

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS GEOMÉTRICO PARA ESTUDIOS EN BIÓNICA.

JULIAN ESTEBAN LÓPEZ CARVAJAL



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS
DISEÑO INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2015

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS GEOMÉTRICO PARA ESTUDIOS EN BIÓNICA.

JULIAN ESTEBAN LÓPEZ CARVAJAL

TESIS DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO EN DISEÑO INDUSTRIAL

Director

BYRON IRAM VILLAMIL VILLAR

Diseñador Industrial
Msc. Desarrollo de Producto



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS
DISEÑO INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2015

AGRADECIMIENTOS

*A mis padres por su esfuerzo e incondicional apoyo a lo largo de todo este proceso;
a mi director por su asesoría y crítica; a mis hermanos por ser un amparo en todas
las situaciones; a aquél Dios que siempre me ha acompañado y por siempre a Lu...*

Contenido

Tabla de Ilustraciones	7
Resumen.....	10
1 Introducción	11
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general:	19
1.3.2 Objetivos Específicos:	19
2 Marco teórico.....	20
2.1 La Geometría implícita en el Diseño y en la Arquitectura.	20
2.1.1 Modelización Geométrica:	20
2.1.2 La Representación Geométrica:	22
2.1.3 Modularidad:.....	23
2.1.4 Fractalidad:.....	24
2.1.5 Formas Poliédricas:	29
2.2 La Forma Geométrica en Función:.....	31
2.2.1 Algunos ejemplos geométricos aplicados en Diseño:.....	33
2.3 El Diseño Industrial en desarrollo:.....	37
2.4 Forma y Función:	40
2.5 Biónica:	43
2.5.1 Algunos ejemplos sobre intervenciones por medio de la Biónica:.....	44
2.5.2 Historia de la Biónica.	47
2.5.3 Biomímesis (También conocida como Biomimética o Biomimetismo) ..	49
2.6 Modelos matemáticos:	51
2.7 Patrones en la Naturaleza:.....	55

2.7.1	Efecto Escala:.....	60
2.8	La Geometría y algo de su historia:	62
2.9	Algunas definiciones geométricas de importancia:	65
2.9.1	Sólidos Platónicos:	67
2.10	Pensamiento Espacial:	68
2.11	Geometría Descriptiva:	69
2.11.1	Sistemas de proyección	70
2.11.2	Proyección cilíndrica:	71
	Proyección cónica:.....	71
	Proyección diédrica:	73
2.12	Matemáticas en la Naturaleza:	74
2.13	Patrones geométricos de la Naturaleza:	80
2.13.1	Línea Recta:.....	81
2.13.2	Polígonos:	82
2.13.3	Poliedros:	83
2.13.4	Círculos:	84
2.13.5	Secciones de círculo, ondas y formas sinuosas:.....	84
2.13.6	Espirales:	85
2.13.7	Segmentos de espiral:.....	87
2.13.8	Espirales tridimensionales:.....	88
2.13.9	Cuerpos y superficies con una curvatura:	88
2.13.10	Dobles curvaturas positivas:.....	89
2.13.11	Dobles curvaturas negativas:	90
3	Instrumento de Análisis Geométrico para estudios en Biónica.	91
3.1	Esquema general de la herramienta:	91
3.1.1	Selección de un problema:	93
4	Formato de investigación.....	96

4.1	FORMATO I	97
4.2	FORMATO II	98
4.3	FORMATO III	100
4.4	FORMATO IV	103
4.5	FORMATO V.....	105
4.6	FORMATO VI.....	107
4.7	FORMATO VII.....	110
4.8	FORMATO VIII (opcional)	114
4.9	FORMATO IX.....	115
4.10	FORMATO X.....	117
4.11	FORMATO XI.....	120
5	Manual de uso	121
5.1	FORMATO I	122
5.2	FORMATO II	122
5.3	FORMATO III	124
5.4	FORMATO IV.....	128
5.5	FORMATO V.....	129
5.6	FORMATO VI.....	132
5.7	FORMATO VII.....	133
5.8	FORMATO VIII (opcional)	133
5.9	FORMATO IX.....	133
5.10	FORMATO X.....	133
5.11	FORMATO XI.....	134
6	CONCLUSIONES	134
7	Bibliografía.....	136
7.1	Otras fuentes bibliográficas.....	138

