ha conseguido convertirse en un material de alta homogeneidad y varias veces más resistente que los concretos convencionales.

Mientras que en la actualidad los concretos tradicionales tienen una resistencia de entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>, los CAP alcanzan resistencias en obra de 800 a 1,000 kg/cm<sup>2</sup>. Dado que se han conseguido ya resistencias de 2,000 kg/cm<sup>2</sup> en laboratorio, no se tiene ninguna duda de que el concreto de altas prestaciones será el material del futuro para la edificación de gran altura. Además, su gran estabilidad frente a los ambientes marinos, impactos y temperaturas inferiores a -20°C garantizan una durabilidad estructural de al menos 100 años.

La contribución del novedoso material CAP, junto con las aportaciones científicas biónicas, conforma la base ideológica sobre la que se asienta el modelo tecnológico Torre Biónica.

#### **4.4.6.2. Mecanismo de Cimentación Flotante y Aislamiento Antisismo.**

Biómicamente hablando, los árboles no están apoyados sobre el suelo, sino que flotan suspendidos en la estructura caótica que forman sus miles de raíces. A estas estructuras se las denomina estructuras nido y, por su capacidad de multifragmentar los esfuerzos, tanto en su magnitud como en su dirección, tienen una enorme resistencia y flexibilidad. Para idear la solución constructiva del sistema antisismo apropiado para la Torre Biónica se analizaron los sistemas de anclajes de las raíces de las grandes estructuras arbóreas. Estos sistemas biotecnológicos combinan varios mecanismos complementarios.

Por una parte, el sistema de encapsulado con el que la raíz organiza sus diferentes sistemas tecnológicos convierte a estos elementos en poderosos tirantes capaces de aguantar grandes tensiones. Por otra, la superficie ocupada por las raíces se extiende decenas de metros fuera del área del tronco, con lo que se posibilita el reparto de fuerzas. Así, en el contacto con el tronco, las raíces se transforman en fuertes costillas basales que, como en el caso del árbol fuma (50 metros de altura), sobresalen hasta 5 metros del tronco. Además, las raíces de estos grandes árboles hipertrofian su corteza y fragmentan su perímetro con profundos cortes de modo que, al aumentar considerablemente la superficie de contacto con el terreno, aumenta igualmente la capacidad de resistencia por rozamiento.

La combinación de líquido y láminas de microestructura posibilita un perfecto comportamiento resistente con una pequeña cantidad de materia. El sistema de multifragmentación de esfuerzos, presente en la mayoría de las especies naturales, fue utilizado para resolver los sistemas de cimentación y antisismo.

El comportamiento de los sistemas de cimentación y antisismo han sido una de las preocupaciones más importantes del proyecto Torre Biónica y cuya ingeniosa solución ha producido una mayor satisfacción.

El concepto biónico de anclaje al terreno utilizado por grandes árboles como el fuma o el obeche sirvió para el desarrollo del mecanismo de cimentación flotante (multiradial floating system). Por analogía conceptual, Torre Biónica se une al terreno flotando en el interior de varias estructuras multiradiales que multifragmentan los esfuerzos resistentes, siendo ésta una de las razones principales para justificar la existencia del área adicional perimetral que rodea la torre.

El sistema de cimentación suspendida descrito, tiene una gran ventaja adicional: al estar separada la torre del contacto directo con el terreno mediante los numerosos filamentos huecos que hacen de pasillos de interconexión entre distintas zonas del área base, el mecanismo de cimentación flotante se comporta como un eficaz aislante plástico entre terreno y edificación, colaborando –por multifragmentación de esfuerzos- a la absorción de los efectos sísmicos.

Los lagos perimetrales artificiales, que organizan el área base como un gran intercambiador marítimo terrestre, completan el mecanismo antisismo al estar formados por la conjunción de agua y delgadas membranas con una organización fractal similar a la estructura interna de un cítrico.

Esta estructura mixta biónica posee una gran capacidad para absorber vibraciones y transformar energías. Además, la gran esbeltez (1/10-1/20) de la torre, posible gracias a su revolucionario sistema estructural, permite una gran plasticidad (deformación controlada), idónea para respuestas antisismo.



Uno de los principios de la naturaleza se basa en el ahorro máximo de materia y energía. Las formas naturales no se generan por geometrías precisas predeterminadas, sino por leyes flexibles de crecimiento que permiten modificar las estructuras y las formas de las especies, adaptándolas a las condiciones climáticas, tanto del entorno próximo como del microhábitat. Este concepto está presente en el diseño de Torre Biónica: su mecanismo antisismo, por tratarse de una ley de microfragmentación de esfuerzos, es susceptible de adaptar su forma a las exigencias sísmicas de cada zona.

El peso propio y las fuerzas laterales del viento que inciden sobre el edificio son de tal magnitud que se hizo imprescindible desarrollar un nuevo concepto de cimentación, inspirado en la técnica de agarre de las raíces de los grandes árboles. El innovador sistema tecnológico llamado cimentación flotante multirradial funciona a modo de grandes ruedas de bicicleta multirradiales, dispuestas por escalones que conforman un cono invertido de un kilómetro de diámetro máximo y 200 metros de profundidad, en cuyo eje está anclada la torre.

Esta estructura tiene, además, otras funciones igualmente importantes: como sistema antisismo que independiza la torre (absorbiendo vibraciones) del contacto directo con el terreno; como contenedor urbano donde estarán ubicados los servicios más importantes de la torre-ciudad y como intercambiador de todos los sistemas dinámicos de comunicación.

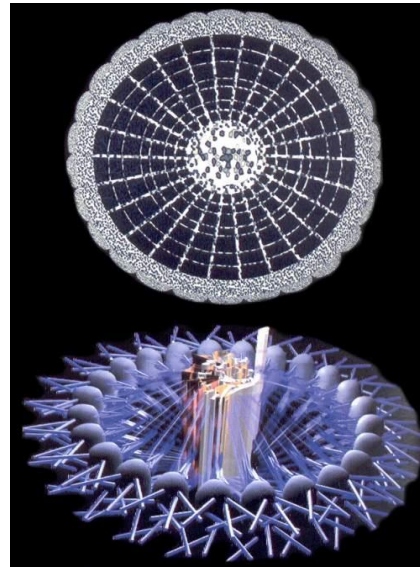


Imagen 80.  
Esquema de la solución de cimentación flotante multirradial.

#### 4.5. Aportaciones de la Arquitectura Biónica.

La arquitectura biónica es la evolución de la arquitectura -orgánica-; es un movimiento para el diseño y la construcción de edificios que expresan trazos y líneas tomadas desde las formas naturales, el cual, comenzó a madurar a principios del siglo XXI. Esta en oposición de los tradicionales trazos rectangulares, diseñando esquemas que usen formas curvas así como superficies de estructuras biológicas y matemáticas fractales.

Cuando se aplica a la arquitectura, el ritmo y la composición se transforman en detalles fractales semejantes entre sí. Actualmente, cuando se hace referencia a esta relación entre la Arquitectura y las nuevas perspectivas científicas (entre ellas la Geometría Fractal), generalmente se piensa que estas “extrañas” matemáticas, deben dar como resultado construcciones también “extrañas”, pero no necesariamente tiene que ser así.

La arquitectura biónica se podría definir como una síntesis eco-filosófica de los principios comunes de la biología, la ingeniería y la arquitectura aplicada al desarrollo futuro del hábitat humano en armonía con el progreso y con la naturaleza. Intenta desarrollar tecnología a base de imitar las soluciones que ha seleccionado la Naturaleza durante millones de años.

El objetivo primordial es encontrar paralelismos entre la lógica del crecimiento vital de las formas orgánicas y la lógica arquitectónica, estructural y tecnológica aplicable al diseño de los súper-rascacielos y de las megaciudades. Reflexionar sobre los procesos de crecimiento de la naturaleza abre un debate sobre los nuevos criterios de diseño que se podrían adoptar en la creación de espacios verticales, que necesitan una manera diferente de ver, entender e interpretar la naturaleza.

La construcción biónica se encuentra en lo que podría llamarse el primer nivel de la evolución de la investigación científica. El estudio para crear esta forma constructiva ha retomado el ámbito de los organismos naturales - flora y fauna -; estas características permiten tener un ilimitado margen de posibilidades. Una tarea central de la construcción biónica, es la búsqueda sistemática de opciones nuevas que permitan modular las formas y principios constructivos, similares a los que prevalecen en la naturaleza y que perduran en el medio ambiente.

La observación como base del método de creación y la analogía es de lo que los diseñadores se nutren para crear y, es de esta última de la que se deben aprender los modelos de la naturaleza que la Biónica aporta al mundo de la creación.

El método fundamental empleado en las investigaciones biónicas es la **modelación**, que permite la formación de estructuras biónicas. En la biónica se emplea la modelación matemática y física. Para el estudio del modelo vivo, esta ciencia efectúa un modelo especial del entorno; es decir, reproduce las condiciones en que funciona el sistema vivo y en las que debe trabajar de forma práctica su análogo artificial.

La biónica procura trasladar a la técnica las mejores creaciones de la naturaleza, las estructuras y procesos más racionales y económicos que fueron cimentándose en los sistemas biológicos durante millones de años de desarrollo evolutivo.

En lugar de continuar con los precedentes de la construcción y los principios estructurales clásicos, se analizan las formas naturales. Esto lleva a una interpretación escultórica (modelos) y una interpretación estructural relacionada con un entendimiento teórico de las estructuras naturales.

Innovación en la forma y eficiencia estructural son los principales elementos a considerar en la evaluación de los prototipos. Aquellos que demuestran una mayor capacidad de resistencia a la acción de cargas son considerados como los más exitosos. La calidad escultural y estética de los modelos son también factores importantes.

Al analizar las profundas e interdisciplinarias obras de la naturaleza, como la base de la arquitectura hecha por el hombre, se da la expresión “**arquitectura evolutiva**”, que se refiere al desarrollo de nuevas estructuras, materiales y procesos de construcción, relaciones ecológicas y conceptos estéticos basados en el desarrollo evolutivo de la naturaleza durante millones de años y su aplicación a los entornos hechos por el hombre.

Para crear una arquitectura con significado y belleza es necesario volver a la fuente: la naturaleza. Pero si se mira el mundo natural y se utiliza la naturaleza como la base para el diseño, es posible crear una arquitectura nueva y revolucionaria.

Entre los nuevos materiales utilizados, se encuentran los siguientes:

El sistema de **Styrofoam** reciclado con bloques de cemento reforzados con acero y concreto. Se trata de un material extremadamente resistente a los terremotos y además es ligero, impermeable, resistente al fuego. Este bloque crea una malla reforzada, en la que las tensiones estructurales se distribuyen de manera uniforme.

Para cubrir grandes claros, está el siguiente sistema: la cubierta es una estructura geodésica formada por “almohadones” de lóbulos hexagonales y transparentes, inflados con aire y encajados en un armazón de acero galvanizado. El sistema de revestimiento consiste en **celdas almohadilladas infladas** con aire, compuestas de finas láminas transparentes, que pesan sólo 1% con respecto al vidrio. Esto reduce considerablemente la carga total que deben soportar la estructura y los cimientos.

El recubrimiento en fachada con almohadillas formadas por láminas ETFE (**polímero de tetrafluoruro de etileno**), que es un material con excelentes propiedades térmicas y químicas, además de ser reciclable puede soportar todas las agresiones climáticas (hielo, lluvia, humedad) y es considerado como un material ecológico. El revestimiento ETFE permite más entrada de luz y mayor calor que el cristal tradicional, causando una disminución del 30% en gastos de energía

El revestimiento con **manto de discos de aluminio anodizado**, permite crear un efecto de “piel” en fachada y enfatiza la curvatura del edificio. La envoltura es al mismo tiempo arquitectura, estructura y piel: los discos son el fruto de una elección estética, tecnológica y de mantenimiento, ya que pueden ser reemplazados individualmente y con facilidad. El aluminio anodizado, del que están constituidos, ofrece además una óptima base para crear efectos irisados, juegos de luz y reflejos.

El **dióxido de titanio** (TiO<sub>2</sub>) es otro sistema de recubrimiento en fachada, el cual trabaja con la radiación ultravioleta interactuando con las partículas del aire y reduciendo, de esta manera los contaminantes.

El **concreto de altas prestaciones (CAP)**, los CAP alcanzan resistencias en obra de 800 a 1,000 kg/cm<sup>2</sup>. su gran estabilidad frente a los ambientes marinos, impactos y temperaturas inferiores a -20°C garantizan una durabilidad estructural de al menos 100 años, será el material del futuro para la edificación de gran altura. La contribución del novedoso material CAP, junto con las aportaciones científicas biónicas, conforma la base ideológica sobre la que se asienta el modelo tecnológico Torre Biónica.

El **concepto biónico de estructura “el todo-resistente”**, la investigación biónica aportó, tres conceptos novedosos cuya combinación conforma el mecanismo estructural (el todo-resistente). Estos son: el sistema de encapsulados, la teoría estructural de capas y la piel transpiro-resistente.

La **piel transpiro-resistente**, se comporta como elemento que transpira, simulando un mecanismo natural fractal caótico, frecuentemente utilizado por los árboles y por las aves. Al igual que sucede en los organismos vegetales, el primer gran contenedor del modelo biónico sería el formado por la piel. El planteamiento de la existencia de este contenedor primario que envuelve el espacio vertical y su relación arquitectónica y tecnológica.

## CAPÍTULO V. FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA BIÓNICA.

### 5.1. Proyectar con la Naturaleza.

El hombre, desde la antigüedad, ha tomado como ejemplo de sus creaciones a la naturaleza, desde las formas más simples, hasta morfologías sumamente complejas. La biónica para sus estudios y para la generación de avances tecnológicos se basa en las formas naturales, así como en su funcionamiento. Para proyectar con la naturaleza, la arquitectura biónica debe basar su estudio y tomar en cuenta los siguientes aspectos fundamentales: la **sucesión de Fibonacci**, la **proporción Aurea**, la **geometría fractal** y **las formas que se encuentran en la naturaleza**.

#### 5.1.1. Sucesión de Fibonacci.

La sucesión o serie de Fibonacci comienza con los números 0 y 1, a partir de estos, cada término es la suma de los dos anteriores, está definida por la relación de recurrencia. En matemáticas, una relación de recurrencia es una ecuación que define una secuencia recursiva, cada término de la secuencia es definido como una función de términos anteriores. Esta dada por la siguiente sucesión infinita de números naturales:

0,1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, 6765, etc.

A los elementos de esta sucesión se les llama **números de Fibonacci**. Esta sucesión fue descrita en Europa por Leonardo de Pisa (1180-1250), matemático italiano del siglo XIII también conocido como Fibonacci. Tiene numerosas aplicaciones en diferentes campos de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, el diseño, computación y matemáticas.

El astrónomo y matemático alemán Johannes Kepler (1571-1630) describió los números de Fibonacci en sus leyes sobre el movimiento de los planetas en su órbita alrededor del Sol, y el matemático escocés Robert Simson descubrió en 1753 que la relación entre dos números de Fibonacci sucesivos  $f_{n+1} / f_n$  se acerca a la relación áurea  $\phi$  ( $\phi$  phi) cuando  $n$  tiende a infinito.

La secuencia de Fibonacci se encuentra en múltiples configuraciones biológicas donde aparecen números consecutivos de la sucesión, como por ejemplo: en la distribución de las ramas de los árboles, la distribución de las hojas en un tallo, en las flores (girasoles), en la configuración de las piñas de las coníferas, en cómo el ADN codifica el crecimiento de formas orgánicas complejas, en la estructura espiral del caparazón de algunos moluscos, como el nautilus, etc.

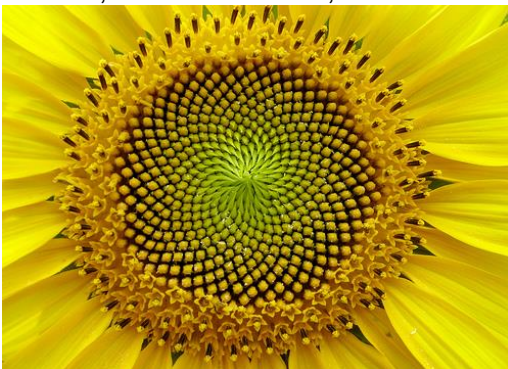


Imagen 81. Girasol, patrón de distribución de sus semillas.

Un ejemplo, es el modelo del patrón de distribución de las semillas del girasol, presentan un ángulo de divergencia, de  $137.51^\circ$  aprox., está relacionado con el número áureo. Debido a que el coeficiente es un número irracional, ninguna semilla tiene una vecina al mismo ángulo respecto al centro, por lo que se compactan eficientemente. Suele afirmarse que los girasoles y flores similares tienen 55 espirales en una dirección y 89 en la otra.

### 5.1.2. Proporción Áurea.

La proporción áurea (también llamada número áureo, razón áurea, número de oro, razón dorada o proporción divina) es un número irracional, representado por la letra griega  $\varphi$  o  $\Phi$  (phi) en honor al escultor griego Fidias (490 a.C.), por el máximo valor estético atribuido a sus esculturas.

Su valor numérico, equivale a la ecuación siguiente:

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,618033988749894 \dots$$

Se trata de un número algebraico irracional (su representación decimal es infinita) que posee muchas propiedades interesantes y que fue descubierto en la antigüedad, no como una expresión aritmética, sino como relación o proporción entre dos segmentos de una recta, es decir, una construcción geométrica. Esta proporción se encuentra tanto en algunas figuras geométricas como en la naturaleza: en las nervaduras de las hojas de algunos árboles, en el grosor de las ramas, en el caparazón de un caracol, en las semillas de los girasoles, etc.

Asimismo, se atribuye un carácter estético a los objetos cuyas medidas guardan la proporción áurea. A lo largo de la historia, se ha atribuido su inclusión en el diseño de diversas obras de arquitectura y otras artes.

El primero en hacer un estudio formal del número áureo fue Euclides (c. 300-265 a. C.), quien lo definió de la siguiente manera: “se dice que una recta ha sido cortada en extrema y media razón cuando la recta entera es al segmento mayor como el segmento mayor es al segmento menor”, tomado del tratado “Los Elementos”. Demostró también que este número no puede ser descrito como la razón de dos números enteros, es decir, es un número irracional.

En 1509 el matemático y teólogo italiano Luca Pacioli publicó “La Divina Proporción” (De Divina Proportione), donde plantea cinco razones por las que estima apropiado considerar divino al número áureo: la unicidad, la inconmensurabilidad, la autosimilaridad, el hecho de que esté definido por tres segmentos de recta, lo asocia con la Divina Trinidad, el número áureo, según Pacioli, genera el dodecaedro.

El número áureo y la sección áurea están presentes en todos los objetos geométricos regulares o semirregulares en los que haya simetría pentagonal, que sean pentágonos o que aparezca de alguna manera la raíz cuadrada de cinco. En geometría, un rectángulo es áureo cuando la relación entre sus lados es  $\Phi$  (phi), es decir, cuando su módulo es  $\Phi$ . Si se continúa de forma indefinida con la sucesión de cuadrantes, se obtiene la llamada **espiral logarítmica**.



Imagen 82. Nautilus, ejemplo de proporción áurea.

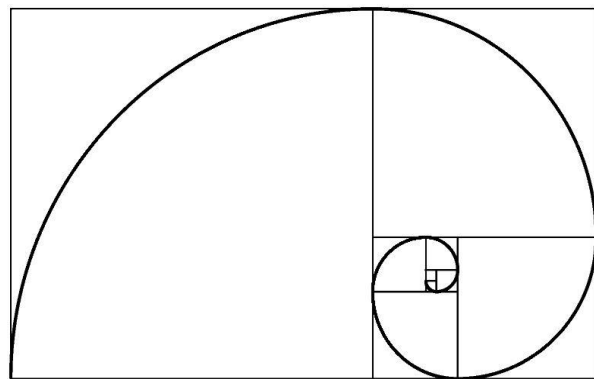


Imagen 83. Rectángulo Áureo RA, representa la sección áurea.

La espiral es una curva cuya forma no se altera cuando cambia su tamaño, tanto si aumenta como si disminuye, esta propiedad se llama autosimilitud. También presenta otra propiedad importante, la espiral es equi-angular, es decir, si se traza una línea recta desde su punto de inicio, hasta un punto cualquiera, el ángulo de corte es siempre el mismo.

En la naturaleza, hay muchos elementos relacionados con la sección áurea y/o los números de Fibonacci. El cociente de dos términos consecutivos de la sucesión de Fibonacci tiende a la sección áurea o al número áureo si la fracción resultante es propia o impropia, respectivamente.

La disposición y cantidad de pétalos en las flores, existen con 3, 5, 8 y también con 13, 21, 34, 55, 89 y 144 pétalos, La distribución de las hojas en un tallo, La relación entre las nervaduras de las hojas de los árboles. La relación entre el grosor de las ramas principales y el tronco, o entre las ramas principales y las secundarias (el grosor de una equivale a  $\Phi$  tomando como unidad la rama superior). La cantidad de espirales de una piña (ocho y trece espirales) y de las flores. Estos números son elementos de la sucesión de Fibonacci y el cociente de dos elementos consecutivos tiende al número áureo.

Para que las hojas esparcidas de una planta o las ramas alrededor del tronco tengan el máximo de insolación con la mínima interferencia entre ellas, éstas deben crecer separadas en hélice ascendente según un ángulo constante igual a  $137^{\circ} 30' 28''$ .

En la cantidad de elementos constituyentes de las espirales o dobles espirales de las inflorescencias, como en el caso del girasol, y en otros objetos orgánicos como las piñas de los pinos se encuentran números pertenecientes a la sucesión de Fibonacci. El cociente de dos números sucesivos de esta sucesión tiende al número áureo.

Estudios han demostrado que la percepción de la belleza radica en la proporción áurea. Por ende, aquello que matemáticamente más se aproxime a  $\Phi$  (phi) se percibirá como más bello y perfecto. Esta noción de belleza y perfección es aplicable a estructuras arquitectónicas, pinturas, partituras musicales, fractales y personas.

El número áureo está presente en las relaciones entre altura y ancho de los objetos y personas que aparecen en las obras de Miguel Ángel, Durero y Leonardo Da Vinci, entre

La proporción áurea se incluye en construcciones realizadas por el hombre desde los antiguos egipcios. La altura y la base de la gran pirámide de Keops, guardan entre si una relación que se aproxima a  $\Phi$  (phi). La afirmación de Heródoto (historiador griego, 425 a.C.) de que el cuadrado de la altura es igual a la superficie de una cara muestra la presencia de ésta proporción.

Los arcos del triunfo de la Roma Clásica, así como las Tumbas y las Iglesias de las antiguas ciudades romanas muestran la proporción áurea.

El Partenón (Atenas Grecia, s. V a.C.), siempre se ha considerado como el ejemplo más representativo de uso clásico de la proporción áurea en la arquitectura.

Durante el primer cuarto del siglo XX, Jay Hambidge, artista norteamericano (Canadá 1867-1924), de la Universidad de Yale, estudió las proporciones relativas de las superficies. Hambidge analizó a los monumentos y templos griegos y llegó a encuadrar el frontón del Partenón en un rectángulo. Por medio de cuatro diagonales suministra las principales proporciones verticales y horizontales.

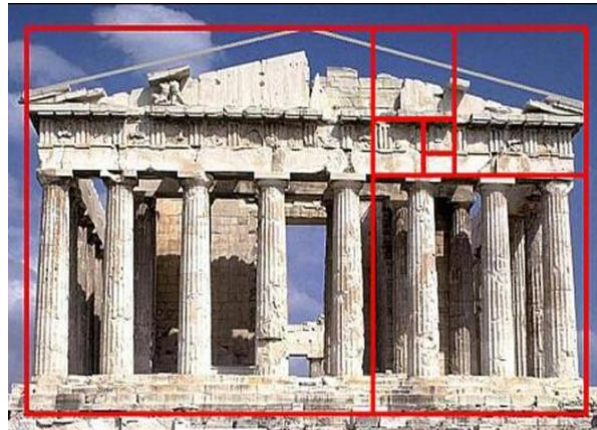


Imagen 84. Partenón. Análisis de la sección áurea.

Dos rectángulos no semejantes se distinguen entre sí por el cociente de su lado mayor por el menor, número que basta para caracterizar a estas figuras y que denominó módulo del rectángulo. Un cuadrado tiene módulo 1 y el doble cuadrado módulo 2. Aquellos rectángulos cuyos módulos son números enteros o racionales fueron denominados "estáticos" y los que poseen módulos irracionales euclidianos, o sea, expresables algebraicamente como raíces de ecuaciones cuadráticas o reducibles a ellas, "dinámicos".

No solamente fue implementada en los tiempos de los griegos (sin limitarse únicamente a ésta cultura), sino que tuvo una enorme importancia especialmente en el renacimiento, donde los valores estéticos prevalecían sobre el resto.

En la arquitectura moderna, personajes como Mies Van der Rohe y Le Corbusier continuaban valiéndose de este principio, quizás con menor importancia, pues sus obras van mucho más allá de la proporción y de la belleza, pero aún así forman parte intrínseca de ellas. El concepto de sección áurea fue reivindicado durante el periodo de la arquitectura moderna por Le Corbusier quien en los años 40 desarrolló un sistema de proporciones llamado Modulor en el que la proporción de alturas estaba basada en la proporción áurea.

Conforme la tecnología ha ido avanzando, se han dejado un poco de lado las enseñanzas más básicas y más antiguas, sin ser, completamente olvidadas.

En la arquitectura la sección áurea encuentra variadas e imaginativas aplicaciones, en la actualidad es utilizada en las fachadas para la asignación de tamaños proporcionales, sección del rectángulo áureo y gradación, en ventanas, puertas, columnas, losas, arcos, trabes, elementos decorativos, de tal forma que se logre un conjunto visualmente atractivo y se mantenga la proporcionalidad con respecto a la fachada total.

La sección áurea también es aplicada en la arquitectura contemporánea para el diseño de plantas, de tal forma que se logren ambientes armónicos y proporcionales al tamaño total de la planta, de esta forma se aplican separaciones y tamaños proporcionales para estancias, jardines, escaleras, mediante las secciones y gradación de un rectángulo áureo.

La arquitectura contemporánea sigue utilizando la proporción áurea en diferentes estructuras. Hoy en día, un diseño que incluya el número dorado (1,6180...) destaca de entre otros, pues está científicamente comprobado que cualquier geometría áurea es preferida por el cerebro humano, aún sin saber la razón.



Imagen 85. Edificio "Centro Cívico del Agua" Arq. Manasc Isaac. Calgary, Canadá.



Imagen 86. Escalera con forma de sección áurea.

### 5.1.3. Fractales y Arquitectura.

Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o aparentemente irregular, se repite a diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975 y deriva del latín fractus, que significa quebrado o fracturado. Muchas estructuras naturales son de tipo fractal. La propiedad matemática clave de un objeto fractal es que su dimensión métrica fractal es un número racional no entero.

Si bien el término "fractal" es reciente, los objetos hoy denominados fractales eran bien conocidos en matemáticas desde principios del siglo XX. Las maneras más comunes de determinar lo que hoy denominamos dimensión fractal fueron establecidas a principios del siglo XX.

La definición de fractal desarrollada en los años 1970 dio unidad a una serie de ejemplos. A un objeto geométrico fractal se le atribuyen las siguientes características:

- Es demasiado irregular para ser descrito en términos geométricos tradicionales.
- Es autosimilar, su forma es hecha de copias más pequeñas de la misma figura.

Un objeto es autosimilar o autosemejante si sus partes tienen la misma forma o estructura que el todo, aunque pueden presentarse a diferente escala y pueden estar ligeramente deformadas.

Fractales naturales son objetos naturales que se pueden representar con muy buena aproximación mediante fractales matemáticos con autosimilaridad estadística. Los fractales encontrados en la naturaleza se diferencian de los fractales matemáticos en que los naturales son aproximados o estadísticos y su autosimilaridad se extiende solo a un rango de escalas (por ejemplo, a escala cercana a la atómica su estructura difiere de la estructura macroscópica).

Un **fractal natural** es un elemento de la naturaleza que puede ser descrito mediante la geometría fractal. Las nubes, las montañas, el sistema circulatorio, las líneas costeras o los copos de nieve son fractales naturales. Esta representación es aproximada, pues las propiedades atribuidas a los objetos fractales ideales, como el detalle infinito, tienen límites en el mundo natural.



Imagen 87. Fractales naturales (ejemplos).

Las formas fractales, es decir, aquellas en las que las partes se asemejan al todo, están presentes en la materia biológica, junto con las simetrías (las formas básicas que solo necesitan la mitad de información genética) y las espirales (las formas de crecimiento y



desarrollo de la forma básica hacia la ocupación de un mayor espacio), se presentan como las formas más sofisticadas en el desarrollo evolutivo de la materia biológica, es decir, posibilitan catástrofes (hechos extraordinarios) que dan lugar a nuevas realidades más complejas, como las hojas que presentan una morfología similar a la pequeña rama de la que forman parte que, a su vez, presentan una forma similar a la rama, que a su vez es similar a la forma del árbol, y sin embargo cualitativamente no es lo mismo una hoja (forma biológica simple), que una rama o un árbol (forma biológica compleja).

Las teorías del Caos y la Complejidad y, las geometrías no-euclidianas (entre ellas la Geometría Fractal), han influenciado de un modo u otro a muchas y variadas disciplinas desde su surgimiento y posterior desarrollo. La Arquitectura y el Urbanismo, no son ajenas a esta influencia.

Desde varios años anteriores a la fundamentación de las bases de estas nuevas teorías matemáticas, pueden rastrearse obras arquitectónicas en cuyos diseños aparecen elementos de esta ciencia emergente (pre-fractales en la obra de Wright, por ejemplo).

La primera conexión “oficial”, establecida entre la Arquitectura y la Geometría Fractal proviene del mismo Benoit Mandelbrot (principal exponente de esta ciencia), él menciona que a diferencia de la arquitectura realizada por Mies Van der Rohe, basada en la geometría euclidiana, muchas construcciones del periodo de las Beaux Arts, muestran ciertos aspectos fractales. Pero fue el arquitecto Peter Eisenman, el primero en presentar un proyecto –La House 11- en el que pueden identificarse algunas características fractales. Sin embargo, a quien se debe quizás, la fuerte divulgación que tuvo el uso de las nuevas teorías, es al crítico de Arquitectura Charles Jencks, quien ha escrito varios artículos y libros al respecto.

Actualmente, cuando se hace referencia a esta relación entre la Arquitectura y las nuevas perspectivas científicas (entre ellas la Geometría Fractal), generalmente se piensa que estas “extrañas” matemáticas, deben dar como resultado construcciones también “extrañas”. Pero en realidad no es así, o al menos, no necesariamente.

La Geometría Fractal surge, como un intento de describir la Naturaleza y ésta es irregular, aunque esto no implique que sus formas resulten “extrañas”. Ha quedado demostrado, gracias a la gran cantidad de científicos que han trabajado en el tema, que esta geometría describe a la Naturaleza de un modo mucho más exacto de lo que lo hace la tradicional Geometría Euclidiana y por lo tanto, las modelizaciones que provee, permiten interpretar con mayor exactitud una serie de fenómenos de diferentes campos del conocimiento: la biología, la medicina, la física, la arquitectura y el urbanismo.

Sin embargo, todo este proceso no habría sido posible si no se contara con el aporte que la evolución e innovación tecnológica ha hecho a través de la informática. Gracias a ella se ha facilitado la producción de modelizaciones de todo tipo, desde un elemento biológico, hasta un complejo fenómeno físico o un notable desarrollo urbano que favorece su ajuste a la función sin alejarse de las características del entorno.

Es sabido que un objeto con características fractales generalmente es muy complejo, pero esto no significa que deba ser “extraño”. Hay que recordar que los primeros fractales se conocieron como “monstruos matemáticos”, no porque sus formas fueran extrañas sino porque sus comportamientos no se ajustaban a la matemática tradicional (era impensable la existencia de figuras de perímetro infinito y área finita, como el “copo de nieve”).

Para que una obra sea considerada como fractal, no es necesario que ésta sea demasiado irregular o quebrada, visiblemente caótica o “desordenada”, asimétrica, etc. Este es un preconceito instalado fuertemente en el ámbito del Diseño y la Arquitectura, quizás porque muchos de los que hacen uso de esta matemática no la conocen a profundidad.

La comprensión de las nuevas geometrías, en particular, la Geometría Fractal, permite observar de otra manera la realidad existente y de ese modo se puede decir que tiene la capacidad de ampliar los recursos disponibles para el diseño<sup>35</sup>.



Imagen 88. Fractales aplicados a la Arquitectura (ejemplos).

#### 5.1.4. Las Formas de la Naturaleza.

Los patrones y las formas de la naturaleza, como lo fractal y la espiral, son producto de leyes internas de crecimiento y de la actuación de fuerzas externas tales como el sol, el viento y el agua. Los arquitectos aprenden a utilizar las formas naturales observando las estructuras vivas: los árboles, los huesos, las conchas, las alas, las telarañas, los pétalos, las escamas y las criaturas microscópicas. Son éstas las verdaderas formas de vida y crecimiento que han sido claves en la inspiración de la arquitectura, tanto para la ornamentación, como en el Art Nouveau, la estructura, en el caso de Gaudi y la metáfora.

Existen cuatro elementos básicos para lograr una abstracción desde la biónica de un ser vivo. Estos elementos están directamente relacionados entre sí y son: la forma, los mecanismos, la estructura y el entorno con una característica común, la funcionalidad. Estos elementos son también complementarios, por lo que es posible llegar a un análisis en donde la forma es estructura y además fundamento de mecanismos.

La forma de un ser vivo está en continuo cambio y sujeto a procesos evolutivos dictados por la selección natural y la sobrevivencia, cada elemento morfológico está establecido por la función que este desempeña y siempre tiende a ser optimizada de acuerdo a los principios básicos de la naturaleza en su ser evolutivo: ahorro de energía y equilibrio.

<sup>35</sup> ALZOGARAY, Ivana. Geometría Fractal y Arquitectura. Congreso. Buenos Aires, Argentina, 2007.

De la naturaleza se pueden abstraer los siguientes principios, que son fundamentales para una correcta visión de la forma en el diseño de productos partiendo de la biónica:

La forma no es simplemente una característica morfológica sino también una característica funcional que contribuye al perfecto funcionamiento del organismo vivo. No surge al azar, sino que encierra diferentes capacidades que ayudan a la supervivencia de los seres vivos optimizando diferentes procesos que estos realizan fundamentados en la evolución y la selección natural.

La forma siempre esta dictada por ahorro de energía, espacio, material y simplicidad y es el resultado de la mejor adaptación del organismo ante las fuerzas externas que actúan sobre él. Además de involucrar una función determinada, es el mejor resultado posible en diseño, con la mejor utilización de material y la mejor distribución de esfuerzos de acuerdo a las condiciones del entorno específico y su función determinada.

La forma está directamente relacionada con cada uno de los cuatro elementos para el análisis de un ser natural desde la biónica, en los mecanismos y la estructura esta intrínseca como un método de solución a problemas funcionales y el entorno influye en ella de manera directa ya que es quien indica restricciones, elementos y fuerzas que condicionarán directamente en la morfología del organismo, mecanismo o estructura. La forma es un conjunto de elementos organizados y reconocibles que componen un todo estructurado.

Además de los conceptos de tipo estético como los tratados sobre proporción y los significados de la espiral o el número de Fibonacci, que se encuentran en la mayoría de seres naturales, haciendo relación a la armonía y la proporción, se han encontrado variedad de formas en la naturaleza que contienen un significado estrictamente funcional, su desarrollo geométrico permite desempeñar una actividad con mayor facilidad, adaptarse al entorno, desplazarse, reproducirse, etc.

Esta clase de geometrías que desempeñan una función determinada se pueden encontrar en partes específicas de los organismos, en determinados tipos de movimientos que faciliten funciones especiales o en el todo siendo la forma que mejor se desempeñe en un entorno específico.



Imagen 89. Formas de la naturaleza (ejemplos).

### 5.1.4.1. La Circunferencia.

En tanto producto de una evolución biológica, el ser humano guarda ciertos rasgos instintivos que lo hacen extrañar las formas naturales. El círculo pertenece a nuestras más tempranas impresiones: la luna, el sol, los ojos, la boca, una manzana, una pelota; el ser humano puede reducir todo lo que se ve en tres formas circulares: la esfera, el cono y el cilindro. Nuestra percepción trabaja de tal manera que al encontrarse ante una situación óptica compleja busca la forma de unidad más estable o de relaciones menos perturbadas con el medio ambiente.

La circunferencia emerge, por selección fundamental, en donde prevalecen los sistemas estables, siendo ésta el perímetro más corto en el que se encierra una superficie plana y siendo la esfera la menor superficie que encierra un volumen dado, es decir, un círculo provee la mayor área en el menor perímetro posible, esto se evidencia en un sin número de especies como la hoja que puede recibir la mayor radiación solar por medio de su forma circular.

La naturaleza ha privilegiado a la esfera en diferentes medios o sistemas, disminuye la velocidad del intercambio de energía, en su interior se encuentra mayor volumen con una mínima superficie externa, por lo que se hace más lento el intercambio de sustancias, la pérdida de calor, etc.

De la esfera emergen dos formas geométricas específicas, por medio de las condiciones del entorno y la función a desempeñar: el **óvalo** que tiene una resistencia a la flexión y rueda en la dirección perpendicular a su eje de simetría y el **cono** que soluciona de manera eficiente la resistencia de esfuerzos según el área que posea, en su base será más resistente, ya que posee una superficie mayor.

La esfera presenta las características siguientes:

- Simetría en todas las direcciones, lo que la hace más resistente a fuerzas de flexión.
- Disminución del intercambio de energía o materia en su superficie.
- Máxima área en el perímetro más corto.
- Movilidad, una superficie esférica tiene un solo punto de contacto con una superficie plana en la que se aplica el peso del volumen y respecto a esta rueda con facilidad.

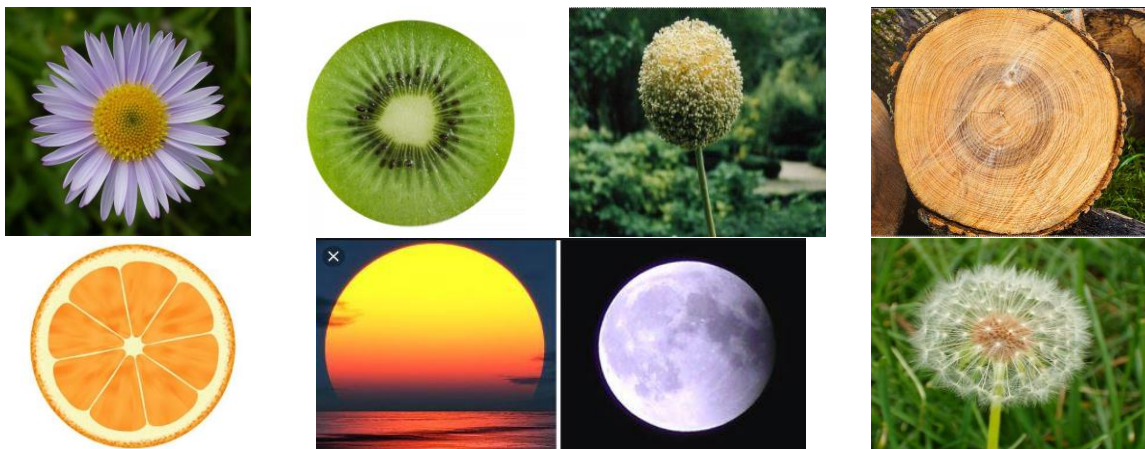


Imagen 90. La circunferencia en la naturaleza (ejemplos).

### 5.1.4.2. El Hexágono.

El hexágono es un polígono que está muy presente en la naturaleza. Al decir esto, probablemente el primer ejemplo es el de los panales de miel construidos por las abejas. Pero también se pueden encontrar hexágonos en el caparazón de una tortuga, en la piel de una serpiente, en las grietas de las rocas, en los copos de nieve, en las burbujas de jabón, etc.

Los copos de nieve tienen seis brazos que forman diversas figuras. Se cree que son seis, porque la estructura inicial del cristal es hexagonal y la variación de las condiciones de temperatura y humedad permiten la formación de brazos con estructuras disímiles.

A la abeja se le atribuye el número 6, tiene seis patas, su abdomen está dividido en seis segmentos, los paneles que fabrican son hexagonales. La racionalidad de las colmenas consiguen aprovechar el máximo espacio con el mínimo de estructura, conectando las celdas hexagonales con poca materia.

Teselar una superficie consiste en cubrirla con figuras de forma que no queden espacios sin cubrir y que dichas figuras no se superpongan. Un caso particular sería cuando la figura utilizada es siempre el mismo polígono regular. Este caso se conoce como teselado regular.

El triángulo, el cuadrado y el hexágono son los únicos polígonos que permiten hacer teselados regulares, cualquier otro polígono deja partes de la superficie sin cubrir.

La naturaleza utiliza como base de construcción de patrones el número seis y el hexágono. Se puede encontrar en las formas inorgánicas como: copos de nieve, cristales de minerales, estructura atómica de elementos (carbono), las columnas solidificadas del basalto, etc. Esta tendencia de la naturaleza a compactar las cosas en paquetes hexagonales produce un orden interno y externo eficiente.

En algunas estructuras de la naturaleza, los hexágonos han surgido de círculos sometidos a presión, de manera que se podría decir, que este tipo de geometría es la que llena mejor el espacio.

El hexágono propicia un ahorro de material con mayores beneficios, ya que su forma se acopla a otro hexágono, lo que permite llenar una superficie con un máximo de ahorro de material. Proporciona una gran resistencia a la flexión y la compresión por la disposición de sus celdas. El 6 representa las relaciones entre el micro y el macro, entre lo de arriba y lo de abajo, entre el cielo y la tierra.



Imagen 91. El hexágono en la naturaleza (ejemplos).

### 5.1.4.3. La Espiral.

Una espiral es una línea curva generada por un punto que se va alejando progresivamente del centro a la vez que gira alrededor de él. Normalmente se define con una función que depende de dos valores: el ángulo del punto respecto a un eje de referencia, y la distancia desde este punto al centro, situado en el vértice del ángulo.

El estudio de las espirales en la naturaleza tiene una larga historia, muchas conchas animales forman una espiral logarítmica. Las conchas se forman siguiendo una curva que rota en torno a un eje, de modo que la forma de la curva permanece constante pero su tamaño aumenta en progresión geométrica. En algunas conchas como Nautilus y las amonitas la curva generatriz gira en un plano perpendicular al eje y la concha se conforma como figura discooidal plana. En otras sigue un patrón espacial, con forma de hélice. También existe la aparición de espirales en la anatomía de diversos cuernos, pelambres, dientes, uñas y algunas plantas. La isla de Célebes, en el Pacífico, nos da una idea de figura en espiral.

En las conchas de los moluscos, en algunas algas y en la forma de los poros de la piel, se encuentra una espiral logarítmica tridimensional, a través de la cual el vapor de agua se escapa. En este tipo de estructura, el flujo de los líquidos y gases tiene lugar con mucho menos fricción y más eficiencia. Sobre la base de esa idea se han diseñado ventiladores, hélices, rotores, etc.

La espiral guarda una mayor superficie en un mínimo espacio, “empaqueta” la mayoría de las lenguas, trompas y colas de los animales, como también ramas y tallos de algunas especies vegetales se guardan en forma de espiral, evitando una superficie larga y suelta que traería múltiples problemas.

La espiral evidencia patrones de crecimiento continuo con una misma proporción, como la espiral logarítmica que es conocida como un “perfecto patrón de crecimiento”, mostrado en diferentes seres de la naturaleza como el nautilus, girasoles, semillas, etc.

La espiral es más frecuente en el reino animal y vegetal. En las margaritas, igual que en la forma en que se distribuyen las hojas de una rosa, hay familias enteras de espirales logarítmicas. En el caso de la margarita, ésta es la forma más eficaz de disponer sus semillas.



Imagen 92. La espiral en la naturaleza (ejemplos).

#### 5.1.4.4. La Hélice.

Una hélice, en geometría, es el nombre que recibe toda línea curva cuyas tangentes forman un ángulo constante ( $\alpha$ ), siguiendo una dirección fija en el espacio. La hélice es un círculo que rompe su finalidad y emerge en un plano perpendicular por una línea vertical que encuentra en el centro del círculo.