Tabla de Ilustraciones

Figura 1. Ejemplos escalas: 1:1; 2:1; 1:2	22
Figura 2. Ejemplo líneas perspectiva usado por Da Vinci en el cuadro “La última cena”	23
Figura 3. Cubo de Rubik	24
Figura 4. Estructura árbol de La Sagrada Familia.....	25
Figura 5. Escuelas de La Sagrada Familia.....	26
Figura 6. Estructura de La Escuela de la Sagrada Familia	27
Figura 7. Columnas de La Sagrada Familia	29
Figura 8. Cúpula Geodésica.....	29
Figura 9. Parte interna de la cúpula en el teatro del Museo Dalí.....	30
Figura 10. Vista exterior cúpula Museo Dalí (1974)	30
Figura 11. Sillas de Thonet.	31
Figura 12. Dibujos de las sillas de Thonet.....	32
Figura 13. La mecedora número 1 (1860).....	32
Figura 14. Triángulo de Reuteaux.....	33
Figura 15. Principio de funcionamiento de perforación cuadrada.	33
Figura 16. Balón de fútbol.	33
Figura 17. Icosaedro truncado. “De Divina Proportione” de Lucca Pacioli. Dibujo Leonardo Da Vinci.....	34
Figura 18. Escuadras.	34
Figura 19. Clip.....	35
Figura 20. Resortes.....	35
Figura 21. Olifante.....	36
Figura 22. Trompeta.....	36
Figura 23. Campana.....	37
Figura 24. Simulación de las alas de los aviones con algunas aves.....	45
Figura 25. Estructura del Trichophorum (espiga) y de la chimenea de febril	46
Figura 26. Tren Bala inspirado en el Martín pescador.....	47
Figura 27. Ornitóptero (1490 aprox.) de Leonardo Da Vinci.....	49
Figura 28. Los embajadores de Holbein y el reflejo del cráneo.....	53
Figura 29. Anamorfosis en homenaje a Dalí frente al Museo en Figueras.....	53

Figura 30. La divina Proporción de Lucca Pacioli	54
Figura 31. El Sacramento de La Última Cena (1955) Salvador Dali	54
Figura 32. 'Kumo XV' (1973) de Omar Rayo	55
Figura 33. Pentágonos	57
Figura 34. Poliedros semiregulares.....	58
Figura 35. Las formas geométricas de la Naturaleza	58
Figura 36. "Generación y transformación de la forma" (pág.112).....	61
Figura 37. Sistema de proyección	70
Figura 38. Plano de Proyección Ortogonal.....	71
Figura 39. Plano de Proyección Oblicua	71
Figura 40. Plano Proyección Cónica	72
Figura 41. Perspectiva un punto de fuga.....	72
Figura 42. Perspectiva dos puntos de fuga	72
Figura 43. Perspectiva tres puntos de fuga.....	73
Figura 44. Proyección Diédrica	74
Figura 45. Serie Fibonacci	75
Figura 46. Hojas Alternas: (a.) Helicoidal, (b.) Dística Alterna y (c.) Dística Compuesta.....	76
Figura 47. Hojas Opuestas: (a.) Decusada, (b.) Dística	77
Figura 48. Hojas Compuestas opuestas.	77
Figura 49. Verticiladas.....	78
Figura 50. Sucesión Fibonacci en Girasol.....	78
Figura 51. Proporción aurea Partenón Atenas.	79
Figura 52. Palma de corozo	81
Figura 53. Pentámera.....	82
Figura 54. Cristales del hielo	82
Figura 55. Ángulos del Hexágono y configuración hexagonal en un panel de abejas.	83
Figura 56. Exoesqueleto Radiolarios.....	83
Figura 57. Anillos que marcan el crecimiento de un árbol.....	84
Figura 58. Desplazamiento de una serpiente.....	85
Figura 59. Tipos de espirales	86
Figura 60. Espiral de Arquímedes y Espiral Logarítmica.....	87
Figura 61. Guacamaya.....	87