La espiral y la hélice son dos términos que se confunden fácilmente. Una espiral suele ser plana, mientras que una hélice, en cambio, siempre es tridimensional: es una línea curva continua, con pendiente finita y no nula, que gira alrededor de un cilindro, un cono o una esfera, avanzando en las tres dimensiones (como el borde de un tornillo).

Las formas helicoidales son muy abundantes en la naturaleza tanto a nivel microscópico (cadenas de proteínas, siendo las más famosas las que forman el ADN de los cromosomas de las células, nanotecnología, flagelos de bacterias etc.) como a nivel macroscópico (plantas trepadoras, dientes y cuernos de animales, conchas de caracoles, tornados etc.).

La función de la hélice en la naturaleza es, además de una trayectoria que permite mayor movilidad hacia una dirección alterna, permite envolver cierta clase de material con otro diferente, es el caso de algunas plantas o árboles que se unen formando hélices para agarrarse unas con otras y dar mayor resistencia a la tracción o se enrollan para obtener el mismo fin. La hélice permite un mejor enganche y mayor resistencia ante cualquier movimiento. Es una forma idónea para ahorrar espacio.

Las hélices son helicoidales porque su forma es dictada por los enlaces moleculares. Es una forma para agrupar una molécula larguísima, como el ADN, en un lugar atestado, como una célula. En el ambiente denso de la célula, las cadenas moleculares largas a menudo adoptan formaciones helicoidales ordenadas.

La forma espiral del ADN es dictada por el espacio disponible en una célula tal como la forma de una escalera de caracol es dictada por el tamaño de un apartamento.



Imagen 93. La hélice en la naturaleza (ejemplos).

### 5.1.4.5. La Curva.

Como consecuencia de los principios físicos universales, el movimiento hace que las cosas tiendan a constituir formas curvas o esféricas. Por ejemplo: los electrones; las estructuras erosionadas por el aire o el agua, como las piedras de río; los meteoritos; las gotas y los planetas; incluso los seres vivos más veloces se encuentran conformados por curvas. Esto se explica porque todo cuerpo que desarrolla cierta velocidad tiende a tener poca superficie para evitar la fricción.

En la naturaleza, el axioma de movimiento se encuentra en la línea curva, esto es, la trayectoria de un punto móvil entre dos posiciones por un camino que no es el más corto. Hay que recordar que las curvas son producto de fuerzas complementarias variables. Un río tiene una forma natural orgánica.

Las formas curvas tienen una razón de ser; todo movimiento natural se expresa mediante curvas, así se comprueba al observar las constelaciones, el desplazamiento de los astros, la salida y puesta del sol, el viento que sopla o las nubes. Todo producto natural es único e irrepetible.

La vida no puede considerarse como tal si carece de fluidez; las venas que alimentan el corazón de los animales, los tallos de las plantas, las olas del mar, etc. La línea recta no existe en los seres vivos, ni en la zoología, ni en la botánica.

La palabra *slalom* viene del noruego y sirve para describir las curvas que traza el esquiador sobre la nieve. En diseño, la distancia más corta entre dos puntos no es la línea recta sino el *slalom*, el cual, se describe como curvas con aceleración y desaceleración que representan la trayectoria controlada por el hombre.

El ser humano utiliza la forma curva en sus movimientos naturales alrededor de los objetos, al contrario de su idea generalizada respecto de la línea recta, que no existe en la biología. La curva en sí misma es más flexible y constituye la base de todas sus funciones.

En algunos diseños la curva sigue conservando su esencia original, como en los instrumentos musicales, accesorios de cocina y otros artefactos, son modelados con base en su funcionamiento ergonómico<sup>36</sup>.



Imagen 94. La curva en la naturaleza (ejemplos).

<sup>36</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p. 160.



### 5.1.4.6. Las Curvas Geométricas: Parábola, Catenaria, Onda.

Las curvas tienden a generar movimiento, es el caso de los invertebrados que facilitan su arrastre y desplazamiento por medio de movimientos ondulatorios respecto a un eje transversal o longitudinal, la onda en muchos aspectos de la física y la naturaleza es la forma para transmitir información, luz, sonido, etc., el sonido se propaga por medio de ondas longitudinales, la parábola concentra fuerzas, recibe e irradia lo que llega a ella.

La catenaria es una curva que adopta la forma en que cada uno de sus puntos este en equilibrio mecánico y las fuerzas que actúen sobre ese punto se anulen entre sí, ahorra material en grandes estructuras y soporta un mayor peso con estas propiedades.

Una **parábola** (del griego παραβολή) es la sección cónica, resultante de cortar un cono recto con un plano cuyo ángulo de inclinación respecto al eje de revolución del cono sea igual al presentado por su generatriz. El plano resultará por lo tanto paralelo a dicha recta. Se define también como el lugar geométrico de los puntos de un plano que equidistan de una recta llamada directriz y un punto exterior a ella llamado foco.

Una **catenaria** (del latín catēnariūs, “propio de la cadena”), es una curva ideal que representa físicamente la curva generada por una cadena, cuerda o cable sin rigidez flexional, suspendida de sus dos extremos y sometida a un campo gravitatorio uniforme.

La catenaria es la forma del eje baricéntrico que minimiza las tensiones. Esa propiedad puede aprovecharse para el diseño de arcos. De este modo un arco en forma de catenaria invertida es precisamente la forma en la que se evita la aparición de esfuerzos distintos de los de compresión, como son los esfuerzos cortantes o los de flexión.

Una curva catenaria invertida es un trazo útil para un arco en la arquitectura, forma que fue aplicada, entre otros y fundamentalmente, por Antoni Gaudí.

Una **onda** (del latín unda) consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, implicando un transporte de energía sin transporte de materia. El espacio perturbado puede contener materia (aire, agua, etc.) o no (vacío).

Una vibración puede definir las características necesarias y suficientes que caracterizan un fenómeno como la onda. El término suele ser entendido intuitivamente como el transporte de perturbaciones en el espacio, donde se considera el espacio como un medio en el que pueden producirse y propagarse dichas perturbaciones a través de él, al variar alguna de sus propiedades medibles.

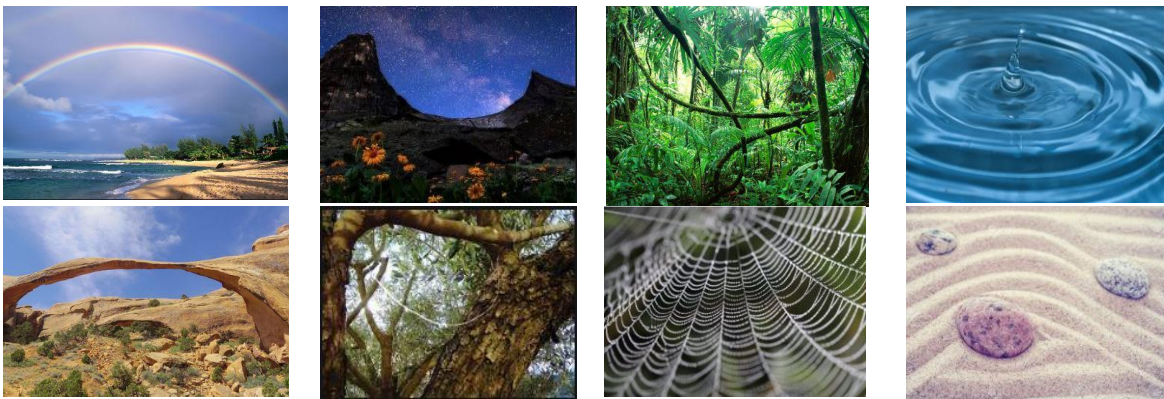


Imagen 95. Curvas geométricas en la naturaleza (ejemplos)

## 5.2. Metodología de la Biónica.

### 5.2.1. La Modelación.

El método fundamental empleado en las investigaciones biónicas es la **modelación**, que permite la formación de estructuras biónicas. En la biónica se emplea la modelación matemática y física. Para el estudio del modelo vivo, esta ciencia efectúa una modelación especial del entorno; es decir, reproduce las condiciones en que funciona el sistema vivo y en las que debe trabajar de forma práctica su análogo artificial.

Al estudiar los fenómenos y procesos biológicos, la biónica no procede a copiar ciegamente los “inventos” de la Naturaleza. Procura adoptar de ésta, en la construcción y en la tecnología, únicamente las soluciones más perfectas, que aseguren a los sistemas biológicos una extraordinaria flexibilidad y vitalidad en las complejas condiciones en que se desenvuelven<sup>22</sup>.

La modelación es el proceso mediante el cual se crea una representación para investigar la realidad. La naturaleza como modelo de referencia analógica, aporta significativamente como parte del proceso metodológico del proyecto de creación.

La modelación, como uno de los métodos más importantes para la ciencia, es el proceso mediante el cual se crean modelos con vistas a investigar la realidad. Es el método que opera en forma práctica o teórica con un objeto, no en forma directa, sino utilizando un sistema intermedio, auxiliar, natural o artificial.

La base metodológica del accionar de un creativo se fundamenta en la capacidad de observación. Asimismo, dota de la posibilidad de detenerse a mirar con un enfoque analítico y viendo lo que otros no ven a primera vista; la analogía se establece como una estrategia metodológica para entender y solucionar los diferentes problemas de proyecto.

La observación como base del método de creación y la analogía es de lo que los diseñadores se nutren para crear; se debe convenir que es de la analogía de aprender los modelos de la naturaleza que la Biónica aporta al mundo de la creación.

La naturaleza aplicada al diseño se sustenta fundamentalmente sobre los modelos de las estructuras presentes en el medio orgánico, no comparándola, sino con un análisis y estudio mediante el cual surgen ideas que posteriormente pueden ser aplicadas y desarrolladas en proyectos de diseño. Así, la Biónica se establece como instrumento y estímulo para observar mejor lo que en general se ve sin profundizar; acción de la que los diseñadores dicen emplear como base metodológica del proceso de creación.

La naturaleza ha servido como medio de inspiración, como tendencia estética que introdujo una fascinación por reproducir su forma.

Tomar a la naturaleza como referente es muy distinto que tomarla como referente analógico para el diseño. La analogía incorpora a la naturaleza como parte del método de creación. Un método que aparece como un aporte a los diferentes modelos de proyección utilizados. De esta manera la Biónica se hace adaptable e incorporable en cualquier método, aportando a la manera de pensar y hacer diseño y no descartando otras metodologías. Si se consideran la detección, el análisis, la proposición y solución, como los pasos metodológicos presentes en cualquier modelo de desarrollo de proyectos se podrá incorporar la etapa de “análisis de naturaleza” sin alterar su orden preestablecido.

Cualquier proyecto surge de una problemática que ha de ser detectada, como primer paso. De manera paralela el análisis de referentes artificiales, como parte de un proceso de estudio del arte, se podrá recurrir a la naturaleza y buscar desde una conceptualización y con exactitud lo que se quiere solucionar, como parte de un segundo paso.

---

<sup>22</sup> LITTINETSKY, I.B. *Iniciación a la Biónica*. Barral editores. Barcelona, 1975. p. 25.

Analizar un problema desde la biónica puede hacerse de dos formas: la primera, es a partir de un problema específico y con base en las características de este, buscar soluciones aproximadas en la naturaleza para su posterior estudio, la segunda opción, es estudiar bases biológicas que ofrezcan soluciones generales las cuales pueden ser depuradas en soluciones particulares para problemas específicos.

Aplicar la metodología de la biónica al diseño y desarrollo de productos, implica romper paradigmas y explorar nuevas soluciones formales y funcionales. Esta metodología aporta todo el conocimiento que la sabia naturaleza ha adquirido en los millones de años de su existencia y como la biónica logra una abstracción funcional de una analogía natural.

Los elementos esenciales de la biónica como metodología de diseño son: la relación hombre, artefacto y contexto y los elementos de análisis funcional desde el punto de vista de los sistemas naturales. Estos elementos, comunes a la mayoría de metodologías de diseño, son sintetizados a través de un análisis de sistemas naturales, que proporciona al diseñador la información necesaria para abordar el proceso de diseño.

La fusión de la biónica más el diseño conceptual redundan en una metodología aplicable en ingeniería de diseño, ya que se fundamenta en tres elementos claves: la **naturaleza**, como fuente de inspiración, conceptualizada posteriormente por una técnica analógica de la cual se obtengan soluciones innovadoras y superiores a las convencionales, la **ingeniería**, aportando sus fundamentos de carácter técnico-funcional con herramientas como el diseño conceptual que depuren la idea inicial y la traduzcan en objeto funcional y como un elemento primordial en el diseño, el **usuario**, quien usa, aprovecha y cuestiona un producto, convirtiéndose en el eje en torno al cual gira todo lo demás.

La biónica trabaja básicamente bajo dos tipos de sistemas:

- Sintético analógico, en este se toma la analogía como elemento fundamental y el desarrollo de modelos tomados de la naturaleza, como ejemplo: las construcciones estructurales con tensores basadas en las telarañas.
- Sintético compuesto, es la combinación de elementos técnicos con partes vivas, como ejemplo: las prótesis.

El diseño sustentado en la biónica como metodología, antepone las soluciones técnicas a las soluciones formales constituyéndose en una herramienta de amplia aplicación en la ingeniería de diseño de productos.

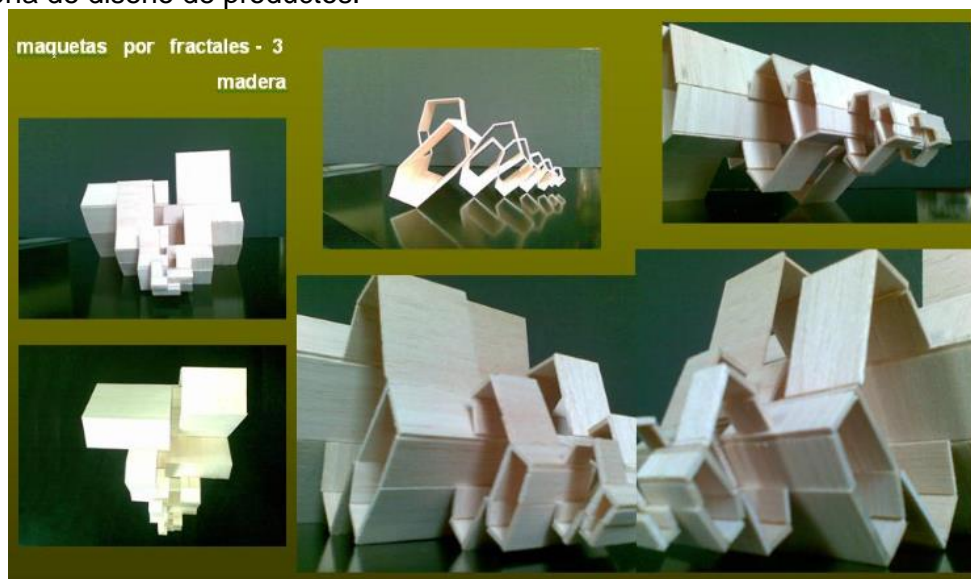


Imagen 96. Modelos de estructuras biológicas.

### 5.2.1.1. Etapas de la Modelación.

Las etapas del proceso de modelación, son las siguientes: **observación, abstracción y simplificación, análisis, diseño, e implementación, evaluación y validación.**

Etapa de Observación, Abstracción y Simplificación.

La **Observación** Científica consiste en examinar directamente algún hecho o fenómeno según se presenta espontáneamente y naturalmente, teniendo un propósito expreso conforme a un plan determinado y recopilando los datos en una forma sistemática. Cuando se habla de observación científica, se hace referencia al proceso de detallar un fenómeno cualquiera de la naturaleza con intención analítica y el propósito de recabar la mayor cantidad de información objetiva posible.

La primera y más importante consideración en cualquier observación consiste en determinar con exactitud, así como delimitar con precisión y sin ambigüedades lo que se va a observar.

La **Abstracción** es entendida como una operación mental, mediante la cual una determinada propiedad del objeto se aísla conceptualmente, para reflexionar.

En los diversos campos del saber, se puede encontrar la abstracción como base para desarrollar altos niveles intelectuales, como es en el caso de la investigación científica, el cual requiere llevar a un alto grado la abstracción como para poder hacer resúmenes, comparaciones, conclusiones y presentar un nuevo conocimiento.

Abstraer significa separar por medio de una operación mental las cualidades de un objeto para considerarlas aisladamente o considerar el mismo objeto en su pura esencia.

Se puede ubicar la abstracción en la parte del pensamiento, de la capacidad intelectual, considerando como elemento clave para la investigación científica, para la deducción, la lógica, la operacionalidad de muchos elementos o que tengan que ver con la creatividad.

La **Simplificación** metodológica tiene la ventaja de remitir el aparente desorden de los fenómenos al orden riguroso de las leyes naturales o de las regularidades empíricas.

El paradigma de la simplificación obedece a la visión de un mundo estático, ordenado, en equilibrio. Es una concepción simple de la realidad que se ubica en un polo o extremo del conocimiento.

El modelo científico clásico puede concebirse como un paradigma de la simplificación pues reduce el conocimiento de un todo a sus partes, restringe lo complejo a lo simple. Sin embargo, lo simple no existe, solo lo simplificado, el hombre simplifica el conocimiento porque no es capaz de comprender lo que verdaderamente ocurre en la realidad.

En el paradigma de la simplificación, está presente lo siguiente: reducción de lo complejo a lo simple, rechazo del desorden, separación entre objetos y contexto.

Etapa de Análisis.

- Construcción de modelos de la situación real que identifique propiedades relevantes.
- Comprensión del problema.
- Modelos de análisis: abstracciones concisas y precisas de lo que debe hacer el sistema
- Los objetos de los modelos son conceptos del dominio del problema.

Gabriel Songel, (Valencia 1961) Catedrático de Diseño en la Universidad Politécnica de Valencia, establece tres etapas en el desarrollo de análisis de la naturaleza: **divergencia, transposición y convergencia.** Si se establece “la flexibilidad” como concepto de análisis hipotético, en un proceso de divergencia, se podrán diferenciar tres expresiones del concepto principal: “lo elástico” como lo no rígido, “lo mórbido” como lo no duro y “lo

plegable” como lo no recto. Teniendo establecida estas diferencias de expresión del concepto “flexibilidad”, se podrá indagar en las características de cada una de ellas en una etapa de transposición, pudiendo diferenciar tres tipos de deformación como síntesis: una deformación homogénea, otra deformación irregular y una última deformación seccionada, cada una con un listado de características y diferencias formales y estructurales.

Por último, se puede concluir este proceso con una tercera etapa, que cierra o converge hacia conceptos específicos, cada uno de los tres conceptos preestablecidos: asociando “lo elástico” a una “flexibilidad retráctil” y con una propiedad “transformable”; lo “mórbido” a una “flexibilidad total” y con una propiedad “moldeable” y, por último “lo plegable” asociado a una “flexibilidad controlada” y con propiedad de “doblez”.

Bajo este método, se podrá incorporar un paso biónico dentro de la metodología de proyecto que se utilice, independientemente de la que sea. Hay que dirigirse a la naturaleza con un interés para enriquecerse de ella y, observando las soluciones que los diseñadores biológicos han dado, para llevarla por medio de analogías al desarrollo de nuestros proyectos, no copiándola sino tomándola como referente de creación<sup>19</sup>.

#### Etapa de Diseño.

##### - Diseño del Sistema:

- Decisiones de alto nivel sobre la arquitectura global.
- Identificación de subsistemas.
- Decisiones de optimización del rendimiento.
- Estrategias de resolución.
- Asignación inicial de recursos.

##### - Diseño de los Objetos:

- Construcción de los modelos de diseño a partir de los modelos de análisis.
- Detalles de implementación impuestos por las estrategias de resolución.
- Identificación de las estructuras de datos y de los algoritmos necesarios para: implementar cada clase, optimizar el rendimiento.

#### Etapa de Implementación.

- Codificación de los modelos de diseño en un lenguaje de programación.
- Ingeniería del software: ajuste al diseño, flexibilidad y extensibilidad.

#### Etapa de Evaluación y Validación.

La **Evaluación** de la actividad científica es un elemento imprescindible para todos los programas de investigación, tecnología y desarrollo que se implementan en una sociedad. En términos generales, los indicadores representan una medición agregada y compleja que permite describir o evaluar un fenómeno, su naturaleza, estado y evolución. La ciencia es un proceso social, y las acciones y conductas de los científicos dependen del contexto. Los indicadores de ciencia y técnica, como constructos sociales, miden aquellas acciones sistemáticas relacionadas con la generación, difusión, transmisión y aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos.

La **Validez** o **Validación** de un conocimiento es el hecho de ser reconocido como un conjunto consistente de proposiciones verdaderas por una comunidad determinada.

---

<sup>19</sup> CORONADO Rodolfo. Biónica y Metodología de Proyecto. Universidad UNIACC. Chile. 2005

La validez del conocimiento admite diversas formas y criterios según los campos o ámbitos en los que manifiesta su validez, cada una con sus formas y criterios de aceptación y reconocimiento.

### 5.2.2. El Modelo.

Un modelo es una representación o esquematización de un objeto real que, en el plano de la abstracción, el hombre concibe para caracterizarlo y poder, sobre esa base, darle una solución al problema planteado, es decir, satisfacer una necesidad y para facilitar su comprensión.

La modelación se considera un poderoso recurso auxiliar de la búsqueda teórica; ella permite caracterizar el fenómeno que se estudia en forma de imágenes visuales, de esquemas, de diseños. En algunos casos se llega a la descripción en término de fórmulas matemáticas, símbolos, matrices, etc.

La temática referida a la modelación y la elaboración de modelos, resulta de gran importancia para las ciencias que participan en la comprensión y la transformación del hombre, pero también se caracteriza por una indiscutible complejidad.

A la interrogante, ¿qué significa modelar?, surgen numerosas respuestas, tales como:

- Crear una representación explícita del entendimiento que una persona tiene de una situación, o simplemente de las ideas que se tienen acerca de una situación.
- Reproducir de manera simplificada la realidad, para descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio.
- La habilidad para describir la situación problemática que confronta un analista.
- Utilizar una abstracción que sirve para explicar la realidad.
- Elaborar un modelo para interpretar la realidad objetiva y transformarla en un beneficio.

La modelación es el proceso mediante el cual se crea una representación o modelo para investigar la realidad. Es el método que opera en forma práctica o teórica con un objeto, no en forma directa, sino utilizando cierto sistema intermedio, auxiliar, natural o artificial. El modelo viene siendo como un sustituto del objeto de investigación.