Figura 62. Heliconias.....	88
Figura 63. Baobab Grandidieri:	89
Figura 64. Gotas de rocío sobre una telaraña.....	89
Figura 65. Curva Positiva	90
Figura 66. Curva negativa	90
Figura 67. Ejemplo doble curvatura: Flor de Hibiscos	91
Tabla 1. Escala de reducción	21
Tabla 2 Escala de ampliación	22
Tabla 3 Patentes biológicas. Litinetski	44
Tabla 4. “Generación y transformación de la forma” (pág.109).....	59
Tabla 6 Cuadro A –Cuadro B	123
Tabla 7 Cuadro C	124
Tabla 8 Geometría Rescta	125
Tabla 9 Geometría Recta	126
Tabla 10 Geometría Curva.....	127
Tabla 11 Geometría Curva.....	128

Resumen

Este proyecto es la tesis de grado en Diseño Industrial en el cual se desarrolla una herramienta que permite realizar investigaciones para resolver problemas de diseño por medio del estudio de los sistemas de la naturaleza. Estos estudios se realizan a través de la biónica como disciplina importante en la resolución de problemas en diseño, para ello se vincula la geometría como soporte fundamental a la hora de realizar la clasificación de las o la problemática y como ayuda en la búsqueda del ente natural que resuelve dicho problema por medio de los patrones geométricos de la naturaleza, además de brindar las herramientas necesarias para la observación de los entes naturales.

Palabras claves: Diseño Industrial – Biónica – Geometría en la Naturaleza – Patrones geométricos de la naturaleza.

1 Introducción

“...La naturaleza benigna provee de manera que en cualquier parte halles algo que aprender...”

Leonardo da Vinci.

La naturaleza ha sido fuente de inspiración para el desarrollo de múltiples ideas y como solución a distintas problemáticas que ha afrontado el hombre en toda su existencia.

A través de los siglos la naturaleza ha desarrollado mecanismos y métodos que le permiten adaptarse a los constantes cambios producidos por la evolución en cada especie. Estos cambios naturales provocaron que el hombre buscara acoplarse para su sobrevivencia, por ello en situaciones en las que sentía desprotección vio la necesidad de construir refugio, con las inclemencias del clima fue necesario usar pieles de animales, que cazaban para alimentarse, como abrigo y de igual manera buscaban formas más apropiadas para conseguir su alimentación, como el implemento de herramientas construidas con materiales disponibles a su alcance.

La biónica surge ante esta necesidad, la de acoplar soluciones naturales a problemas que afronta el hombre en búsqueda de confort, es decir, tras la observación de los sistemas y fenómenos naturales se puede obtener un dominio muy extenso en cuanto a formas, estructuras y función, aportando más en la solución de las necesidades básicas: protección y desplazamiento.

De esta manera la biónica fue incorporando múltiples disciplinas para su desarrollo como la física, matemática, química, biología, ingenierías, diseño, entre otras, con las cuales se buscan aportes de la naturaleza para el desarrollo de distintas soluciones a problemáticas dependientes en cada rama o interdisciplinarias. En el caso del Diseño es necesario entender que la naturaleza tiene soluciones para todo problema que afronta el hombre bajo los conceptos de forma y de función y es por esto que se hace importante como modelo para realizar cualquier investigación.

Es a partir de este punto cuando se entiende la importancia de la biónica en el Diseño, entonces surgen algunos interrogantes, ¿Cómo abarcar un problema desde

la biónica? ¿Qué tanto se puede resolver con la Biónica? ¿Hasta dónde se puede llegar con un estudio por medio de la biónica?, entre muchas más. Para ello se estudiaron las formas de abarcar problemas de diseño desde la biónica y los métodos o modelos existentes y en conclusión se ha propuesto la geometría como herramienta de apoyo para la interpretación del problema y la búsqueda y observación del ente natural.