Por modelo se entiende lo siguiente:

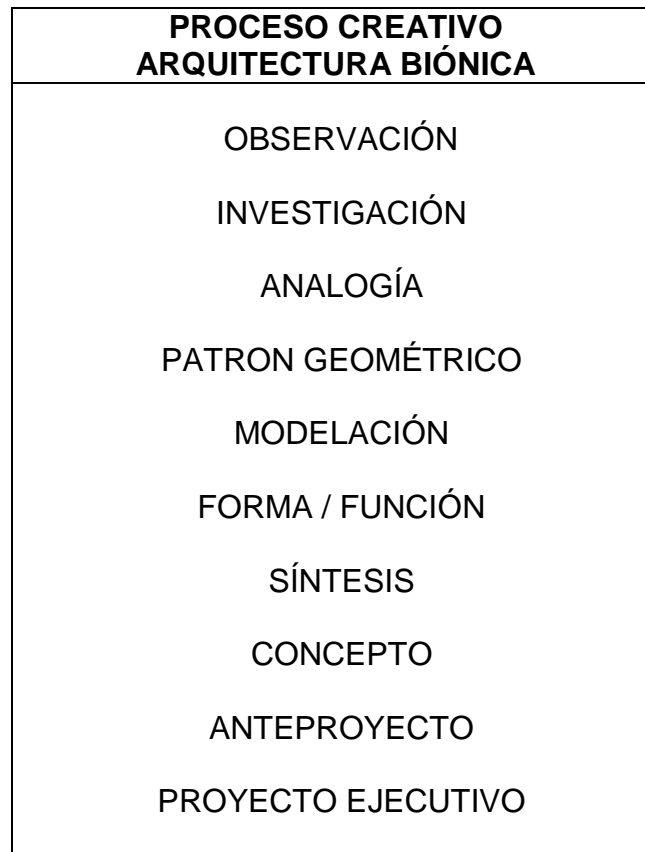
- Los modelos son un medio del pensamiento científico, una forma peculiar de abstracción de la realidad.
- Es un instrumento para predecir acontecimientos que no han sido observados aún.
- Es un sistema de representación. El conocimiento humano tiene lugar como modelo de nuestra experiencia del mundo.
- Es un cuasi-objeto intermedio auxiliar mediante el cual el conocimiento parece ser trasladado temporalmente del objeto que nos interesa a la investigación.
- El modelo científico es un instrumento de la investigación de carácter material o teórico, creado por los científicos para reproducir el fenómeno que se está estudiando.
- El modelo es una reproducción simplificada de la realidad, que cumple una función heurística, ya que permite descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio.
- Es una construcción teórico formal que fundamentada científica e ideológicamente interpreta, diseña y ajusta la realidad que responde a una necesidad histórica concreta.
- Un modelo puede ser definido como una herramienta conceptual para entender algún evento.

### 5.3. El Proceso Creativo.

#### 5.3.1. Etapas del Proceso Creativo.

La creación es un camino largo y difícil que requiere, además de la imaginación creativa, una imaginación lógica y ordenada. Sin embargo, existen formas de aproximarse al problema, ayudas para acercarse a él, instrumentos y criterios que son necesarios y funcionan como una serie de prerequisites de la creación arquitectónica. En la mayoría de los casos conviene seguir un proceso para diseñar, el orden propicia la libertad creativa<sup>1</sup>.

A continuación, se muestra el esquema como propuesta del proceso creativo de la arquitectura biónica con las diferentes etapas dentro del desarrollo de diseño para alcanzar la creación arquitectónica.



En el esquema general se debe apreciar que cada parte o etapa del proceso conforman un todo que continuará desarrollándose hasta pasar a la **Síntesis**; a su vez, esta última va a requerir la correspondiente imagen conceptual. Hay que señalar la importancia del **Concepto** en el proceso creativo.

Para llegar a una buena imagen conceptual, un diseñador debe ser, un creador libre y espontáneo; no debe someterse a un canon preconcebido y desconfiar de lo que pueda esterilizar la inspiración.

<sup>1</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.18.

### Observación

La observación se refiere al proceso de detallar un fenómeno cualquiera de la naturaleza con intención analítica y el propósito de recabar la mayor cantidad de información objetiva posible. Aspira a contemplar y entender la naturaleza en su estado más puro, es decir, sin intromisiones del hombre. Enfrenta los fenómenos naturales tomando en cuenta la mayor cantidad de contexto posible, procurando un entendimiento exhaustivo de las condiciones que influyen en el fenómeno.

La observación es fundamental en la aproximación sistemática y ordenada del fenómeno, para que los resultados sean lo más confiables posible.

### Investigación

La Investigación es un proceso sistemático y ordenado que busca entender la realidad para poder interactuar con ella y a la larga transformarla. De manera genérica se concibe a la investigación como una indagación, el seguimiento de un determinado interés, o bien la definición, propuesta y determinación de una solución a un problema específico con límites más o menos precisos. La investigación debe ser consciente, sistemática, útil, ordenada, debe plantear retos y metas posibles. En suma, la investigación es curiosidad con sistema, con un seguimiento ordenado la mayor parte de las veces, basado en la intuición y en las intenciones y en la razón del proyecto.

La investigación, al igual que el diseño, es una actividad condicionada por una multiplicidad de factores. Es por ello que no existe un procedimiento único o universal capaz de ajustarse a todas las necesidades y condiciones requeridas en cada caso.

La investigación en arquitectura todavía no tiene un estatus muy preciso, y constituye un ámbito de discusión y polémica. Se la coloca entre las ciencias del comportamiento, aunque, atendiendo a otros criterios, en ocasiones se ubica en los campos de la ingeniería, las disciplinas ambientales, el desarrollo urbano, las humanidades o incluso las artes. Esto genera ambigüedad y dificultad para que se reconozca con claridad la investigación en arquitectura, sus resultados y sus productos, sobre todo cuando se la somete a criterios derivados del análisis de otras disciplinas, para darle un sentido preciso a las características especiales de la investigación arquitectónica.

El futuro de la investigación en la arquitectura estará siempre en la creatividad, en lo posible desde la lógica constructiva, en la invención y la utopía como motivación permanente; en la investigación aplicada al desarrollo y a la tecnología como inspiración del espacio.

### Analogía

La palabra Analogía proviene del griego αναλογία (ana 'reiteración o comparación' y logos 'estudio'), significa comparación o relación entre varias cosas, razones o conceptos; comparar o relacionar dos o más seres u objetos a través de la razón; señalando características generales y particulares comunes que permiten justificar la existencia de una propiedad en uno, a partir de la existencia de dicha propiedad en los otros. En el aspecto lógico, permite comparar un objeto con otros, en sus semejanzas y en sus diferencias.

La analogía, por medio de la comparación permite establecer diferencias y de ahí surge su valor como medio para la invención.

Refiriéndose a la noción de la analogía en la arquitectura, la primera reflexión es sobre la analogía como relación aritmética o geométrica de algunas dimensiones del edificio o como relación de una parte del edificio con el conjunto del cual es parte.



Otro tipo de analogía en arquitectura se percibe a través de similitudes espaciales de un edificio con otros objetos, organismos o edificios, que han funcionado como prototipo. Varios son los ejemplos de edificios que presentan similitudes espaciales con otros casos de conceptos como por ejemplo casos desde la naturaleza y sus organismos, objetos o ciertas ideas de ellos. Analogías de este tipo pueden influir las nuevas aproximaciones tanto en nivel de la morfología como en nivel de la organización de los espacios.

La analogía simbólica, es aquella en donde su estructura tiene que ver directamente con imágenes o mensajes que transmiten los edificios, de acuerdo con su función o uso. Este tipo de analogía simbólica ha tenido gran aplicación y sobre todo resulta más efectiva a la hora de diseñar, porque transmite algún tipo de idea, lo cual se observa en varias estructuras arquitectónicas. Algunas analogías como estas se consideran como indirectas porque no se trata de elegir un modelo y repetirlo imitando ciertas partes de él, pero se trata de configuración del espacio de manera que permite la proyección de ideas o mensajes a través de una vía indirecta y menos perceptible.

### Patrón Geométrico

Los patrones geométricos son figuras geométricas de una misma forma, que se repiten en una serie. La geometría es parte esencial, para todas las profesiones que lo utilizan, el arquitecto, utiliza la geometría para realizar la división de los espacios y plasmarlos en los planos, los ingenieros se basan en la geometría para diseñar y crear estructuras de manera segura, un diseñador, utiliza la geometría, para la decoración de espacios que sean estéticamente agradables.

Los patrones geométricos pueden ser realmente flexibles, con muy buen efecto visual y dependiendo de su uso, muy funcionales. Muchos de los patrones geométricos han sido inspirados en la naturaleza, las ramas de los árboles, las conchas de los moluscos, las rayas de las cebras, son solo algunos ejemplos.

Todo el Universo fue creado por medio de principios básicos, desde la más pequeña partícula, hasta su totalidad, sigue un patrón geométrico. Los diseños que conforman la naturaleza están hechos de formas simples, entre ellas, círculos, cuadrados, triángulos, etc. La gran variedad de formas se debe a las diferentes configuraciones que se pueden generar a partir de estas formas simples que brindan armonía y belleza al mundo natural.

Los diseños que incorporan patrones geométricos, deben incluir ciertas características: **Equilibrio.** Los patrones geométricos llaman la atención y se les puede combinar fácilmente. Pero para no sobrecargar el diseño, se les puede equilibrar con elementos menos cargados, para que no saturen la vista. Es decir que, si se están usando patrones geométricos agudos y vibrantes se pueden combinar con espacios en blanco o elementos más simples.

**Complementación.** El patrón geométrico puede ser un complemento del diseño. De este modo se puede conjugar con la forma, los colores y la aplicación de esos complementos.

**Escalables.** Se puede jugar utilizando la escala, así se crea un patrón geométrico con grandes bloques o con patrones pequeños y más en detalle. Las formas geométricas pueden ser impactantes elementos en el diseño.

### Modelación

Como ya se mencionó, el método fundamental empleado en las investigaciones biónicas es la **modelación**, que permite la formación de estructuras biónicas. En la biónica se emplea la modelación matemática y física. Para el estudio del modelo vivo, esta ciencia efectúa una modelación especial del entorno; es decir, reproduce las condiciones en que funciona el sistema vivo y en las que debe trabajar de forma práctica su análogo artificial.

La modelación es el proceso mediante el cual se crea una representación para investigar la realidad. La naturaleza como modelo de referencia analógica, aporta significativamente como parte del proceso metodológico del proyecto de creación.

La modelación, como uno de los métodos más importantes para la ciencia, es el proceso mediante el cual se crean modelos con vistas a investigar la realidad. Es el método que opera en forma práctica o teórica con un objeto, no en forma directa, sino utilizando un sistema intermedio, auxiliar, natural o artificial.

La modelación es la reproducción de determinadas propiedades y relaciones del objeto investigado en otro objeto especialmente creado (modelo) para su estudio detallado.

La modelación presenta las características siguientes: es un proceso de abstracción, su función fundamental: descubrir y estudiar, nuevas cualidades, relaciones, principios o leyes del objeto de estudio, paradigma estable o transitorio, de quienes continúan adentrándose en la esencia de un fenómeno, su forma externa o envoltura suele expresarse como diseño de: estrategias, formas, tecnologías, instrumentos o proyectos.

Algunos principios en los que se basa el estudio de la modelación son:

**Deducción por analogía** (de lo general a lo particular en la práctica). Semejanza con el original. Se pretende establecer semejanzas entre facetas, cualidades y componentes del objeto real y el modelado.

**Consistencia lógica** (sustentado en leyes de la ciencia del objeto de investigación). Asegura estabilidad, solidez y fundamentación científica a los elementos teóricos que sustentan el modelo.

**Enfoque sistémico** (relaciones y estructura). Posibilita revelar las cualidades resultantes del objeto de investigación, mediante las relaciones que se tienen que dar entre los componentes del modelo.

**Simplicidad y Asequibilidad.** Sin perder el valor y el carácter científico, el modelo debe ser comprensible, funcional y operativo.

#### Forma-Función

Uno de los aspectos más fascinantes de la eficiencia de la naturaleza es la relación que se presenta entre las formas y geometrías naturales con la función que debe realizar el organismo o el sistema. De esta manera, dentro de la naturaleza, la forma y la función van siempre de la mano.

La biónica se emplea en diseño y a través de la observación, selección y análisis de modelos biológicos ofrece diferentes aplicaciones y soluciones a problemas de orden tecnológico en diferentes disciplinas y ramas de la ciencia.

Existen cuatro elementos básicos para lograr una abstracción desde la biónica de un ser vivo. Estos elementos están directamente relacionados entre sí y son: la forma, los mecanismos, la estructura y el entorno con una característica común: la funcionalidad. Utilizando la metodología analógica de la biónica es posible observar como estos elementos son también complementarios, por lo cual se puede llegar a un análisis en donde la forma es estructura y además fundamento de mecanismos.

La biónica trabaja sobre cuatro ejes fundamentales: la **forma**, la **función**, el **contexto**, y la **estructura** vista desde los materiales.

De la naturaleza se pueden abstraer los siguientes principios que son fundamentales para una correcta visión de la forma en el diseño partiendo de la biónica:

- La forma no es simplemente una característica morfológica sino también una característica funcional que contribuye al perfecto funcionamiento del organismo vivo.

- No surge al azar, sino que encierra diferentes capacidades que ayudan a la supervivencia de los seres vivos optimizando diferentes procesos que estos realizan fundamentados en la evolución y la selección natural.
- La forma siempre esta dictada por ahorro de energía, espacio, material y simplicidad, y es el resultado de la mejor adaptación del organismo ante las fuerzas externas que actúan sobre él, es decir, además de involucrar una función determinada, es el mejor resultado posible en diseño.
- La forma está relacionada con cada uno de los cuatro elementos para el análisis de un ser natural, en los mecanismos y la estructura esta intrínseca como un método de solución a problemas funcionales y el entorno influye en ella de manera directa.

Una de las partes esenciales del diseño de la naturaleza, así como del diseño creado por el hombre, es el llamado **funcionamiento**. La función está íntimamente ligada a la forma; casi se podría decir que no hay forma sin función, como tampoco función sin forma.

En la Naturaleza, cada parte contiene un significado funcional con relación al todo. Si se observa la forma y las características de una hoja, un ave o un caballo se encuentra que tienen una razón precisa para ser tal como son: sus formas cumplen una función y siempre son bellas. En la Naturaleza la relación entre forma y función, son lo mismo.

El funcionamiento, como concepto arquitectónico autónomo, implica un aspecto físico y otro psicológico. El funcionamiento físico, material o fisiológico comprende nociones de economía, tiempo, movimiento y ubicación. El funcionamiento psicológico, anímico o espiritual comprende nociones tales como alegría, serenidad, tranquilidad.

### Síntesis

La síntesis se define como una composición de un todo por la reunión de sus partes. Sintetizar es un proceso intelectual que no solo abstrae el contenido de un escrito, sino que, además emite juicios de valor al respecto. Quien sintetiza aporta su punto de vista acerca de las ideas más importantes de un material de estudio. En la síntesis se debe exponer la opinión, manifestar el acuerdo o desacuerdo con las ideas contenidas en algún texto y explicar el porqué de la postura que se tiene.

Algunas características de la síntesis son las siguientes:

- Se basa en el método inductivo (de lo particular a lo general).
- Parte de un análisis.
- Analiza, abrevia.
- Reúne varios hechos aislados.
- Se redacta con fidelidad, exactitud y claridad.
- La exactitud se refiere a la expresión de una idea clara, precisa.
- Por claridad se entiende el orden en la expresión de las ideas.

La síntesis exige un proceso mental de elaboración que transforma lo leído en elementos comprendidos y asimilados. Por lo que nos muestra la esencia de un texto o un estudio a través de un "rehacer, re-componer y resumir", teniendo a su vez condiciones y procesos que le son indispensables.

Existen dos condiciones para realizar una verdadera síntesis:

- a) La fidelidad de la síntesis al conocimiento o realidad referida. No debe tener ni más ni menos de lo necesario, sino aquello que es suficiente y sin lo cual no podría entenderse de manera completa el conocimiento sintetizado.
- b) La extensión que por su importancia debe tener la síntesis, dentro de un orden que establece la realidad sintetizada, esto es, la extensión de una parte es proporcional a su importancia en el todo.

### Concepto

Así como la Naturaleza ofrece infinidad de conceptos, el hombre debe lograr libertad, originalidad y espontaneidad, haciendo a un lado formalismos considerados *a priori*. En otras palabras, se debe poner todo el empeño, toda la capacidad de trabajo, en la elaboración de cualquier obra que emprendamos; pero, para que el resultado final pueda ser considerado como obra de arte, ha de aparentar haber sido hecho sin ningún esfuerzo, como el fruto de una inspiración despreocupada.

Lograr un concepto auténtico resulta como meter en un embudo, condicionantes obtenidas de la información y de la investigación; el programa de necesidades; los imperativos ambientales, tales como vientos dominantes, topografía, orientación, etc.; y todas las condicionantes culturales y económicas. Asimismo, deberá verterse a este embudo el esquema de funcionamiento que contemple el análisis de áreas y su zonificación. Todos los elementos deberán ser claros y concretos. En la integración de éstos empieza propiamente el proceso creativo, es ahí donde se gesta una idea<sup>2</sup>.

**Conceptualizar.** El acto de conceptualizar está estrechamente vinculado a la necesidad de las personas de expresar sus ideas, de hacerse entender por sus semejantes en torno a producciones de valor intelectual.

Los conceptos permiten elaborar ideas asociadas y fundamentadas a través de argumentos, para comunicar o explicar la creación de una obra.

De ahí que la asociación de conceptos e ideas permiten explicar los juicios y los puntos de vista que defienden los diseñadores en los procesos de creación a través de la argumentación. Los argumentos acerca de la creación intelectual aparecen cuando se ha alcanzado un determinado nivel de madurez en torno al dominio del objeto de estudio.

El concepto se puede definir como:

- Una idea generalizada.
- Un brote que posteriormente se amplía y explicara en detalles.
- Una idea acerca de la forma, que surge al analizar los problemas.
- Una imagen mental surgida de la situación existente en el proyecto.
- Una estrategia de las necesidades del proyecto a la solución expresada en el edificio.
- Las primeras ideas del Arquitecto acerca de la morfología del edificio.

El concepto arquitectónico no es otra cosa que el enfoque personal que cada arquitecto da a una posible solución espacial.

Todo arquitecto debe guiar sus dibujos a partir de una idea generadora. Conforme se avanza en el proceso de diseño, se va profundizando en las características del espacio-forma, lo que nos lleva a mantener o modificar nuestro concepto arquitectónico original.

Al sintetizar toda la información analizada, se realiza un ejercicio mental que permite tener una idea clara de lo que es el problema.

El concepto de diseño es una idea que guía el proceso de diseño, y sirve para asegurar una o varias cualidades del proyecto: imagen, funcionalidad, economía, mensaje, etc.

El reto para el diseñador es, conforme al tipo de proyecto en cuestión, seleccionar el adecuado tipo de concepto que aplicará. De hecho, puede incluso señalarse que en diseño no hay buenos ni malos conceptos, sino buena o mala elección de conceptos.

Existen diferentes tipos de conceptos, los cuales se basan en:

**1. Analogía con la naturaleza.** Estudia las formas orgánicas de animales, vegetales o minerales, para reinterpretarlas y expresarlas en un diseño.

**2. Analogía con otros proyectos.** A partir de prototipos arquitectónicos, evoluciona el diseño de los mismos con aportación, incluso de un tipo de edificio diferente.

---

<sup>2</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.21.

**3. Metáforas formales.** Relaciona su diseño formal con objetos conocidos, sin copiarlos de manera idéntica. (No obstante, en algunos casos la copia sí puede ser casi idéntica).

**4. La metáfora de alguna idea.** El diseñador expresa en tres dimensiones alguna idea intangible, como la tranquilidad, el silencio, la pasión.

**5. Explotación formal.** Predomina el lenguaje formal, regular o irregular, pudiéndose usar el módulo. Entra en acción el juego perceptivo luz y sombra.

**6. Inspiración vernácula.** Tiene como base la arquitectura hecha por sus habitantes.

Posteriormente, el concepto se expresa y se desarrolla en el **Anteproyecto**, para después pulirlo en el **Proyecto Ejecutivo**, pretendiendo así, un todo armónico: la unidad.

En el proceso creativo del diseño los tres primeros puntos (Información, Investigación y Esquema de Funcionamiento) deben cimentar, clara y firmemente, la base sobre la cual se levantará el proyecto.

Para llegar a una buena imagen del concepto no basta con tener una visión general, sino que, el acto creativo será el resultado del trabajo continuo y el fruto del esfuerzo de muchos años de constante dedicación y esfuerzo mental. La inspiración manifiesta el trabajo que se gesta en el subconsciente. Si la mente se ocupa con insistencia de un problema determinado, puede hallar “repentinamente” la solución al mismo. Así pues, el verdadero artista siempre expresa lo que piensa<sup>3</sup>.

#### Anteproyecto

Es una representación gráfica de la solución arquitectónica al problema planteado. El contenido debe reflejar cada una de las cualidades de la solución: funcionalidad, escala, proporción, composición plástica, jerarquía de los componentes, etc. El método del anteproyecto es la elección de tipos de representación, elementos a representar y objetivos de la representación a fin de que el proyecto sea entendido por el cliente. Entre los tipos de representación se encuentran: 1) **Proyección ortogonal**, 2) **Representación espacial**, 3) **Modelo**.

Para la integración de esta etapa se recomienda presentar en cuanto a la Proyección ortogonal: Planta(s) arquitectónica(s): Se deberá indicar: norte geográfico, elementos de ambientación tales como muebles, niveles, abatimiento de puertas, vegetación, cotas generales (ya que aún es una aproximación). Corte(s): Estas secciones son importantes ya que se pretende que clarifiquen las cualidades espaciales, se deberá indicar: escala humana, mobiliario. Fachadas: Indicar cotas generales, elementos de ambientación tales como escalas humanas y vegetación.

Por lo que respecta a la Representación espacial: Perspectivas interiores y exteriores que sugieran una secuencia espacial y refuerzan la intencionalidad de las fachadas.