Si bien se sabe, la geometría es una rama de las matemáticas capaz de describir e interpretar el mundo real lo más acertadamente posible. Esta disciplina nació ante la necesidad de interpretar, describir y medir los objetos y espacios físicos de una manera precisa.

Al integrar la Biónica y la Geometría, se abre la posibilidad de desarrollar una herramienta que permita, no solo su aplicación y llegar a un resultado si no el entender el porqué de la importancia de las matemáticas en el Diseño, esto es dado porque en algunas herramientas revisadas, si bien son métodos funcionales, no ayudan en algo que es sumamente importante dentro de la investigación: La selección del Ente Natural, y la Geometría brinda las pautas y herramientas necesarias para este fin a través de la clasificación de los patrones geométricos que rigen las formas de la naturaleza.

Esta investigación expone los argumentos encontrados para sustentar las relaciones realizadas entre estas dos disciplinas que fundamentan el desarrollo del instrumento de investigación, el cual facilitará de cierta manera las investigaciones a través de la Biónica para el diseño Industrial; se plantea una herramienta metodológica que parte desde la selección de un problema, identificado a través de una tabla de opciones para así enfocarse en una necesidad, hasta poder identificar y realizar la observación de un ente Natural y poder relacionar los datos encontrados con la solución al problema planteado.

1.1 Planteamiento del problema.

El mundo natural es el punto de partida para estudiar, analizar y concebir soluciones a problemas complejos que afectan al hombre.

La Biónica surgió como disciplina para la observación de los sistemas naturales y poderlos aplicar en la resolución a los problemas técnicos. Es decir, tras la observación de los fenómenos y sistemas de la naturaleza, se obtiene un dominio rico en cuanto a estructura, locomoción, coordinación, emisión, transmisión y recepción de información, entre otros, que al analizarlos se pueden copiar y aplicar a la solución de problemas que afronta el hombre.

El estudio a través de la biónica pasa a ser una herramienta de importancia para el desarrollo de cualquier investigación en diseño, todos los problemas que el hombre ha encontrado o construido en el mundo material – empírico, de una u otra manera ya han sido resueltos por la naturaleza

De acuerdo con la Diseñadora Industrial Mariluz Sarmiento, *“la Biónica es una buena herramienta que ha contribuido a la formación de Diseño, ya sea por el aporte de modelos naturales como ejemplificación de algunos conceptos o por la aplicación de muchas soluciones de diseño en distintos campos”* (sarmiento, 2009, pág. 4)

Cuando se refiere a ejemplificación se habla de la biónica como un proceso mediante el cual se produce una analogía, lo artificial evoca lo natural en cuanto a forma y función.

Para realizar una investigación de los Sistemas Naturales a través de la Biónica existen algunos limitantes desde el Diseño Industrial, debido a que es un área muy extensa que debe contar con múltiples disciplinas para captar una información más detallada y precisa. Disciplinas como la biología, las Matemáticas, la Química, la Física, Cibernética, entre otras, pueden aportar herramientas, teorías y métodos que ayuden en el estudio de entes naturales y hacerlos prácticos a la hora de buscar una solución desde el Diseño Industrial.

Los enfoques de observación y estudio por medio de la biónica en Diseño Industrial, son tomados más como un área de especialización, en lugar de ser un área de principal apoyo en las investigaciones de diseño. Es paradójico que comúnmente en una investigación de Diseño Industrial, donde se trabaja con conceptos de forma, función y material, no se cuente con una formación hacia la observación de los sistemas naturales y es aquí donde los Diseñadores, al realizar un proceso de investigación por medio de la Biónica, no cuentan con las suficientes herramientas o

métodos rigurosos, esto dificulta trabajar junto a otras disciplinas y limita la comunicación entre ellas. Cabe resaltar que pueden existir otros métodos de investigación desde la biónica para resolver problemas de diseño pero también es importante tener en cuenta que la biónica es una herramienta que se puede estudiar desde múltiples disciplinas buscando un acercamiento entre estas para llegar a una solución muy concreta, basados en estudios realizados de la naturaleza.