En cuanto al Modelo se recomienda la entrega de una maqueta. Los elementos de la representación del anteproyecto lo conforman los materiales, los instrumentos, las técnicas a utilizar y la elección de estos, así como los tipos de representación dependerán de los objetivos del diseñador, de lo que se quiera expresar al cliente, del énfasis que le quiera dar a su proyecto o a algún punto en especial.

Resulta recomendable la elaboración de una o varias láminas que expresen el proceso de conceptualización de la propuesta, que muestren el resultado final, así como el desarrollo de las distintas partes del proceso de diseño y su concepción.

El anteproyecto es una representación que explica, por primera vez, de manera gráfica, pero con carácter preliminar, cómo está concebido el edificio. En caso de que el anteproyecto sea aprobado, entonces se realiza el proyecto definitivo.

---

<sup>3</sup> SENOSIAIN, Javier. *Bio Arquitectura*. Ed. Limusa. México, 1998. p.24.

El objetivo principal de un anteproyecto es transmitir la idea general de la obra en estudio. Para facilitar esta tarea, debe ser acompañado de una memoria escrita o visual, un presupuesto estimativo y una descripción de los métodos que se considerarán en la construcción.

Los componentes del anteproyecto varían en cada caso, pero por lo general incluyen los siguientes elementos:

- **Conceptualización.** Consiste en una explicación sobre el proceso para llegar a la solución que se propone. De esta forma pretende exponer los conceptos y argumentos en los que se basaron las decisiones.
- **Memoria Descriptiva.** Descripción general de la edificación, programa de necesidades uso característico del edificio y otros usos previstos, relación con el entorno. Cumplimiento de la Norma de Construcción correspondiente y otras normativas específicas, normas de disciplina urbanística, ordenanzas municipales, edificabilidad y funcionalidad. Descripción de la geometría del edificio, volumen, superficies útiles y construidas, accesos y evaluación con el entorno. Descripción general de los parámetros que determinan las previsiones técnicas a considerar en el proyecto respecto al sistema estructural.
- **Planos Arquitectónicos.** Son el eje guía del diseño arquitectónico y del croquis principal. Juegan un papel importante en el anteproyecto, explican de manera gráfica el diseño de las plantas, cortes y elevaciones del edificio. A pesar de que el dibujo se realiza a escala, debe ceñirse a los resultados estudiados y responder a las disposiciones vigentes establecidas por las autoridades.
- **Presupuesto.** Valoración aproximada de la ejecución material de la obra proyectada por capítulos generales o fases contempladas, con estimación global, por superficie construida u otro método.

El Anteproyecto es el paso preliminar a la definición del proyecto y corresponde al 20% del desarrollo íntegro. Contempla en general la propuesta arquitectónica y estructural, relacionada con todos los sistemas que intervienen en la obra. Es una integración del todo que permite una apreciación global de la idea.

#### Proyecto Ejecutivo - Definitivo

Un proyecto de arquitectura es el conjunto de documentos mediante los cuales se definen y determinan las exigencias técnicas de las edificaciones, justificando las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normatividad aplicable. El proyecto describe la edificación y define las obras con el detalle suficiente para que puedan valorarse e interpretarse inequívocamente durante su ejecución, así como también contiene la distribución de todos los espacios y los acabados que la integran.

Un **proyecto arquitectónico** es el conjunto de planos, dibujos, esquemas y textos explicativos utilizados para plasmar (en papel, digitalmente, en maqueta o por otros medios de representación) el diseño de una edificación, antes de ser construida. El proyecto arquitectónico completo comprende el desarrollo del diseño de una edificación, la distribución de usos y espacios, la manera de utilizar los materiales y tecnologías, la elaboración del conjunto de planos, con detalles y perspectivas.

El fin de todo el proceso de diseño, es el **Proyecto Ejecutivo** que se define como el conjunto de planos, dibujos, esquemas y textos explicativos (memoria y presupuesto general) utilizados para definir adecuadamente el edificio. Se representa el edificio en plantas, elevaciones o alzados, cortes o secciones, perspectivas, maqueta, modelo tridimensional (mediante técnicas por computadora) u otros, a consideración del cliente y

del diseñador. Todos los planos deben estar a escala y debidamente acotados según los lineamientos del dibujo técnico, marcando las dimensiones del edificio y su ubicación en el terreno, su orientación con respecto al norte magnético, la configuración de todos los espacios, su calidad y materiales, y los detalles de diseño especiales.

Un Proyecto Ejecutivo es la solución constructiva del diseño de un edificio, representado gráficamente de manera bidimensional y tridimensional. Consiste en un conjunto de planos detallados y especificaciones de materiales y técnicas de construcción para su ejecución.

Se trata de un paso posterior al proyecto arquitectónico y se elabora cuando el diseño ha sido aprobado por el cliente y su construcción es inminente. Su principal diferencia con el proyecto arquitectónico o proyecto básico estriba en que el anterior describe gráficamente “qué se va a hacer”, en tanto que el proyecto ejecutivo especifica “cómo se va a hacer”. Trabajando sobre la base de los planos que integran el proyecto arquitectónico, se agrega información y especificaciones técnicas destinadas al constructor y los diversos contratistas que explican con detalle, qué materiales y qué técnicas se deben utilizar.

Este grupo de planos incluye los datos técnicos de diseño estructural y de cimentación de la futura construcción. Los planos de instalaciones incluyen las especificaciones técnicas de cada instalación para su correcto funcionamiento. El juego de planos también incluye todas las especificaciones de acabados que se emplearán en la construcción final.

Todo proyecto de edificación se desarrollará con los elementos siguientes:

- **Topografía.** Se realizará el análisis y se representará el terreno donde se desplantará la nueva edificación, por medio de un estudio de mecánica de suelos, y se determinarán los rellenos y cortes necesarios, por ejemplo, en caso de que existan grandes desniveles.
- **Arquitectónicos.** Para comenzar el proyecto ejecutivo debe de contener todos los planos arquitectónicos. Estos planos son los que plasman la forma y estilo del proyecto todo lo que se proyecte aquí será respaldado por los siguientes planos ya más a detalle y específicos del funcionamiento.
- **Envolvente.** Definición constructiva de los distintos subsistemas que componen la fachada del edificio, con descripción de su comportamiento ante las acciones a las que se encuentra sometida (peso propio, viento, precipitación pluvial, nieve, sismo, etc.), contra el fuego, seguridad de uso, evacuación de agua y comportamiento frente a la humedad, aislamiento acústico y sus bases de cálculo. El aislamiento térmico de dichos subsistemas, la demanda energética máxima prevista del edificio y su eficiencia energética.
- **Estructura.** Descripción gráfica y dimensional de todo el sistema estructural (cimentación, estructura portante y estructura horizontal). En lo relativo a la cimentación, se incluirá además su relación con el entorno y el conjunto de la obra. Basados en el cálculo estructural y en el sistema constructivo que se requiere o se ha dispuesto utilizar, se desarrollan los planos de los sistemas constructivo y estructural, y los detalles que concuerden con los cálculos y especificaciones lógico-constructivas. Una vez calculadas cargas, esfuerzos y acciones complementarias, se elaboran las medidas para la estructura. Por otro lado, también se debe realizar el plano relativo a especificar el tipo de sistema constructivo, su desarrollo y dimensionamiento de elementos.
- **Instalaciones.** Descripción gráfica y dimensional de las redes de instalación en planta, secciones y detalles. Los planos de instalaciones son una parte del complemento técnico que debe ser abordado y desarrollado en una edificación. Estos planos serán tan explícitos que no dejen la menor duda a los especialistas de cada ámbito. Un proyecto convencional debe resolver cuando menos las instalaciones hidráulicas, sanitarias, de gas

y eléctricas. En la actualidad se requiere un esfuerzo mayor por parte de los arquitectos e ingenieros, para poder organizar y reutilizar la energía y materiales sin desperdicios, empleando la tecnología actual tanto como sea posible.

- **Acabados.** Este tipo de planos se realiza para poder establecer los materiales finales asignados a cada espacio o lugar; con ellos se podrán cuantificar los costos y visualizar los límites de cada material al realizar los acabados. Cuando se decide hacer un diseño particular y aclararlo con mayor precisión, se recurre a los detalles. Estos deben estar indicados en dichas plantas de acabados. Los acabados también se muestran en fachadas y cortes. Mediante este sistema se señalizan con sus materiales de acabados todos los muros, pisos, plafones y techos en plantas, fachadas y cortes.

- **Detalles constructivos.** En los planos constructivos y de detalles se desarrollan todos los datos técnicos llevados a cabo en un cálculo previo. Los detalles se realizan de acuerdo con la experiencia y pericia del constructor y las recomendaciones obtenidas en obras realizadas con anterioridad. Pueden existir propuestas lógicas e innovadoras, que sean probadas y resulten ser alternativas que dispongan de una máxima seguridad.

- **Urbanización.** Se refiere a la planificación y análisis de vías de comunicación, calles, plazas, infraestructura, edificios públicos e importantes que se encuentran cercanos al proyecto que se está desarrollando. Una urbanización requiere de electricidad, agua potable, recolección de residuos y transporte, entre otros servicios básicos.

- **Sustentabilidad.** En caso de estar implementado alguna ecotécnica se deben adjuntar en el proyecto ejecutivo todos los planos necesarios para poder ejecutarlas en obra. La arquitectura sustentable, es un modo de concebir el diseño arquitectónico de manera sostenible, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de la edificación, para minimizar el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes.

- **Normatividad.** Cumplimiento de la Norma de Construcción: la justificación se realizará para las soluciones adoptadas conforme a lo indicado en el respectivo Reglamento de Construcción, también se justificarán las prestaciones del edificio que mejoren los niveles mínimos exigidos. Cumplimiento de otros reglamentos y disposiciones: Justificación del cumplimiento de otros reglamentos obligatorios y justificación del cumplimiento de los requisitos básicos relativos a la funcionalidad como pueden ser ordenanzas municipales.

- **Memoria descriptiva y constructiva.** En este conjunto de documentos se recopila y detalla información del proyecto para describir, explicar y justificar el porqué de las soluciones adoptadas en el proyecto. También se describe el proceso constructivo y el tiempo estimado que se llevara la construcción.

- **Presupuesto.** Es el cálculo monetario que se estima para la construcción de un proyecto. Debe estar compuesto por una composición cualitativa y cuantitativa de todo lo que se necesitará, aplicar los precios de cada elemento y obtener su valor aproximado. Cuadro de precios unitarios desglosados, agrupados por capítulos, con expresión del valor final de ejecución y contratación de proveedores.

El proyecto contendrá tantos anexos como sean necesarios para la definición y la justificación de las obras.



## 5.4. Diseño Biónico-Arquitectónico.

### 5.4.1. Prototipos estructurales de conchas marinas.

La Universidad Nacional de Singapur (UNS) realizó un estudio de las formas naturales, como base para la generación de estructuras arquitectónicas. El experimento comenzó con una interesante premisa: en lugar de continuar con los precedentes de la construcción y los principios estructurales clásicos, los estudiantes analizaron las formas naturales de las conchas marinas. Esto llevó a dos resultados: una interpretación escultórica (modelos) relacionada con una metáfora estructural y una interpretación estructural relacionada con un entendimiento teórico de la superficie de las estructuras. Además, dos atributos dinámicos de moluscos vivos influenciaron estas interpretaciones: el crecimiento de sus conchas y la habilidad motora de estos animales y sus órganos.

El estudio comenzó con la clasificación de los sistemas que se utilizan para el análisis de las conchas. Los moluscos son categorizados de acuerdo con sus principales características, tales como su forma y superficie morfológica, su alimentación, respiración, reproducción y sistemas de crecimiento. De gran interés para el estudio fue el descubrir que las conchas de los moluscos crecen con un mínimo de carbonato de calcio depositado en ciertos lugares específicos y en capas para lograr un máximo de fuerza y rigidez de la concha. Los pliegues, las costillas y las espirales que resisten ambas fuerzas (internas y externas) sirven para fortalecer la estructura de la superficie de la concha<sup>26</sup>.

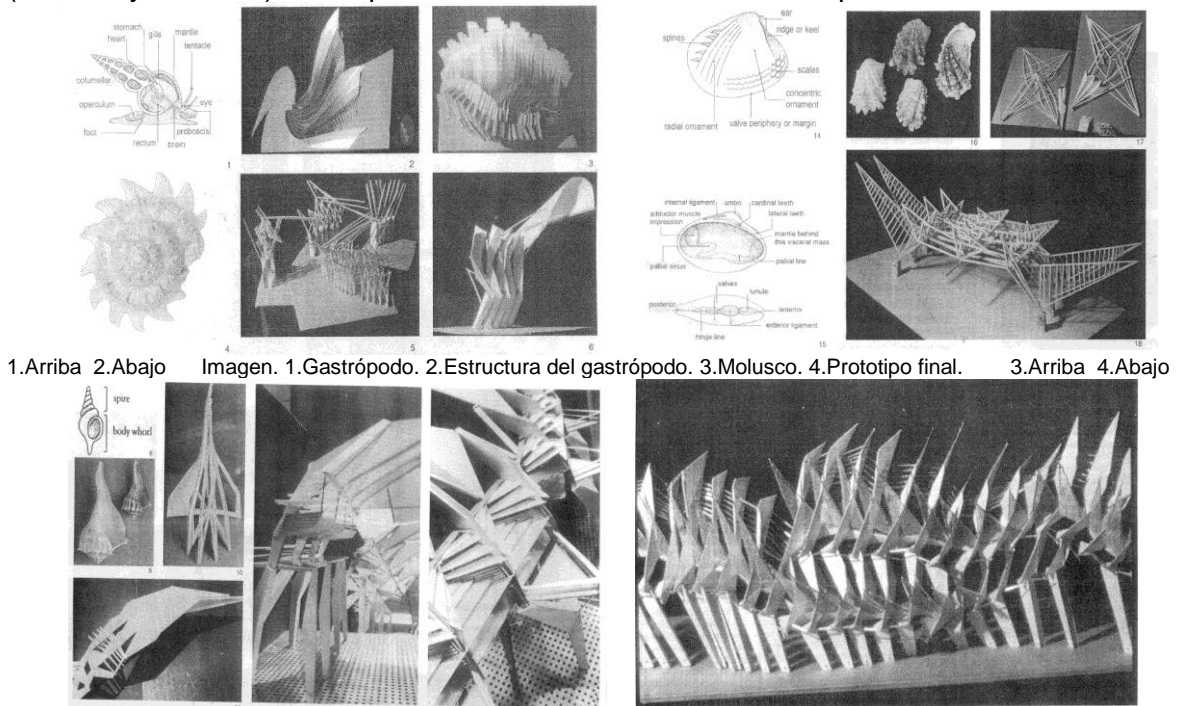


Imagen 97. Análisis de formas naturales, prototipos de conchas marinas para estructuras arquitectónicas.

También se realizó un análisis a los mecanismos biológicos que permiten el movimiento de varias partes del organismo. Estos mecanismos con la virtud de su habilidad para regular la porosidad de acuerdo a la luz, agua y aire o para proteger al animal de elementos ambientales adversos, tienen el potencial para ser trasladados a otras características arquitectónicas, tales como proteger la estructura de un edificio.

<sup>26</sup> LIM Joseph.(2003) Structural Prototypes from Seashells. Journal of Architectural Education. UNS.

### 5.4.2. Almacén “Selfridges”.

El fundador del estudio de arquitectura y diseño Future Systems, Jan Kaplicky (Praga 1937-2009), murió el 14 de enero en su ciudad natal, donde se le resistía el que consideraba el mayor proyecto de su carrera, la controvertida Biblioteca Nacional.

Kaplicky es conocido por sus realizaciones inspiradas por formas orgánicas, como las redes de la araña, las alas de mariposa o las escamas de los peces. Su arquitectura paradójica, entre lo orgánico y lo tecnológico, tiene una estética pop, de cómic, que más allá de un lenguaje propio encierra un convencimiento: la negación del edificio-caja<sup>39</sup>.

El edificio de los almacenes **Selfridges** de Birmingham presenta un distintivo especial su forma curva y su fachada recubierta con discos de aluminio; que reúne los elementos estéticos de lo que pretende ser la arquitectura biónica. Completado en 2003 se ha convertido en uno de los edificios más representativos de la ciudad por su diseño.

La construcción del centro comercial Selfridges ha respondido a dos objetivos diferentes pero complementarios: crear un icono urbano capaz de captar la atención de sus habitantes y de los turistas, y reforzar la identidad de una marca que hoy se refleja en la imagen de esta extraordinaria arquitectura.

El revestimiento, de discos de aluminio anodizado, enfatiza la curvatura del edificio que, en el exterior carece totalmente de rótulos, casi como queriendo esconder su propio contenido. Las entradas son cuatro, una de las cuales es un puente acristalado que conecta el jardín y el restaurante panorámico con el estacionamiento.

También el interior refleja la fluidez y la sinuosidad del exterior, tanto en la flexibilidad de la organización de los espacios, como en el modo en que la luz penetra en los diversos ambientes. Los espacios comerciales, de 4.5 metros de altura, se reparten alrededor de un gran atrio a toda altura.

La envoltura de este edificio es al mismo tiempo arquitectura, estructura y piel: los discos son el fruto de una elección estética, tecnológica y de tipo de mantenimiento, ya que pueden ser reemplazados individualmente y con facilidad. El aluminio anodizado, del que están constituidos, ofrece además una óptima base para crear efectos irisados, juegos de luz y reflejos<sup>41</sup>.

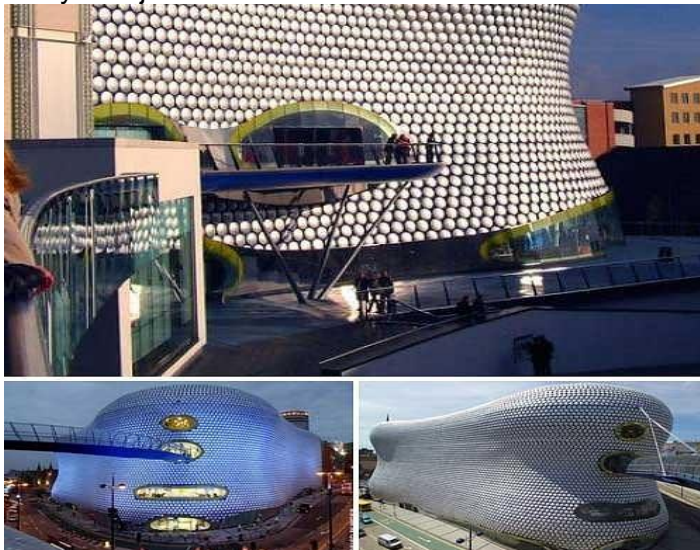


Imagen 98. Almacén Selfridges. Diferentes vistas del edificio.

<sup>39</sup> Recuperado de <http://www.aq.upm.es/especiales/futuresystem>. 2009

<sup>41</sup> Recuperado de [http://www.arqchile.cl/almacenes\\_selfridges](http://www.arqchile.cl/almacenes_selfridges). 2004

### 5.4.3. Acuario de Copenhage “Planeta Azul”.

Inspirado en el movimiento del océano, está el proyecto de un nuevo acuario para la ciudad de Copenhage en Dinamarca. El diseño se basa en el modelo de un remolino gigante; dando la oportunidad de observar la vida marina en su propio elemento.

El edificio se desarrolla en torno a un espacio central circular, en donde una secuencia de cuartos giran alrededor, cada uno con su propio viaje hacia las oscuras profundidades del mar. El proyecto pretende una total integración con su medio: un techo gigantesco de vidrio refleja un resplandor de luz hacia las paredes, dando la impresión de estar bajo el agua. El efecto se intensifica con el hecho de mirar hacia arriba y da la impresión de que el usuario se encuentra en el centro de un remolino.

El movimiento en el edificio es como el agua, no estático. Se rige por la falta de límites entre diferentes secciones, incluso en reflejos, la percepción de unidad entre el océano y la tierra. El usuario descubre que el edificio está flotando con el reflejo, dentro de una piscina circular y al caminar en su interior experimenta un viaje a través de varios mundos orgánicos. La belleza del mundo marino está representada en este lugar, con respecto a su estado natural.

El diseño captura una síntesis perfecta entre el ambiente orgánico, educación y entretenimiento interactivo. El punto de partida fue la experiencia de ver a los peces en su hábitat natural. El proyecto se inspiró en el fenómeno natural de los remolinos. Una obra de estas características, con este diseño frente al mar unifica los elementos naturales, tales como el agua, aire y tierra.

El acuario es obra de los arquitectos de origen danés 3XN, para la Fundación Planeta Azul, el cual, abrió sus puertas en el año 2012. Un diseño cuyo principio fundamental es el ambiente natural, es otro pequeño paso hacia una conciencia ecológica mundial. Se pretende que este proyecto sirva como inspiración para otros trabajos.

El vestíbulo principal en forma de remolino lleva a los visitantes a un mundo debajo de la superficie del mar. El techo del vestíbulo es de vidrio y, al mismo tiempo, es el fondo de una piscina. El espacio central circular es el centro de navegación en el acuario. Cada exposición es diferente a la de las otras salas y cuentan con su propia entrada, comenzando con una zona de amortiguación, que es una plataforma para introducir la atmósfera del siguiente cuarto<sup>51</sup>.

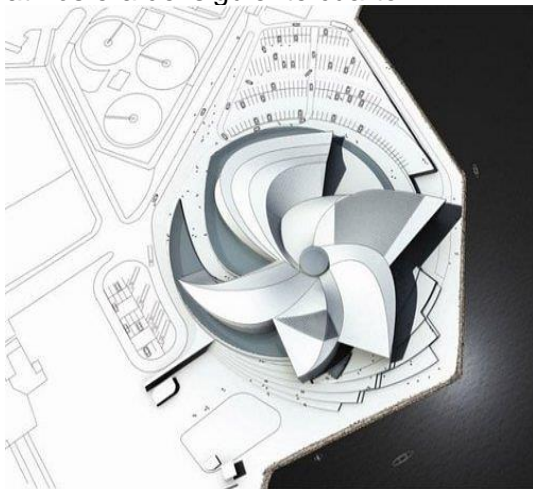


Imagen 99. Proyecto Acuario Planeta Azul. Planta de conjunto y Fachadas.