Una de las características principales para realizar investigaciones en biónica es la observación directa o indirecta de los sistemas, formas y estructuras con el fin de lograr una descripción más detallada que brinde un acercamiento preciso y conocer la totalidad del ente natural.

Esta observación es importante ya que se obtienen los datos iniciales del objeto de estudio: Forma, función, estructura y relaciones.

- La forma que es la materia en función y se caracteriza principalmente por lo que la determina, y qué la compone. En el texto “*Generación y transformación de la forma*”, la forma identifica las características generales de la materia y la morfología. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 33)
- La función está ligada a la forma pero no necesariamente la determina. Para la diseñadora Industrial Mariluz Sarmiento, “la función de un objeto se hace presente a través de las necesidades, que varían y se amplían a medida que el objeto se transforma y adquiere otros significados”. (sarmiento, pág. 62), esto al referirse solo a los objetos creados por el hombre; pero existen también objetos en la naturaleza.
- La estructura depende tanto de la forma como de la función. En lo estructural se considera toda la base material que compone la forma y que le da la función a cualquier objeto artificial o a cualquier ente natural.
- Y existen relaciones entre el entorno y la especie, esto se refiere a los ambientes, hábitats y terrenos en los que la especie se mueve o subsiste.

Por lo general las observaciones de la naturaleza que se realizan en una investigación de Diseño a través de la Biónica se hacen desde la Biología, logrando una descripción solo como observador, siendo esto muy general en cuanto a información y se convierte en un gran limitante en el avance de la investigación ya

que se deja a un lado el análisis debido a que los intereses del diseño y la biología son distintos y no van hacia el mismo camino. Cada investigador organiza y sistematiza su información de diversas maneras, aunque no siempre lo hace de manera organizada, regulada y sobre todo medible.

Por lo tanto surgen algunos interrogantes:

- *¿Cuáles son las herramientas existentes para una investigación en Biónica desde el Diseño Industrial?*
- *¿Qué elementos me brinda la biónica como herramientas para la observación de los sistemas naturales?*
- *¿Qué elementos de otra disciplina pueden ofrecer herramientas para la observación de los sistemas naturales y cómo éstos aportan a la investigación en biónica?*

Es necesario resaltar que para realizar estudios de diseño industrial a través de la biónica, se deben formalizar procedimientos, modelos y métodos que permitan al investigador tener una mayor claridad al momento de desarrollar la investigación. Primero, se parte de la elección de un ente natural: es de importancia lograr identificar cuál se adapta a las circunstancias y cómo sirve para realizar el estudio; luego viene el proceso de observación, a partir de allí se registran datos, formas, estructuras, función, mecanismos, texturas, color y todo aquello que aporte en la resolución de un problema en particular o en general de diseño.

Para efectuar un mejor estudio y comprensión de un ente natural, según el biólogo Peter Stevens (Stevens, 1995, pág. 92), es necesario realizar una observación desde la matemática, más precisamente desde la geometría, con lo que demuestra en su libro Patrones y Pautas de la Naturaleza, que todo lo que ocupa un espacio en el entorno natural está restringido por un número reducido de temas básicos. A lo que se refiere con temas básicos son las formas geométricas repetitivas que la componen: puntos, líneas rectas, líneas curvas, espirales, formas serpenteantes y sinuosas, ramificaciones y uniones.