<sup>51</sup> Recuperado de <http://www.environmentalgraffiti.com/sciencetech/12-most-amazing-bionic-buildings>. 2008

#### 5.4.4. Complejo “Puerta RAK”.

Al ser inspirados por el paisaje montañoso y los relieves de arena, los arquitectos de la firma Snohetta fundada en Noruega en 1989, diseñaron un proyecto futurista a orillas del Golfo Pérsico. Este complejo de usos múltiples se llama RAK Gateway y será la puerta de acceso que dará la bienvenida a los visitantes del emirato Ras Al Khaimah.

El emirato de Ras Al Khaimah forma parte de los 7 emiratos que integran los Emiratos Arabes Unidos, se ubica a 150 km al este de Dubai; destaca por ser el principal exportador de azulejos de cerámica. Su población está integrada por 250 mil habitantes y la ciudad cuenta con el moderno Aeropuerto Internacional de Ras Al Khaimah.

La expresión arquitectónica, se inspira en el desierto y el paisaje de montaña que lo rodea. Este concepto prevé una variedad infinita de sombreados naturales, espacios íntimos y protegidos, en torno a la cual, los múltiples usos relacionados con el desarrollo son tejidos. El paisaje arquitectónico ondulado es resuelto con una torre hito, marcando la plaza principal de entrada. Esta torre de 200 m de altura, será el escenario para un hotel de más de 5 estrellas, que a su vez ofrecerá vistas panorámicas a través del emirato, hacia el golfo y más allá de las montañas.

Su ondulante volumetría es como un tejido de células que serpentea para originar una extensa variedad de espacio y áreas flexibles. Esta composición surgió del concepto que le dio forma: un oasis en el desierto esculpido como una gran ola de superficies infinitas.

La compleja estructura se desarrolló como una sucesión de eslabones con geometría híbrida, donde se descubren secciones alabeadas, prismas escalonados, superficies cóncavas y membranas abiertas o cerradas según su orientación.

El rascacielos estará protegido con una membrana de paneles de cerámica, cuya estética, recuerda las celosías del arte mudéjar. Esta superficie se desdobra hacia un núcleo, donde estará el “oasis” con albercas, andadores y montículos con palmeras.

La dinámica del proyecto se fusiona bajo una misma cubierta-cascarón, porque más allá de su virtud plástica, ésta funciona como un “parasol” de gran escala que bloquea los rayos del Sol y reduce el consumo energético del aire acondicionado.

El complejo RAK Gateway tendrá una extensión de 270 mil metros cuadrados y dispondrá de un centro internacional de exposiciones y congresos, restaurantes, tiendas, oficinas privadas y sedes financieras. La obra ya está en proceso de construcción<sup>53</sup>.

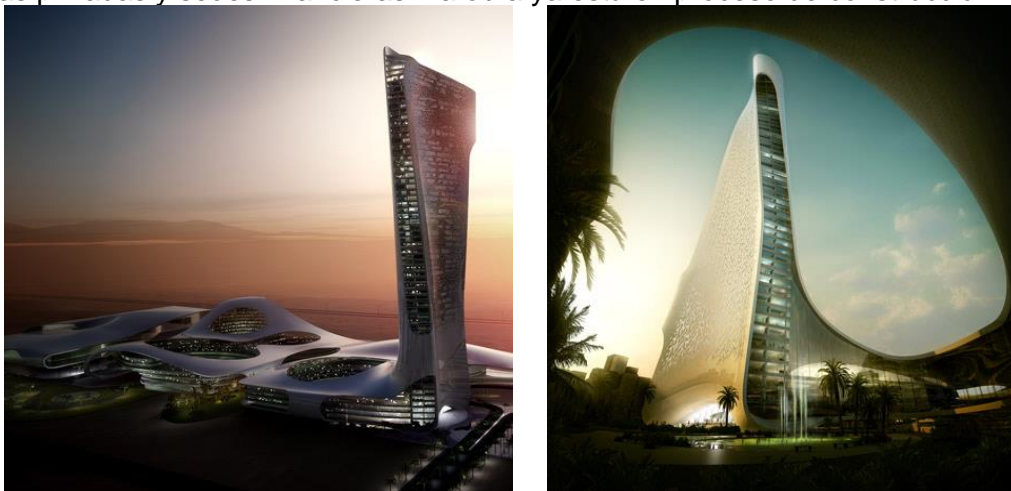


Imagen 100. Proyecto Complejo “Puerta RAK” (RAK Gateway). Vista de conjunto y del rascacielos.

<sup>53</sup> Miró, X. (2009). El Nuevo Hito del Golfo Pérsico. *Habitat Arquitectura, Diseño, Interiorismo*, 26, 16-18.

### 5.4.5. Estadio Olímpico de Beijing.

El **Estadio Nacional de Beijing** es el escenario en donde se llevaron a cabo los Juegos Olímpicos de 2008 en China, proyectado por los arquitectos suizos Jacques Herzog y Pierre de Meuron (Herzog&de Meuron), los mismos que diseñaron el estadio Allianz Arena de Múnich para el Mundial de Fútbol en Alemania (2006). En él se realizaron las ceremonias de inauguración y clausura, las pruebas de atletismo y la final de fútbol.

Es comúnmente conocido como “el nido de pájaro”, debido a la red de acero de su exterior. El estadio tiene 330m. de largo, 220m. de ancho y 69m. de altura. Está equipado con un sistema de captación de energía solar y de recolección de agua pluvial para riego.

Situado en el Olympic Green Park, es el estadio más grande del mundo con estructura de acero, se emplearon 110,000 toneladas de este material, todo hecho en China. El proyecto fue adjudicado en abril de 2003, después de un proceso de licitación que incluyó 13 finalistas. El diseño, se originó a partir del estudio de la cerámica china, por medio de vigas de acero con el fin de ocultar la estructura portante para el techo retráctil, dando la apariencia de un "nido de pájaro". Ai Weiwei fue el asesor artístico y desarrolló un diseño para que el estadio tuviera características de China únicas.

Con la finalidad de mejorar la visibilidad en el estadio, las alas este y oeste son más elevadas que las del norte y el sur. Se colocó un colector de agua de lluvia cercano al edificio y después de que ha sido tratada, el agua se utiliza al interior y en los alrededores de todo el estadio. Las tuberías bajo la superficie de juego acumulan el calor en invierno para calentar y frío en verano para refrescar el estadio. La capacidad original del estadio era de 100.000 personas; sin embargo, después de los Juegos Olímpicos se quitaron 11,000 asientos temporales, quedando para 80.000 espectadores, que es su capacidad actual. El asiento más alejado se encuentra a una distancia de 140 metros desde el centro del campo, lo que garantiza una buena visibilidad de cualquier punto.

La estructura está compuesta de una red de elementos de acero entrelazados entre sí en forma de nido, con huecos entre la estructura metálica, cubierto con un almohadillado aleatorio de Etiltetrafluoretileno que trenza el acero. Los espectadores llegan a sus asientos recorriendo la estructura de nido dentro de un vestíbulo, tratado como un espacio cubierto delimitado por tiendas, cafés y restaurantes; desde aquí, acceden a las gradas.

El techo está cubierto por una doble capa de membrana, en la cual una membrana transparente esta fija en la parte superior del techo y la otra membrana translúcida esta fija en su parte inferior; también posee un techo acústico que se junta a las paredes laterales del anillo interior. La majestuosa obra quedará como un hito de la arquitectura moderna y un gran legado olímpico<sup>54</sup>.

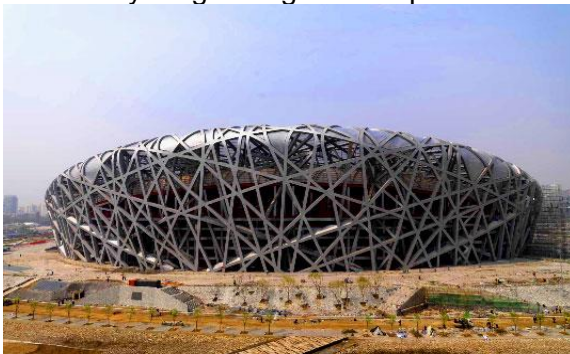


Imagen 101. Estadio Olímpico de Beijing “El Nido de Pájaro”. Diferentes vistas.

<sup>54</sup> Recuperado de [http://www.en.wikipedia.org/wiki/Beijing\\_National\\_Stadium](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Stadium). 2008

### 5.4.6. Torre “Turning Torso”.

Turning Torso es un rascacielos neo-futurista de tipo residencial ubicado en Suecia y es el edificio más alto de Escandinavia. Se encuentra en la ciudad de Malmö en la orilla del estrecho de Öresund que pertenece a Suecia. Fue construida por su actual propietario HSB Suecia. Es considerado como el primer rascacielos retorcido del mundo.

El proyecto fue diseñado por el arquitecto-ingeniero español Santiago Calatrava y su inauguración oficial tuvo lugar el 27 de agosto de 2005. La torre alcanza una altura de 190 metros con 54 plantas y alberga 147 apartamentos residenciales.

El Turning Torso está basado en una escultura de Calatrava, llamada Twisting Torso, que toma la forma de un ser humano girándose sobre sí mismo realizada en una pieza de mármol blanco. El origen del edificio se remonta a 1999, cuando el director de la cooperativa sueca de viviendas HSB Johnny Örbäck, le pidió al Arq. Calatrava que aplicara el concepto a un edificio residencial. Los trabajos de construcción comenzaron en 2001.

El edificio, construido en acero, vidrio y concreto armado, se estructura en nueve cubos rotatorios cuyo principal elemento estructural es un núcleo de concreto armado, de 10.6 metros de diámetro (a modo de columna vertebral). Su centro corresponde exactamente con el eje de rotación de las plantas. El exterior del edificio está revestido por paneles de cristal y aluminio. Cada cubo tiene seis plantas.

En el edificio coexisten viviendas de lujo y oficinas. Las oficinas se sitúan en los dos primeros cubos de la construcción, con una superficie total de 4000 m<sup>2</sup>. Los cubos tres al nueve albergan 147 viviendas cuya superficie varía entre los 45 y los 190 m<sup>2</sup>. Las dos últimas plantas (desde las que se puede ver Copenhague) están dedicadas a reuniones de negocios, encuentros políticos y visitas oficiales.



Imagen 102. Torre Turning Torso

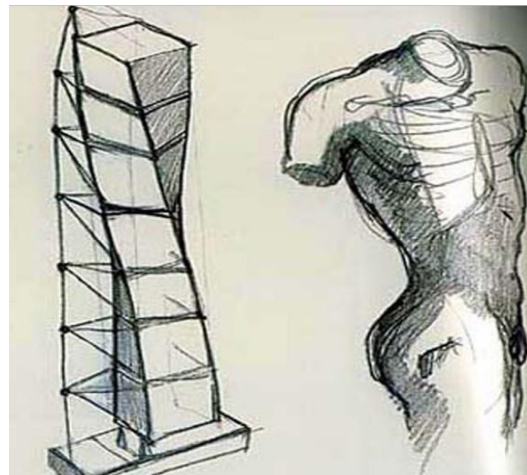


Imagen 103. Dibujo concepto Torre Turning Torso.  
Imagen 104. Vista panorámica Torre Turning Torso.

### 5.4.7. Torre “Burj Khalifa”.

El Burj Khalifa es un rascacielos ubicado en la ciudad de Dubái (Emiratos Árabes Unidos), con 828 metros de altura, es la estructura más alta del mundo. La construcción comenzó el 6 de enero de 2004, siendo su inauguración oficial el 4 de enero de 2010. Debe su nombre al Jeque de los Emiratos Árabes Unidos, Jalifa bin Zayed Al Nahayan.

El creador del proyecto es el Arquitecto estadounidense Adrian Smith, quien trabajó junto a la firma Skidmore, Owings & Merrill hasta 2006. La construcción del Burj Khalifa contó con un presupuesto estimado de más de 4,000 millones de dólares.

El diseño de esta torre cuenta con tres fuentes de inspiración principales:



Imagen 105. Flor Hymenocallis.

- El proyecto de un rascacielos de una milla (1609 m) de altura, The Illinois, diseñado por Frank Lloyd Wright, que quedó inconcluso.
- La forma de la base del Burj Khalifa está basada en la forma geométrica de una flor, la Hymenocallis blanca de seis pétalos cultivada en la región de Dubái y en la India.
- Tomando como inspiración la Hymenocallis, la base del Burj Khalifa consiste en una Y, compuesta de arcos basados en la arquitectura islámica.

La base del edificio cuenta con un núcleo y tres secciones laterales que sobresalen de este. Estas alas o secciones laterales ascienden cada una a distinta altura y hacen que la estructura del edificio vaya siendo más estrecha.

La estructura del edificio está compuesta por concreto armado hasta la planta 156 (586 m de altura), a partir del piso 157, las plantas están hechas de acero. La cimentación de este edificio es la más grande jamás construida. Se compone por un innovador concepto basado en estudios geotécnicos y sísmicos: el edificio es soportado por una placa inmensa de concreto armado de casi 4m de grosor, sumando 12,500m<sup>3</sup>. Esta placa es soportada por un sistema compuesto por 192 pilotes de 1.5m de diámetro en su base, a una profundidad de 43m.

La fachada del edificio está conformada por más de 26,000 paneles de vidrio de alta prestación en el formato de doble vidrio hermético, compuesto por un cristal exterior de alto control solar que rechaza el calor solar radiante, y un cristal interior bajo emisivo (Low-e). Estas unidades de vidrio doble poseen una capacidad para resistir ráfagas de viento de hasta 250 km/h con un tamaño de 1,800mm de base por 3,200mm de altura y cubren una superficie vidriada aproximada de 170,000 m<sup>2</sup>.

Los pisos habitables son 160, de los cuales 49 son oficinas y 61 departamentos. El edificio cuenta con 57 ascensores que viajan a una velocidad de 10m/s. En las primeras 39 plantas existe un hotel, 700 apartamentos privados de lujo (plantas de la 45 a la 108), mirador (planta 123) y oficinas (hasta la planta 156).



Imagen 106. Torre Burj Khalifa. Diferentes vistas.

### 5.4.8. Aeropuerto Internacional de Beijing.

El 25 de septiembre de 2019, se inauguró el nuevo Aeropuerto Internacional de Beijing, ubicado a 46 kilómetros al sur de la capital. Fue diseñado por la fallecida arquitecta anglo-iraní Zaha Hadid y por la compañía francesa Aéroports de Paris (ADP).

Con una singular forma de estrella de mar, la estructura diseñada por Zaha Hadid Architects cuenta con una superficie de 700,000 m<sup>2</sup> y su techo con una superficie equivalente a 25 campos de fútbol, convirtiéndola en la terminal aeroportuaria más grande del mundo. En ella se desenvuelven cuatro pistas que abrirán el espacio aéreo a un estimado de 72 millones de viajeros al año, en 2025. El nuevo aeropuerto de Beijing cuenta con una estación de metro y un tren de alta velocidad.

Su diseño está inspirado en la arquitectura tradicional china, la cual interconecta los espacios cerrados alrededor de un patio central, gracias a este diseño, se tienen formas orgánicas y se aprovecha la luz natural. Además de estar pensado para minimizar al máximo las distancias entre el check-in y las puertas de embarque. Esta configuración radial garantiza que se pueda acceder a la puerta de embarque más lejana en un tiempo de caminata de menos de 8 minutos.



Imagen 107(izquierda). Vista panorámica nuevo Aeropuerto Beijing. Imagen 108(derecha). Estrellas de mar.

. El aeropuerto está equipado con un único centro de control para todas las puertas de embarque ubicadas en forma de estrella. Este concepto de terminal centralizada bajo un solo techo ofrece servicios, incluidos espacios comerciales y un sistema de transporte terrestre multimodal. La terminal de pasajeros es un edificio de diseño radial con seis brazos que se extienden desde su centro. Este diseño le valió al aeropuerto el apodo de “estrella de mar”.

Seis formas fluidas dentro del techo abovedado llegan al suelo para soportar la estructura y llevar luz natural al interior, dirigiendo a todos los pasajeros hacia el patio central. La luz natural también ingresa a través de una red de tragaluzes lineales que proporcionan un sistema intuitivo de navegación en todo el edificio, guiando a los pasajeros hacia y desde sus puertas de salida. Los tramos estructurales de hasta 100 metros crean generosos espacios públicos y permiten el mayor grado de flexibilidad para cualquier reconfiguración futura.

El techo del edificio de la terminal es una estructura compleja de rejilla de acero hiperboloide y de gran envergadura que cubre más de 350,000 m<sup>2</sup> y que contiene más de 170,000 miembros de acero. Está soportado por columnas gigantes en forma de C que se conectan perfectamente con la curvatura del techo. En la construcción del aeropuerto se han utilizado 1,6 millones de metros cúbicos de concreto, el marco estructural contiene 52,000ton. de acero y el techo tiene un peso de 30,000ton.



### 5.4.9. Torre Biónica. Celaya, Cervera & Pioz

La Torre Biónica es un proyecto de una ciudad vertical de 1228 metros de altura. Esta torre tendría 300 pisos, con una capacidad para albergar a 100,000 personas. En un modelo urbanístico tradicional, para albergar a toda esta población sería necesario ocupar aproximadamente cuatro kilómetros de diámetro, cuatro veces más que en la solución que representa la Torre Biónica. Pueden así desarrollarse planteamientos urbanísticos para grandes poblaciones que, contrariamente a la irracional invasión extensiva del urbanismo horizontal tradicional, estén más en sintonía con la racionalización del consumo energético, la mejora medioambiental del hábitat humano y la protección de la Tierra, entendida como herencia y legado para las generaciones futuras.

El proyecto, diseñado por los arquitectos españoles Eloy Celaya Escribano, Javier Gómez Pioz y María Rosa Cervera Sardá, fue originalmente propuesto al Gobierno chino por sus propios autores, Shanghái fue una de las ciudades planteadas inicialmente para desarrollar el proyecto. Sería un hábitat basado en el aprovechamiento de todos los recursos naturales y el ahorro de energía.

Este edificio está compuesto de hoteles, parques, viviendas, oficinas, tiendas, etc.; que se dividirán en 12 barrios diferentes, de 80 metros de altura cada uno y separados entre sí por una planta de seguridad. Sería construido sobre una isla artificial, que tiene la ventaja de reducir los movimientos de la estructura, en caso de sismos o fuertes vientos.

Tiene la particularidad, debido a la magnitud de sus dimensiones, que se puede seguir construyendo nuevos niveles superiores mientras otros niveles inferiores ya están acabados, y por consiguiente operativos y habitados.

El adjetivo de biónica le viene por el gran número de respuestas encontradas en el mundo animal y vegetal ante los problemas surgidos del desarrollo de esta nueva tipología edificatoria (cimentación, estructura vertical, aguante ante los esfuerzos horizontales, abastecimiento de agua, etc.).

Es un modelo de arquitectura vertical cuyos cambios conceptuales se derivan de la combinación e interpretación biotecnológica de la esbeltez de la estructura de venas y fibras de los grandes árboles, la flexibilidad y ligereza de los huesos de las aves y el trabajo conjunto de los filamentos en "red" de las telas de araña.

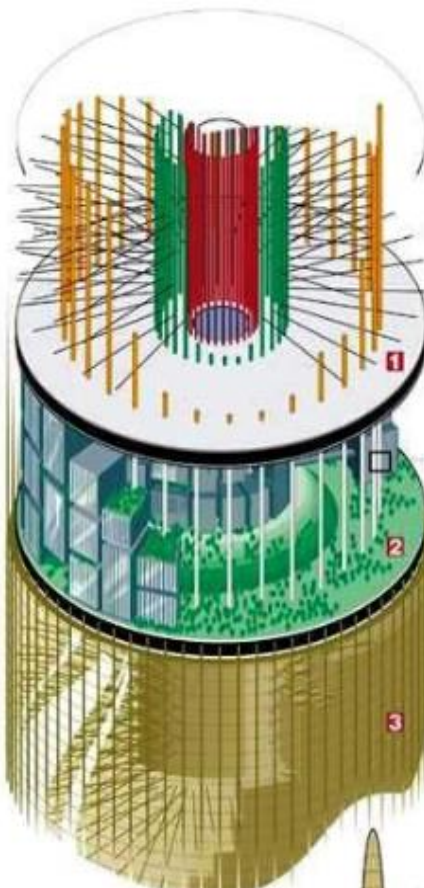
La Torre Biónica presenta un nuevo modelo arquitectónico y constructivo que abre la posibilidad de erigir estructuras verticales de más de 1,000 metros. "Ciudad vertical" que evoluciona y transforma el concepto tradicional de rascacielos entendido como "caja de cristal". La Torre Biónica fundamenta su edificación en conceptos presentes en la naturaleza como las estructuras flexorresistentes de los vegetales, la geometría fractal, la fibroestructuración de los huesos, la multifragmentación de esfuerzos de las redes naturales, etc. Es una propuesta de nuevo hábitat vertical basado en rigurosos planteamientos de eficiencia energética, autosuficiencia sostenible y seguridad activa y pasiva, mecanismos todos ellos fundamentados en los múltiples sistemas de racionalización energética y reutilización de recursos naturales.

Un amplio equipo de arquitectos, ingenieros, biólogos y diseñadores unen sus esfuerzos e investigaciones y comienzan a desarrollar el Prototipo "Bionic Vertical Space" tanto conceptual como físicamente. En ese momento la Torre Biónica inicia su desarrollo hasta comienzos del año 2001 siendo éste dirigido por los arquitectos mencionados.

En la actualidad Torre Biónica es tan solo un proyecto visionario y un ejemplo de ciudad vertical, es conocido en múltiples países y está intentando establecer su ubicación definitiva, así como la infraestructura necesaria para poderse llevar a cabo.

# Alta, ligera y flexible

Este proyecto de ciudad vertical se inspira en modelos de la naturaleza; la ligereza y resistencia de los huesos de las aves; la flexibilidad, de las estructuras vegetales, y también, la capacidad que tienen los organismos para adaptarse.

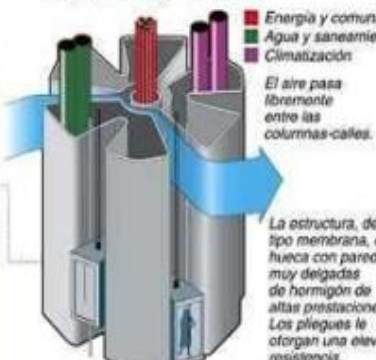


**Calles verticales**  
En una ciudad vertical, las calles también lo son. En la torre Biónica, 92 de estas columnas-calles tecnológicas transportarán a sus habitantes y el agua y la energía necesarias.

**Doce barrios de altura**  
La torre tendrá, en su máximo desarrollo, 12 niveles separados por plantas estancias de seguridad. Cada nivel tendrá 80 metros de altura y dos grupos de edificios, uno interior y otro exterior, con un pequeño lago en el centro. El modelo de construcción permite levantar sucesivos niveles y todo su entramado (1), mientras el nivel inferior está acabado (2). El cerramiento exterior de la torre (3), en cristal, acero y aluminio, permite el libre paso del aire creando un microclima interior.

**Raíces de árbol**  
La cimentación flotante crece al tiempo que lo hace la torre. Sus vigas no están clavadas en el terreno, sino que se apoyan en él.

**La base de la torre**  
Alrededor de la ciudad Biónica se disponen edificaciones, lagos, vías de comunicación y un intercambiador que enlaza la torre con la ciudad tradicional.



**Esquema de un nivel**

- Edificios interiores
- Edificios exteriores
- Pasarelas de comunicación
- Lago
- Calles verticales

**Una alternativa de crecimiento**  
En núcleos masificados y escasos de terreno, las ciudades verticales permiten la expansión de la ciudad.

**368 ascensores.** Los exteriores serán del tipo exprés, los interiores, locales.

El aire pasa libremente entre las columnas-calles.

La estructura, de tipo membrana, es hueca con paredes muy delgadas de hormigón de altas prestaciones. Los pliegues le otorgan una elevada resistencia.

**1.228 metros**  
A más altura, el movimiento de la torre sería perceptible  
(2,5 metros de oscilación)

**300 plantas**  
en 12 niveles

**100.000 habitantes**

**2.000.000**  
de metros cuadrados

**15.000.000.000**  
de dólares  
(2 billones de pesetas)

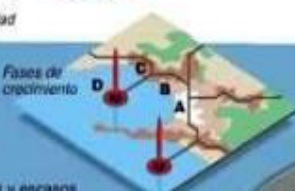
**15 años** de obras

El exterior de la estructura, de tipo fractal, permite la circulación del aire y reduce el efecto del empuje del viento.

La planta de la torre es elíptica. Los radios, en la planta mayor, son **166 x 133** metros

**50%** hoteles  
**25%** oficinas y viviendas  
**25%** dotaciones

**Fases de crecimiento**



Torres	Altura	Ubicación
Torres Petronas	450 m	(Kuala Lumpur)
WTC	412 m	(Nueva York)
Empire State	380 m	(Nueva York)
Torre Eiffel	320 m	(París)
Torre Picasso	157 m	(Madrid)
<b>Torre Biónica</b>	<b>1.228 m</b>	

Imagen 109. Torre Biónica. Lámina de presentación.

### 5.4.10. Torre Biónica. LAVA

Este proyecto, diseñado por el despacho de arquitectura alemán-australiano LAVA, es otra interesante propuesta en torno a la Bio-Arquitectura. El diseño fue inspirado en la naturaleza y pretende crear una estructura de gran ligereza, eficacia y elegancia que, si bien remite a esquemas de biología, también hace evidentes las técnicas avanzadas de diseño. El año del proyecto es 2011 y su ubicación es en Abu Dhabi (Emiratos Árabes).

Una serie de sistemas biónicos que se encuentran conectados a la fachada funcionan como mecanismos de regeneración orgánica, que controlan la ventilación y la circulación del aire al interior, la captación de la luz solar para generar energía y mantener una temperatura confortable en el interior, y la recuperación de aguas pluviales.

La piel o cubierta exterior, como cualquier organismo vivo, reacciona ante los diversos factores ambientales como son: la presión del aire, el frío, el calor, la humedad, la contaminación del aire y la radiación solar.

La intención de la Torre Biónica es explorar la variedad de formas en las que naturaleza y arquitectura pueden fusionarse, creando una estructura final habitable que funcione dentro del gran tejido orgánico que es la ciudad.

El diseño crea una fachada inteligente totalmente integrada que responde a su entorno para crear la máxima eficiencia energética y comodidad del usuario.

La arquitectura del futuro se trata de la inteligencia del sistema. La torre propone un sistema natural de organización estructural que genera un edificio que incorpora eficiencias que se encuentran dentro de las estructuras y arquitecturas naturales.



Imagen 111. LAVA Proyecto Torre Biónica.



Imagen 110. Proyecto Torre Biónica. Vista parcial.

Así como la naturaleza se regenera orgánicamente, el edificio propone un sistema natural de reestructuración y reorganización orgánica. Hay una unidad en la estructura, el espacio y la expresión arquitectónica, similar a las catedrales y a cualquier sistema natural.

Aprender de la naturaleza y utilizar la informática avanzada permite concebir estructuras de mayor ligereza, eficiencia y elegancia. Mediante el modelado paramétrico de la lógica del comportamiento el sistema se optimiza constantemente. Además, los nuevos materiales y tecnologías permiten la adaptabilidad, la capacidad de respuesta, la conciencia ambiental y la resistencia.

La fachada tradicional del muro cortina es pasiva, careciendo de la capacidad de ajustarse al entorno externo. Los sistemas y la piel de la torre se apartan de esta tradición y están controlados y responden a influencias externas del medio como: la temperatura, la humedad, la radiación solar, etc.

## CONCLUSIONES.

Del análisis realizado a este nuevo tipo de arquitectura, se han visto los principios teórico-prácticos en los que se basa el estudio de la ciencia biónica, su aplicación al campo de la arquitectura, así como las propuestas de diseño que se han hecho en todo el mundo.

La arquitectura biónica es la **evolución de la arquitectura orgánica**; es un movimiento para el diseño y la construcción de edificios que expresan trazos y líneas tomadas desde las formas naturales, el cual, comenzó a madurar a principios del siglo XXI. Está en oposición de los tradicionales trazos rectangulares, diseñando esquemas que usen formas curvas así como superficies de estructuras biológicas y matemáticas fractales.

Cuando se aplica a la arquitectura, el ritmo y la composición se transforman en detalles fractales semejantes entre sí. Actualmente, cuando se hace referencia a esta relación entre la Arquitectura y las nuevas perspectivas científicas (entre ellas la Geometría Fractal), generalmente se piensa que estas “extrañas” matemáticas, deben dar como resultado construcciones también “extrañas”, pero no necesariamente tiene que ser así.

La arquitectura biónica se podría definir como una síntesis eco-filosófica de los principios comunes de la biología, la ingeniería y la arquitectura aplicada al desarrollo futuro del hábitat humano en armonía con el progreso y con la naturaleza. Intenta desarrollar tecnología a base de imitar las soluciones que ha seleccionado la Naturaleza durante millones de años. Para el diseño, emplea las formas encontradas en la naturaleza y utiliza la tecnología moderna para crear esta nueva arquitectura.

Se encontraron paralelismos entre la lógica del crecimiento vital de las formas orgánicas y la lógica arquitectónica, estructural y tecnológica aplicable al diseño de los súper-rascacielos y de las megaciudades. Reflexionar sobre los procesos de crecimiento de la naturaleza abre un debate sobre los nuevos criterios de diseño que se podrían adoptar en la creación de espacios verticales, que necesitan una manera diferente de ver, entender e interpretar la naturaleza.

Al analizar las profundas e interdisciplinarias obras de la naturaleza, como la base de la arquitectura hecha por el hombre, se da la expresión “**arquitectura evolutiva**”, que se refiere al desarrollo de nuevas estructuras, materiales y procesos de construcción, relaciones ecológicas y conceptos estéticos basados en el desarrollo evolutivo de la naturaleza durante millones de años y su aplicación a los entornos hechos por el hombre.

La construcción biónica se encuentra, en lo que podría llamarse, el primer nivel de la evolución de la investigación científica. El estudio para crear esta forma constructiva ha retomado el ámbito de los organismos naturales - flora y fauna -; estas características permiten tener un ilimitado margen de posibilidades. Una tarea central de la construcción biónica, es la búsqueda sistemática de opciones nuevas que permitan modular las formas y principios constructivos, similares a los que prevalecen en la naturaleza y que perduran en el medio ambiente.

La biónica procura trasladar a la técnica las mejores creaciones de la naturaleza, las estructuras y procesos más racionales y económicos que fueron cimentándose en los sistemas biológicos durante millones de años de desarrollo evolutivo.

Para crear una arquitectura con significado y belleza es necesario volver a la fuente: la naturaleza. Pero si se mira el mundo natural y se utiliza la naturaleza como la base para el diseño, es posible crear una arquitectura nueva y revolucionaria.

El método fundamental empleado en las investigaciones biónicas es la **modelación**, que permite la formación de estructuras biónicas. En la biónica se emplea la modelación matemática y física. Para el estudio del modelo vivo, esta ciencia efectúa un modelo especial del entorno; es decir, reproduce las condiciones en que funciona el sistema vivo y en las que debe trabajar de forma práctica su análogo artificial.

---

En esta investigación se ha dado a conocer este nuevo tipo de Arquitectura, proporcionando información sobre las teorías, conceptos, nuevas tecnologías, principales exponentes y tendencias de este movimiento innovador, con la lógica arquitectónica aplicable al diseño.

Con el desarrollo de esta investigación se establecieron los fundamentos de diseño y se dieron nuevos criterios que se adoptan en la creación de espacios que necesitan una manera diferente de ver, entender e interpretar la naturaleza y los procesos constructivos, así como para la elaboración de un proyecto arquitectónico en el ámbito tecnológico que utilice la biónica como parte fundamental en su diseño.

La Hipótesis en la que se basa este proyecto de investigación ha sido **comprobada**, ya que con el establecimiento de los fundamentos de diseño de un proyecto arquitectónico bajo un modelo biónico se ha observado que se pueden crear espacios y/o edificios más humanizados, que se integran a su entorno, tienen un mayor grado de sustentabilidad, con un bajo consumo energético y no agreden al medio ambiente. Así como todo el análisis realizado, ha dado como resultado un proceso creativo que incluye elementos de la ciencia biónica combinado con el proceso de diseño de un proyecto arquitectónico. Y con esto se contribuye al desarrollo del país.

Se han obtenido datos importantes relacionados con todo el proceso de diseño biónico-arquitectónico de un edificio con estas características, se tiene una metodología para poder diseñar un edificio bajo la ciencia biónica, se dieron los elementos que debe incluir un proyecto de arquitectura biónica, se conocieron las aportaciones de este nuevo tipo de arquitectura en el ámbito tecnológico, se realizó el análisis de cada una de las etapas del proceso creativo para diseñar un edificio bajo el modelo biónico.

Entre los nuevos materiales utilizados, así como las aportaciones que ha dado este nuevo tipo de arquitectura, se encuentran los siguientes:

El sistema de **Styrofoam**, reciclado con bloques de cemento reforzados con acero y concreto. Se trata de un material extremadamente resistente a los sismos y además es ligero, impermeable, resistente al fuego. Este bloque crea una malla reforzada, en la que las tensiones estructurales se distribuyen de manera uniforme.

El recubrimiento en fachada con almohadillas formadas por láminas ETFE (**polímero de tetrafluoruro de etileno**), que es un material con excelentes propiedades térmicas y químicas, además de ser reciclable puede soportar todas las agresiones climáticas (hielo, lluvia, humedad) y es considerado como un material ecológico. El revestimiento ETFE permite más entrada de luz y mayor calor que el cristal tradicional, causando una disminución del 30% en consumos de energía.

El revestimiento con **manto de discos de aluminio anodizado**, permite crear un efecto de "piel" en fachada y enfatiza la curvatura del edificio. La envoltura es al mismo tiempo arquitectura, estructura y piel: los discos son el fruto de una elección estética, tecnológica y de mantenimiento, ya que pueden ser reemplazados individualmente y con facilidad. El aluminio anodizado, del que están constituidos, ofrece además una óptima base para crear efectos irisados, juegos de luz y reflejos.

El **dióxido de titanio** (TiO<sub>2</sub>) es otro sistema de recubrimiento en fachada, el cual trabaja con la radiación ultravioleta interactuando con las partículas del aire y reduciendo, de esta manera los contaminantes.

El **concreto de altas prestaciones (CAP)**, los CAP alcanzan resistencias en obra de 800 a 1,000 kg/cm<sup>2</sup>. su gran estabilidad frente a los ambientes marinos, impactos y temperaturas inferiores a -20°C garantizan una durabilidad estructural de al menos 100 años, será el material del futuro para la edificación de gran altura. La contribución del novedoso material CAP, junto con las aportaciones científicas biónicas, conforma la base ideológica sobre la que se asienta el modelo tecnológico Torre Biónica.

---

El **concepto biónico de estructura “el todo-resistente”**, la investigación biónica aportó, tres conceptos novedosos cuya combinación conforma el mecanismo estructural (el todo-resistente). Estos son: el sistema de encapsulados, la teoría estructural de capas y la piel transpiro-resistente.

La **piel transpiro-resistente**, se comporta como elemento que transpira, simulando un mecanismo natural fractal caótico, frecuentemente utilizado por los árboles y por las aves. Al igual que sucede en los organismos vegetales, el primer gran contenedor del modelo biónico sería el formado por la piel. El planteamiento de la existencia de este contenedor primario que envuelve el espacio vertical y su relación arquitectónica, estructural y tecnológica con el resto de los contenedores es una de las innovaciones más importantes y trascendentes del diseño del modelo vertical biónico.

La **multifragmentación de esfuerzos**, biónicamente hablando, los árboles no están apoyados sobre el suelo, sino que flotan suspendidos en la estructura caótica que forman sus miles de raíces. A estas estructuras se las denomina estructuras nido y, por su capacidad de multifragmentar los esfuerzos, tanto en su magnitud como en su dirección, tienen una enorme resistencia y flexibilidad. Para idear la solución constructiva del sistema antisismo apropiado para la Torre Biónica se analizaron los sistemas de anclajes de las raíces de las grandes estructuras arbóreas.

Una de las principales metas del ser humano es conservar el medio ambiente en un estado biológicamente viable; que el ritmo actual de destrucción ambiental debido a las actividades humanas no puede proseguir si se quieren evitar consecuencias fatales y que el impacto ecológico negativo debe reducirse al mínimo.

Los problemas medioambientales relacionados con las construcciones no son otra cosa que el fruto de los cambios introducidos en el ecosistema como consecuencia de la producción, funcionamiento y eliminación final del edificio.

Si se pretende reducir los impactos no deseados de las construcciones humanas sobre los sistemas naturales, arquitectos y proyectistas, deben perfeccionar su conocimiento de las interacciones entre arquitectura y medio ambiente.

La alteración del medio ambiente por parte del ser humano no tiene por qué ser necesariamente destructivo. La tarea del proyectista consiste en integrar el rascacielos o edificio de alta densidad de ocupación en su ecosistema ambiental, para reducir los efectos negativos y para conseguir, por medio de las decisiones de proyecto, una relación estable y tranquila con el medio ambiente.

Las soluciones a los problemas urbanos del futuro deberán hacer frente a la nueva realidad de las megaurbes. El inevitable progreso tecnológico ha de encontrar su equilibrio con la recuperación "bio-ecológica" del entorno natural.

El estudio de la naturaleza permite desarrollar la nueva arquitectura y el urbanismo, creando propuestas inspiradas en un entendimiento integral de los principios lógicos de flexibilidad, adaptabilidad y la eficiencia energética que prevalecen en todas las especies naturales. La comprensión de las técnicas y estrategias que utiliza la naturaleza como inspiración para la creación de formas da lugar a esta nueva sensibilidad artística. La aplicación de la ciencia a la Arquitectura Biónica genera la apertura de nuevas líneas de investigación y pensamiento.

En cuanto a la Biónica como disciplina, México es uno de los primeros países en implementarla en latinoamérica, y se podría decir que su desarrollo va por buen camino, pero no debe perderse de vista que su aplicación en la práctica se encuentra estrechamente relacionada con las técnicas disponibles y el grado de desarrollo de la misma. Se pueden generar muy buenas ideas, pero si no se tiene la tecnología al alcance, éstas no pueden concretarse, entonces la única opción será publicarlas y, lo más probable, es que alguien en otro país sí la lleve a sus últimas consecuencias.

---

---

## PROSPECTIVA.

La presente investigación no tiene la intención de tener un producto final listo para su implementación, más bien sienta las bases y precedentes para futuras investigaciones y líneas de investigación en el campo de la arquitectura.

El objetivo principal de esta investigación es establecer una metodología de diseño y proporcionar nuevos criterios que se puedan adoptar en la creación de espacios y para la elaboración de un proyecto arquitectónico en el ámbito tecnológico que utilice la biónica como parte fundamental en su diseño, la cual puede ser utilizada por las nuevas generaciones de estudiantes, así como por maestros, profesionales, investigadores y estudiosos de la arquitectura, la tecnología, la ingeniería y el diseño.

Otro objetivo es dar a conocer este nuevo tipo de Arquitectura que proporcione información sobre las teorías, conceptos, nuevas tecnologías, principales exponentes y tendencias de este movimiento innovador y conocer los paralelismos entre las formas orgánicas y la lógica arquitectónica aplicable al diseño.

Con el desarrollo de esta investigación se obtienen datos importantes relacionados con todo el proceso de diseño biónico-arquitectónico de un edificio con estas características. Se presenta una metodología para poder diseñar un edificio bajo la ciencia biónica, se tienen los elementos que debe incluir un proyecto de arquitectura biónica, se conocen las aportaciones de este nuevo tipo de arquitectura en el ámbito tecnológico, se realiza el análisis de cada una de las etapas del proceso creativo para diseñar un edificio bajo el modelo biónico.

La arquitectura biónica es la evolución de la arquitectura orgánica; es un movimiento para el diseño y la construcción de edificios que expresan trazos y líneas tomadas desde las formas naturales, el cual, comenzó a madurar a principios del siglo XXI. Está en oposición de los tradicionales trazos rectangulares, diseñando esquemas que usen formas curvas así como superficies de estructuras biológicas y matemáticas fractales.

Al analizar las obras de la naturaleza, como la base de la arquitectura hecha por el hombre, se da la expresión: "arquitectura evolutiva", que se refiere al desarrollo de nuevas estructuras, materiales y procesos de construcción, relaciones ecológicas y conceptos estéticos basados en el desarrollo evolutivo de la naturaleza durante millones de años y su aplicación a los entornos hechos por el hombre.

Se podría definir como una síntesis eco-filosófica de los principios comunes de la biología, la ingeniería y la arquitectura aplicada al desarrollo futuro del hábitat humano en armonía con el progreso y con la naturaleza.

Arquitectura y naturaleza se han acompañado a lo largo de la historia. No obstante, hoy la arquitectura biomimética va mucho más allá de la mera imitación del diseño de la naturaleza y transpone los procesos naturales en busca de que las instalaciones de los edificios funcionen a su semejanza, promoviendo entornos sostenibles y naturales.

Para proyectar con la naturaleza, la arquitectura biónica debe basar su estudio y tomar en cuenta los siguientes aspectos fundamentales: la sucesión de Fibonacci, la proporción Aurea, la geometría fractal y las formas que se encuentran en la naturaleza.

El estudio de la naturaleza permite desarrollar la nueva arquitectura y el urbanismo, creando propuestas inspiradas en un entendimiento integral de los principios lógicos de flexibilidad, adaptabilidad y la eficiencia energética que prevalecen en todas las especies naturales. La comprensión de las técnicas y estrategias que utiliza la naturaleza como inspiración para la creación de formas da lugar a esta nueva sensibilidad artística. La aplicación de la ciencia a la Arquitectura Biónica genera la apertura de nuevas líneas de investigación y pensamiento.

---

---

## REFERENCIAS.

### LIBROS.

- Álvarez, A. (2003). *Arquitectos de Rascacielos*. Barcelona, España. Ed. Grupo ATRIUM.
  - Asensio, F. (2005). *ATLAS La Nueva Arquitectura*. Barcelona, España. Ed. Grupo ATRIUM.
  - Baudrillard, J. (1997). *El sistema de los objetos*. México. Ed. Siglo XXI.
  - Behling, Stefan & Sophia (2002). *Sol POWER. La evolución de la Arquitectura Sostenible*. Barcelona, España. Ed. Gustavo Gili.
  - Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Boston. Birkhäuser Publications.
  - Cervera, R. (2020). *Biónica, Biomimética y Arquitectura*. España. Ed. Lexus Editores.
  - Cook, T. A. (1979). *The Curves of Life*. New York. Dover Publications.
  - Corbalán, F. (2010). *La Proporción áurea. El lenguaje matemático de la belleza*. España. Ed. EDITEC.
  - Coronado, R. (2005). *Biónica y Metodología de Proyecto*. Chile. Universidad UNIACC.
  - Cross, N. (1999). *Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos*. México. Ed. Limusa.
  - De la Herrán, J. (2003). *Mosaico Tecnológico*. México. ADN Editores. CONACULTA.
  - De la Rosa, E. (2012). *Introducción a la teoría de la arquitectura*. México. Ed. Red Tercer Milenio.
  - Doczi, G. (2003). *El poder de los límites. Proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura*. Argentina. Ed. Troquel.
  - Garcia, B. (2000). *Arquitectura Sísmica. Prevención y Rehabilitación*. Barcelona, España. Ed. Gustavo Gili.
  - Gössel, P., Leuthäuser, G. (1991). *Arquitectura del Siglo XX*. Alemania. Ed. Taschen.
  - Grattaceli, Arranha-Céus (2001). *Rascacielos*. España. Ed. Grupo ATRIUM.
  - Grimshaw, N., Moore, R., & Powell, K. (1993). *Structure, space and skin: the work of Nicholas Grimshaw & partners*. London. Ed. Phaidon.
  - Guisar, L.E. (2012). *Bioarquitectura*. España. Ed. Académica Española.
-



- Gutiérrez, E.G. (2012). Taller de Proyecto Arquitectónico. México. Ed. Red Tercer Milenio.
  - Halliday, S. (2001). Animal Architecture. Edinburgh. Gaia Research.
  - Hambidge, J. (1977). The Elements of Dynamic Symmetry. New York. Dover Publications.
  - Haeckel, E. (1998). Art Forms in Nature. Munich, Germany. Bibliographisches Institut.
  - Instituto de Cultura de Barcelona, Colegio de Arquitectos de Cataluña (2004). Los otros arquitectos. Barcelona, España. Ed. Gustavo Gili.
  - Jones, D. (1998). Architecture and the Environment: Bioclimatic Building Design. Londres. Laurence King Publishing.
  - Littinetsky, I.B. (1975). Iniciación a la Biónica. Barcelona, España. Barral Editores.
  - Maiellaro, N. (2001). Towards Sustainable Building. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
  - Mandelbrot, B. (2003). La Geometría Fractal de la Naturaleza. Barcelona, España. Ed. TusQuets.
  - Munizaga, G. (1999). Las Ciudades y su Historia. Chile. Ed. Alfaomega.
  - Otto, F. (1991). Una Nueva Arquitectura Natural. México. UNAM.
  - Pallasmaa, J. (2020). Animales Arquitectos. El funcionalismo ecológico de las construcciones animales. Barcelona, España. Ed. Gustavo Gili. Fundación César Manrique, Lanzarote.
  - Pearson, D. (2000). Earth to Spirit: In Search of Natural Architecture. Londres. Gaia Books.
  - Pearson, D. (2002). Arquitectura Orgánica Moderna. Barcelona, España. Ed. Blume.
  - Pioz, J. (2018). Arquitectura Biónica. Principios. Madrid, España. Ed. Munillalería.
  - Ruskin, J. (2010). Las siete lámparas de la Arquitectura. Barcelona, España. (4a. Ed.). Ed. Alta Fulla.
  - Sampieri, R., Fernández, C., Baptista, M. (2010). Metodología de la investigación. México. (5a. Ed.). Ed. Mc Graw Hill.
  - Senosiain, J. (2016). Bio Arquitectura. En busca de un espacio. México. (3a. Ed.). Ed. Noriega.
  - Senosiain, J. (2017). Arquitectura Orgánica. México. Ed. AM Editores.
-

- Stevens, P. (1995). Patrones y pautas en la naturaleza. Barcelona, España. Salvat Editores.
- Tsui, E. (1999). Evolutionary Architecture: Nature as a Basis for Design. New York. Ed. John Wiley.
- Vedoya, D.E. (2014). La Transposición Tecnológica. Introducción a la génesis de los procesos tecnológicos. España. Ed. Académica Española.
- Waddington, C.H. (1976). The Modular Principle and Biological Form. New York. Ed. Gyorgy Kepes.
- Wagensberg, J. (2005). La Rebelión de las Formas. España. (2a. Ed.). Ed. Tusquets.
- Wallisser, T. (2022). LAVA. Laboratory for Visionary Architecture: What If. Germany. Ed. Birkhauser.
- Yeang, K. (2000). Proyectar con la Naturaleza. Bases ecológicas para el proyecto arquitectónico. Barcelona, España. Ed. Gustavo Gili.
- Yeang, K. (2001). El Rascacielos Ecológico. Barcelona, España. Ed. Gustavo Gili.