Y destaca las construcciones naturales y las respectivas explicaciones desde la geometría y su importancia dentro de la creación y construcción de las formas y estructuras artificiales, “...no podemos construir como lo hace la naturaleza,

modificando libremente las formas y añadiendo material allí donde sea necesario, sin atender a un diseño geométrico preconcebido.” (Stevens, pág. 92)

Vallejo en el documento: La geometría, soporte de la idea del proceso de diseño, plantea que: “Desde las grandes construcciones del mundo antiguo hasta nuestros días la Idea ha necesitado del apoyo gráfico y técnico para poder superar el campo de lo ideal y ser contemplada como una realidad construida. De esta manera, la idea se ha plasmado en un dibujo, a través de los diferentes sistemas de representación gráfica, pero a su vez se ha valido del conocimiento de la Geometría y de la Matemática para alcanzar el estrato de la realidad.” (Vallejo, Fadón, & Cerón, pág. 1)

Además plantean que “no es cierto que la geometría solo sea un mero accesorio para el cálculo, si no que se trata también de una herramienta que permite adecuar una forma imaginada y expresada a mano alzada a una referencia geométrica conocida; de esta manera, la geometría queda incorporada al diseño.” (Vallejo, Fadón, & Cerón, pág. 2)

De aquí surge la importancia de generar una herramienta de análisis que permita al observador desarrollar su investigación a través de la Biónica y así obtener de la naturaleza información precisa, ordenada y que ayude a distinguir los patrones geométricos que rigen las formas, estructuras y su respectiva función, para luego implementarlos en la solución de problemas que converjan al Diseño.

1.2 Justificación.

Describir e interpretar las formas que existen en la naturaleza es muy importante en una disciplina como la Biónica, por este motivo la observación es el factor principal para la investigación.

La observación registra en detalle lo que expone la naturaleza, de aquí se pasa a la interpretación que es lograr entender y explicar lo que sucede y posteriormente se da un análisis de resultados, que permite llegar a una posterior aplicación.

Según Morales, en la “*Guía de observación analítica*” (2009), el trabajo de investigación en biónica debe constar de:

Identificación: *Consiste en encontrar lo que nos sirve de la naturaleza, qué ente natural vamos a observar.*

Trabajo de observación: *Proceso empírico inicialmente*

(De lo general a lo particular)

- *No existe opinión del observador*
- *Difiere de ver → Es contemplar, lo que implica más tiempo y atención*
- *Agudización de los sentidos, percepción particular.*
- *Comparaciones primarias según conocimientos.*

Descripción:

- *Uso de los cuantificadores → Expresar cualidades o características obtenidas en la observación.*
- *Terminología específica → Se espera que produzca una imagen mental en los demás*

Análisis:

- *Relaciones con factores del ecosistema*
- *De lo general a lo particular → Abre espacio para que otras disciplinas apoyen el desarrollo.*

Para *Peter Stevens*, las formas de la naturaleza puede ser mejor entendidas si son estudiadas desde la geometría, para lo cual plantea: *“los diseños de la Naturaleza están restringidos por un número reducido de temas básicos.”* Estos temas básicos son las formas que la componen: *“sobre las formas de la naturaleza, podemos dar cuenta que utiliza un número reducido de formas afines en contextos diferentes: (espirales, formas serpenteantes y sinuosas, ramificaciones y uniones de 120°)* (Stevens, pág. 1 y 2)

El hecho de que existan unas formas limitadas ayuda a cuantificar y cualificar mejor las ideas y proyectar un modelo que ayude al estudio por medio de la geometría.

“La forma es expresión de la creatividad y surge de la imaginación como un hecho intuitivo natural, sin un proceso “racional” determinado; pero en una fase inmediatamente posterior, buscará una apoyatura geométrica, que indirectamente, supondrá un fundamento matemático”

Y precisan en lo importante del uso de la geometría en el diseño porque permite disponer de un soporte totalmente conocido en cuanto a sus propiedades aplicativas, es decir que son códigos que toda persona con conocimientos básicos en geometría logra interpretar sin ningún problema. (Vallejo, Fadón, & Cerón, pág. 2)

Para Patiño y Arbeláez, la geometría en el diseño cumple tres funciones fundamentales: Generar un catálogo de formas que existen en la naturaleza, generar un instrumento para el análisis de resultados y generar herramientas para la comparación e interpretación de morfologías.