## INTERNET.

- Arquitectura Biónica (2000). Hemeroteca digital UNAM. Recuperado de: <https://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/¿Qué es Arquitectura Biónica?>
  - Arquitectura Biónica (2009). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_bi](https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_bi).
  - Arquitectura Biónica (2014). Recuperado de: <https://www.cerveraandpioz.com/>
  - Bionic architecture (2022). Wikipedia contributors. In Wikipedia, The Free Encyclopaedia. Recuperado de: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bionic\\_architecture&oldid](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bionic_architecture&oldid).
  - Biónica (2003). FES Cuautitlán UNAM. Aula virtual. Recuperado de: <https://www.cuautitlan2.unam.mx/num4/2003>
  - Celaya, E. (2007). Ciudad vertical torre biónica, Madrid. Recuperado el 20 de octubre de 2009 de: <https://www.torrebionica.com/bvs/bvs.html>.
  - Cibernética (2005). Monografias. Recuperado de: <https://www.monografias.com/trabajos/cibernética>.
  - El mundo (2001). Recuperado de: <https://www.elmundo.es/opinion/eloycelaya>
  - Estadio Nacional de Beijing (2008). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Beijing\\_National\\_Stadium](https://es.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Stadium).
-

- Fractal (2008). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado el 13 de abril de 2009, de: <https://es.wikipedia.org/wiki/fractal>.
  - Fractal (2019). EcuRed. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Fractal&oldid>.
  - Fractovia (2008). Recuperado el 13 de abril de 2009, de: <https://www.fractovia.org/es/html>.
  - Future Systems (2009). Recuperado de: <https://www.aq.upm.es/especiales/futuresystems>.
  - Future Systems (2022). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/w/Future\\_Systems](https://es.wikipedia.org/w/Future_Systems).
  - Geometría Fractal y Euclidiana (2007). Zona fractal. Recuperado el 28 de marzo de 2008, de: <http://www.zonafractal.html>.
  - Grimshaw (2005). Nicholas Grimshaw & partners projects. Recuperado de: <https://www.grimshaw-architects.com/projects>
  - LAVA (2020). Bionic Tower Project. Recuperado de: <https://www.l-a-v-a.net/projects/bionic-tower/>
  - Los fundamentos de la arquitectura (2020). Arqchile. Recuperado de: <https://arqchile.cl/los-fundamentos-de-la-arquitectura/>
  - Llopis, J. Sistema de Funciones Iteradas: Fractales Autosemejantes (2015). Mates fácil. Recuperado de: <https://matesfacil.com/fractales/autosemejantes/fractal-auto-semejante-definicion-ejemplos-funcion-propiedades-teorema-punto-fijo-compacto-iteraciones-sistema-contractivas-iteradas-galeria.html>
  - Luque, Bartolo, Agea, Aída (2011). Fractales en la Red. Recuperado el 30 de octubre de 2011, de: <https://www.dmae.upm.es/cursofractales/index.html>
  - Mangado, A. (2003). Biónica: el arte de copiar a la naturaleza. Webanalog. Recuperado de: [https://webanalog.blogspot.com/2003\\_08\\_01\\_webanalog\\_archive.html](https://webanalog.blogspot.com/2003_08_01_webanalog_archive.html)
  - Martínez, José (2012). Fractales. Recuperado el 5 de diciembre de 2012, de: <https://aixa.ugr.es/fractal.html>
  - Most Amazing Bionic Buildings (2008). Environmental graffiti. Recuperado, de: <https://www.environmentalgraffiti.com/sciencetech/12-most-amazing-bionic-buildings>
  - Pérez, J., Gardey, A., Definición de fractal - Qué es, Significado y Concepto (2009). Definicion.de. Recuperado el 24 de febrero de 2013 de: <https://definicion.de/fractal/>
  - Plataforma urbana (2008). Recuperado de: [http://www.plataformaurbana.cl/copp/albums/Zaha\\_Hadid](http://www.plataformaurbana.cl/copp/albums/Zaha_Hadid).
-

- Proyecto arquitectónico (2010). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto\\_arquitectónico](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto_arquitectónico)
- Ruiz, Agustina (2004). Biónica productos por naturaleza. Recuperado de: <https://www.estudiobionica.com.ar/>
- Salas, Claudia (2012). Metodología para el Proceso de Diseño. Recuperado de: <https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.mx/2012/01/el-concepto-en-el-diseno.html>
- Saugar, A. (2000). Biónica: la naturaleza es sabia. Popular. Recuperado el 15 de mayo del 2009 de: <http://www.arturosoria.com/eprofecias/art/bionica.asp>.
- Selfridges storages (2004). Arqchile. Recuperado de: [https://arqchile.cl/almacenes\\_selfridges](https://arqchile.cl/almacenes_selfridges).
- Tendencias científicas (2004). Recuperado de: [https://www.tendencias.científicas.com/vivienda\\_futuro](https://www.tendencias.científicas.com/vivienda_futuro).
- Vanden, F. (2008). La biónica y el diseño de la naturaleza. México: excelsior. Recuperado de: <https://www.exonline.com.mx/diario/editorial/230195>
- Zaha, H. (2008). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Zaha\\_Hadid](https://es.wikipedia.org/wiki/Zaha_Hadid).

## ARTÍCULOS.

- Arencibia, R., De Moya, F. (2010). La evaluación de la investigación científica: una aproximación teórica desde la Cienciometría. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de La Habana, Cuba. Grupo de Investigación SCIMAGO, Universidad de Granada, Facultad de Biblioteconomía y Ciencias de la Información, Granada, España.
  - Auger, P. (2015). Tendencias actuales de la investigación científica. Revista de Educación. Crónica. No.XLVIII. Recuperado de: <https://www.educacionyfp.gob.es/revista-de-educacion/en/dam/jcr:e25201d9-aaa3-43ba-975f9bbfcc0de61d/cronica-pdf>.
  - Benyus, J.M. (2012). BIOMIMESIS. Cómo la ciencia innova inspirándose en la naturaleza. Barcelona, España. Tusquets Editores.
  - Cárdenas, E. (2006). El futuro está en la naturaleza. Biónica: Descubrir y aprovechar tecnologías mejoradas durante millones de años. Claasvision. Recuperado de: [https://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/es/funshop/claasvision/artikel/Titelberi\\_lang=es\\_ES.pdf](https://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/es/funshop/claasvision/artikel/Titelberi_lang=es_ES.pdf).
  - Colunga, S., Garcia, J. (2010). La modelación, los modelos y su importancia para las ciencias de la educación. Centro de Estudios de Ciencias de la Educación "Enrique José Varona" de la Universidad de Camagüey, Cuba. Instituto Superior Pedagógico "José Martí" de Camagüey, Cuba. Recuperado de: <https://www.monografias.com>.
-

- Documentos Universitarios (2010). Síntesis, Resumen y Reseña. Universidad Cristóbal Colón. La divulgación científica y tecnológica. Cuaderno 3. Veracruz, México.
- Fernández, R. (2010). Metodologías de Modelización. Unidad Docente de Lógica y Filosofía de la Ciencia.
- Iturriaga, R., Jovanovich, C. (2012). Los Fractales y el Diseño en las Construcciones. TRIM, (No.5).
- Lim, J. (2003). Structural Prototypes from Seashells. Journal of Architectural Education. UNS. Singapore University.
- Luengo, E. (2008). La simplicidad del método científico y la complejidad de lo real. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente ITESO. Centro Interdisciplinario para la Formación y Vinculación Social.
- Miró, X. (2009). El Nuevo Hito del Golfo Pérsico. Habitat Arquitectura, Diseño, Interiorismo, (No.26).
- Mora, G. (2019). Javier Pioz presenta “los principios de la arquitectura biónica”. Architectural Digest. Recuperado de: <https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/javier-pioz-presenta-principios-arquitectura-bionica/22380>.
- Moreno, L., Galvis, M.J., García, R.J. (2012). Biomímesis en Arquitectura e Ingeniería Estructural. Revista M, Universidad Santo Tomás Colombia, Vol. 9, (No.1), págs.78-101
- Pioz, J., Cervera, M.R., Celaya, E. (2005). Torre Biónica Hong Kong. Proyectos.
- Pioz, J., Cervera, M.R. (2007). La Ciudad Jardín Vertical Torre Biónica: Una Bio-Estructura Sostenible. Revista Digital Universitaria, Volumen 8, (No.7). Recuperado de: <https://www.revista.unam.mx/vol.8/num7/art54/int54.html>.
- Winfield, F.N. (2007). Reflexiones sobre la investigación en arquitectura. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus trabajos de investigación a nivel maestría y doctorado han sido distinguidos en la Tercera y Sexta Bienales de Arquitectura Mexicana (1994 y 2000).

## **TESIS.**

- Díaz de la Vega, E. (2002). Biónica. Aplicación de los principios de diseño de la naturaleza. Tesis Licenciatura. Facultad de Arquitectura, UNAM. México.
  - Escario, M. (2020). Arquitectura y Naturaleza. Patrones de crecimiento Tesis. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid. España.
  - Huerta, L. (2017). Técnicas Biomiméticas aplicadas a la Arquitectura. Tesis. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid. España.
-

- Méndez, L.M., Otálvaro, V. (2006). Estudio de la Biónica como metodología aplicable en Ingeniería de diseño de producto y su formalización a través de una propuesta de investigación del semillero HECAS-ID de la Universidad EAFIT. Tesis. Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto, Universidad EAFIT. Medellín.
- Rivera, J. (2003). Edificios con Alta Tecnología Sistemas de Máxima Eficiencia Energética Caso de Estudio "Torre Siglum". Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado (CIEP), Fac. Arquitectura, UNAM. México.
- Rossi, L. (2009). Arquitectura y Biomimesis. Caso de estudio: análisis del tejido del cactus para modelos arquitectónicos inspirados en la naturaleza. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Santillán, A., Mejía, D.A., Martinelli, G.A., Moya, P.C., Huatuco, R.J. (2011). Construcción de relaciones numéricas aplicadas a la arquitectura. Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sarmiento, M. (2009). Relación entre la Biónica y el diseño para los criterios de forma y función. Tesis. Universidad de Palermo.

## **PRESENTACIONES.**

- Eloy Celaya E.C.E. (2007). La Teoría Biónica: Aplicación a la Arquitectura y al Urbanismo. La Ciudad Vertical Torre Biónica. Presentación. Recuperado de: <https://www.torrebionica.com>
- Valcárcel, N. (2009). Modelación y Modelos en las Ciencias. Presentación.

## **CONGRESOS.**

- Alzogaray, I. (2007). Geometría Fractal y Arquitectura. Congreso. Buenos Aires, Argentina.

## **CURSOS.**

- Universidad Politécnica de Madrid (2010). Modelización de Sistemas Biológicos. Introducción a Simulación y Modelización. Curso.

## **PUBLICACIONES.**

- BASF The Chemical Company (2009). Hormigón de Altas Prestaciones. Folleto, Versión 5.1. BASF. España.
-

---

## IMÁGENES.

Nota aclaratoria:

Todas las imágenes contenidas en este documento fueron tomadas de internet, libros, artículos, publicaciones, relacionadas con el tema de estudio, su función es exclusivamente con fines académicos, no tiene fines de lucro.

Imagen Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

Imagen 17 ODS en México.

Imagen 1 Maquina voladora. Leonardo Da Vinci.

Imagen 2 Analogía de Mesa City.

Imagen 3 Brazo biónico.

Imagen 4 Prótesis biónica.

Imagen 5 Oído biónico.

Imagen 6 Ojo biónico.

Imagen 7 El triángulo 3-4-5 de Pitágoras en las plantas.

Imagen 8 Proporciones armónicas de la hoja de lila.

Imagen 9 Reconstrucción de contornos de hojas.

Imagen 10 Copos de nieve.

Imagen 11 El patrón de una galaxia espiral.

Imagen 12 Unidad de proporciones longitudinales en mujeres y hombres.

Imagen 13 Reproducciones de hojas por computadora.

Imagen 14 Similitud en el conjunto de Mandelbrot.

Imagen 15 Representación fractal Summa.

Imagen 16 Representación fractal Summa 02.

Imagen 17 Representación fractal Summa 03

Imagen 18 Magnolias y bóvedas fractales.

Imagen 19 Fractal autohomográfico.

Imagen 20 La corona y los retoños.

---

- Imagen 21 La caverna. Ariztoy, A. (2013). Vivir en una casa cueva. Recuperado de: <https://www.monapart.com/magazine/hogar/vivir-en-una-casa-cueva>.
- Imagen 22 El territorio. Bryanston School Landscape (2020). Recuperado de: <https://www.bryanston.co.uk/gallery/?pid=201&gcatid=2&albumid=9#lg=1&slide=6>
- Imagen 23 Nido en forma de cúpula invertida.
- Imagen 24 Termitera en Kenia, África.
- Imagen 25 Corte transversal del albergue del castor.
- Imagen 26 Principios de fluidez y continuidad.
- Imagen 27 Edificio Menara. Arq. Ken Yeang.
- Imagen 28 Viviendas trogloditas. Capadocia, Turquía.
- Imagen 29 Origen de las primeras construcciones.
- Imagen 30 Babilonia. Reconstrucción del S. XVIII.
- Imagen 31 Ciudadela de Mohendjo-Daro. 2500 a.C.
- Imagen 32 Teotihuacán. 500 d.C.
- Imagen 33 Diagramas de edificación alineada y con alta densidad.
- Imagen 34 Rascacielos en Manhattan, Nueva York.
- Imagen 35 Sistema constructivo del iglú.
- Imagen 36 Planta y sección del iglú.
- Imagen 37 Mezquita de Djenne, Mali.
- Imagen 38 Casas de Batak, al norte de Sumatra.
- Imagen 39 Casa Parque Güell, Antonio Gaudi, 1905.
- Imagen 40 Figura escultórica. Parque Güell.
- Imagen 41 Iglesia Sagrada Familia.
- Imagen 42 Museo Guggenheim, interior.
- Imagen 43 Oficinas de Ceras Johnson, interior.
- Imagen 44 Diferentes obras Arq. P. Soleri.
-



- Imagen 45 Velódromo olímpico, Atenas. Autor desconocido (2009). Recuperado de: [https://enciclopedia.us.es/index.php/Archivo:Estadio\\_Olimpico\\_de\\_Atenas\\_Velodromo.jpg](https://enciclopedia.us.es/index.php/Archivo:Estadio_Olimpico_de_Atenas_Velodromo.jpg)
- Imagen 46 Auditorio de Tenerife. Brendan, D.S. (2020). Recuperado de: <https://www.google.com/search?sa=Auditorio+de+Tenerife&stick=H4sIA>
- Imagen 47 Casa orgánica. Planta arquitectónica. Vista exterior.
- Imagen 48 Casa Flor. Planta arquitectónica. Vista interior (vitral).
- Imagen 49 Tallo trichophyrum y chimenea.
- Imagen 50 Peromedusae, Art Forms in Nature. Ernst Haeckel.
- Imagen 51 Exoesqueleto de los artrópodos mostrando la estructura interna, formada por fibras de quitina.
- Imagen 52 Proceso de ejecución del hiperboloide hiperbólico.
- Imagen 53 Pabellón ICD, Universidad de Stuttgart.
- Imagen 54 Proceso de refrigeración en el termitero y sistema de ventilación en el proyecto "Eastgate".
- Imagen 55 Edificio "Eastgate", Harare Zimbabue.
- Imagen 56 Torre Qatar Sprouts. Diferentes vistas.
- Imagen 57 Cactus desierto de Qatar.
- Imagen 58 Eugene Tsui. Pensamiento orgánico-biónico.
- Imagen 59 Proyecto Torre "Ultima".
- Imagen 60 Casa Ojo del Sol. Diferentes vistas.
- Imagen 61 Proyecto Edén. Vista de conjunto.
- Imagen 62 Bioma. Vista interior.
- Imagen 63 Centro espacial. Diferentes vistas.
- Imagen 64 LAVA diferentes proyectos. Skin Tower, Snowflake Tower, Bionic Tower.
- Imagen 65 Imágenes proyectos varios. Edificio "Cubo de Agua", Edificio oficinas LBBW, Estadio Olímpico, Embajada marciana.
- Imagen 66 Proyecto Opera de Dubai. Perspectiva.
-

- Imagen 67 Proyecto Centro de Artes Abu Dhabi. Conjunto y perspectiva.
- Imagen 68 Proyecto Pabellón de España 2010 en China.
- Imagen 69 Proyecto Embajada de China en Madrid. Maqueta.
- Imagen 70 Proyecto de la Isla residencial Saadiyat en Dubai.
- Imagen 71 Proyecto Museo Xixi - Humedal en Hagzhou, China.
- Imagen 72 Infografía de un diente de león con semillas.
- Imagen 73 Esquema del concepto estructural "todo-resistente".
- Imagen 74 Esquema de columna-calle, donde se aplica el sistema de encapsulado natural
- Imagen 75 Esquema distribución espacial fractal, corona de 92 columnas que contienen los sistemas tecnológicos.
- Imagen 76 Esquema de la disposición helicoidal de las fibras de una estructura arbórea.
- Imagen 77 Esquema de la disposición perimetral de los conductos de una estructura arbórea.
- Imagen 78 Esquema de vaso conductor de una estructura arbórea.
- Imagen 79 Esquema de la disposición de las dos ciudades verticales que componen Torre Biónica.
- Imagen 80 Esquema de la solución de cimentación flotante multirradial.
- Imagen 81 Girasol, patrón de distribución de sus semillas.
- Imagen 82 Nautilus, ejemplo de proporción áurea.
- Imagen 83 Rectángulo Áureo RA, representa la sección áurea.
- Imagen 84 Partenón. Análisis de la sección áurea.
- Imagen 85 Edificio "Centro Cívico del Agua" Arq. Manasc Isaac. Calgary, Canadá
- Imagen 86 Escalera con forma de sección áurea.
- Imagen 87 Fractales naturales (ejemplos).
- Imagen 88 Fractales aplicados a la Arquitectura (ejemplos).
- Imagen 89 Formas de la naturaleza (ejemplos).
- Imagen 90 La circunferencia en la naturaleza (ejemplos).
-

- Imagen 91 El hexágono en la naturaleza (ejemplos).
- Imagen 92 La espiral en la naturaleza (ejemplos).
- Imagen 93 La hélice en la naturaleza (ejemplos).
- Imagen 94 La curva en la naturaleza (ejemplos).
- Imagen 95 Curvas geométricas en la naturaleza (ejemplos).
- Imagen 96 Modelos de estructuras biológicas.
- Imagen 97 Análisis de formas naturales, prototipos de conchas marinas para estructuras arquitectónicas.
- Imagen 98 Almacén Selfridges. Diferentes vistas del edificio.
- Imagen 99 Proyecto Acuario Planeta Azul. Planta de conjunto y Fachadas.
- Imagen 100 Proyecto Complejo “Puerta RAK” (RAK Gateway). Vista de conjunto y del rascacielos.
- Imagen 101 Estadio Olímpico de Beijing “El Nido de Pájaro”. Diferentes vistas.
- Imagen 102 Torre Turning Torso.
- Imagen 103 Dibujo concepto Torre Turning Torso.
- Imagen 104 Vista panorámica Torre Turning Torso.
- Imagen 105 Flor Hymenocallis.
- Imagen 106 Torre Burj Khalifa. Diferentes vistas.
- Imagen 107 Vista panorámica nuevo Aeropuerto Beijing.
- Imagen 108 Estrellas de mar.
- Imagen 109 Torre Biónica. Lámina de presentación.
- Imagen 110 LAVA Proyecto Torre Biónica. Vista parcial.
- Imagen 111 LAVA Proyecto Torre Biónica.
-