- **Catálogo de formas:** *Es la función que le permite al diseñador utilizar las formas y sistemas prototípicos ideales, consultarlas como una gran biblioteca, un catálogo donde el proyectista pueda ingresar, seleccionar, y tomar prestada una configuración.*
- **Instrumento de análisis de resultados de la proyección:** *Hace referencia al modo como va a ser construida y posteriormente interpretada la forma.*
- **Herramienta de proposición de morfologías:** *Es la que permite tomar las configuraciones prototípicas geométricas, tanto globales como locales, sus propiedades y características (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 71)*

Con la observación geométrica se busca determinar morfologías basados en elementos geométricos los cuales pueden convertirse en sistemas aplicables en la observación biónica.

D'Arcy Thompson, en su libro **“Sobre el Crecimiento y la Forma”** (1961, edición 2003), plantea la idea de matematizar la Biología, por medio del *“modo de pensar matemático”*, como herramienta indispensable para el estudio del crecimiento y la forma de los seres vivos.

Thompson ve en la matemática la manera de encontrar principios generales característicos de todas las configuraciones teóricamente imaginables.

Además la matemática logra captar lo esencial de la forma, la estructura o el comportamiento de las cosas y con ello descubrir cómo, por encima de los accidentes, hay formas y estructuras. (Aldama, Gutiérrez, Miramontes, & Sánchez Garduño, pág. 5)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Construir una herramienta de observación y medición geométrica para estudios en Biónica.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar cuál es la importancia de la geometría dentro de un estudio en Biónica para el diseño Industrial.
- Identificar los modelos y patrones geométricos que rigen las formas estructuras, función y uso de la naturaleza.
- Desarrollar un modelo de estudio biónico como herramienta para diseño Industrial.

2 Marco teórico.

2.1 La Geometría implícita en el Diseño y en la Arquitectura.

La geometría ha jugado un papel importante dentro del diseño y la creación de objetos. Desde diseñadores, arquitectos, escultores, pintores o inventores han usado esta rama de las matemáticas como herramienta base para llegar a desarrollar sus proyectos.

La Geometría es, a la vez, un instrumento capaz de dar formas geométricas, dar métodos de diseño y representación, aportar medidas y proporciones y suministrar transformaciones con las que establecer simetría, modularidad o repetición, etc. (Català, pág. 1)

A continuación se mostrará una breve reseña sobre la geometría aplicada en el Diseño y en la Arquitectura en parte de la historia.

2.1.1 Modelización Geométrica:

Así como en la arquitectura, en Diseño Industrial es importante la maquetación para representar modelos o prototipos antes de iniciar su construcción real. La maquetación se realiza con medidas específicas y para ello es necesario conocer cómo se manejan las escalas:

Primero se debe entender que la escala es la proporción en aumento o disminución que existen entre las dimensiones reales y las representadas en un objeto o plano.

Las Escalas (E) son representadas:

$E = \text{Dibujo} : \text{Realidad}$

Es decir, escala es igual al valor del plano y el consecuente el valor de la realidad representada.

Por ejemplo, un plano representado a escala natural se representa: 1:1, donde el valor del plano se multiplica por el valor representado, y esto nos da una escala real del objeto.

A parte de la escala natural, también existe la escala de reducción o de ampliación:

La escala de reducción= se utiliza cuando el tamaño físico de la maqueta o plano es menor que la realidad; para conocer su valor es necesario dividirse todas sus medidas por un factor mayor que uno.

Por ejemplo: E= 1:2

Debemos dividir cada medida entre 2 para sacar la proporción de la escala, es decir, si tenemos como medida 10, debemos dividirla entre 2 ($10/2=5$).

Escala	Factor de reducción	Longitud de representación de un metro
1/1	1	100 cm
1/1,25	1,25	80 cm
1/2	2	50 cm
1/2,5	2,5	40 cm
1/5	5	20 cm
1/7,5	7,5	13,33 cm
1/10	10	10 cm

Tabla 1. Escala de reducción

La escala de ampliación= se utiliza cuando hay elementos o piezas del objeto muy pequeñas difíciles de detallar a escala real, en este caso el valor del numerador es mayor que el valor del denominador, es decir que se deben multiplicar todas las medidas por un factor mayor que uno.

Por ejemplo:

E= 2:1

Debemos multiplicar cada medida por 2 para sacar la proporción de la escala, si tenemos como medida 10, debemos multiplicarla por 2 ($10 \times 2=20$).

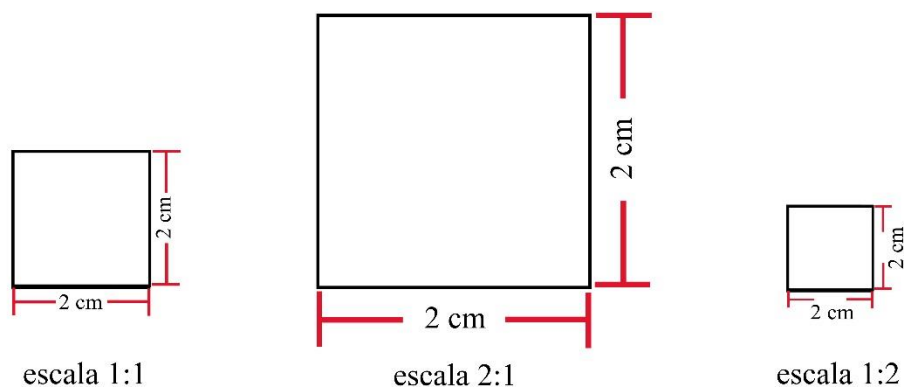


Figura 1. Ejemplos escalas: 1:1; 2:1; 1:2

Escalas de Ampliación:

Escala	Factor de aumento	Longitud de representación de un metro
1/1	1	1 cm
1,33/1	1,33	1,33 cm
2/1	2	2 cm
4/1	4	4 cm
5/1	5	5 cm
8/1	8	8 cm
10/1	10	10 cm

Tabla 2 Escala de ampliación

2.1.2 La Representación Geométrica:

La representación gráfica de los elementos u objetos sobre un plano es importante a la hora de concebir las ideas, gracias a la invención de la perspectiva lineal y de la geometría descriptiva construida por Monge (ver página 64), lo representado gráficamente toma un valor científico en la representación, con ello se puede llegar a realizar cálculos de proporciones, simetrías, forma y hasta funcionamientos. Ahora con la aparición de softwares es mucho más preciso llegar a realizar la representación real sobre un plano, junto al cálculo de cada uno de las proporciones, medidas y hasta se pueden calcular volúmenes, pesos, mecanismos o fallas antes de realizar el prototipo real.



Figura 2. Ejemplo líneas perspectiva usado por Da Vinci en el cuadro “La última cena”
 Imagen tomada de: <http://blogs.ua.es/clasicismoitaliano/2014/12/02/la-ultima-cena-leonardo-da-vinci/>

En el cuadro La Última Cena (460 cm × 880 cm) de Leonardo Da Vinci (*figura 7*) pintado en el refectorio dominico de Santa María delle Grazie entre los años 1495 y 1497 en Milán Italia, es notable que el uso de la perspectiva viene siendo usada desde mucho tiempo atrás, incluso antes de salir a la luz la publicación *Géométrie Descriptive* (Geometría Descriptiva) de Gaspard Monge. En este cuadro se tiene a Jesús como centro real de la pintura y como punto de fuga de todas las líneas que atraviesan la arquitectura del espacio pintado alrededor (líneas del techo, líneas de las paredes, cuadros), esta técnica crea un efecto de tridimensionalidad plasmada en un plano, por la profundidad manejada gracias también al manejo de luces y sombras.

2.1.3 Modularidad:

Muchos elementos exigen de la repetición de elementos iguales, con ello surge la modularidad. La modularidad puede ser un sistema de medidas, una forma geométrica, una superficie simétrica, etc. Con la modulación se puede conseguir simetrías y armonía estructural, entre otras cosas, además conlleva a una forma de construir mucho más simple ayudando a reducir gastos de material.

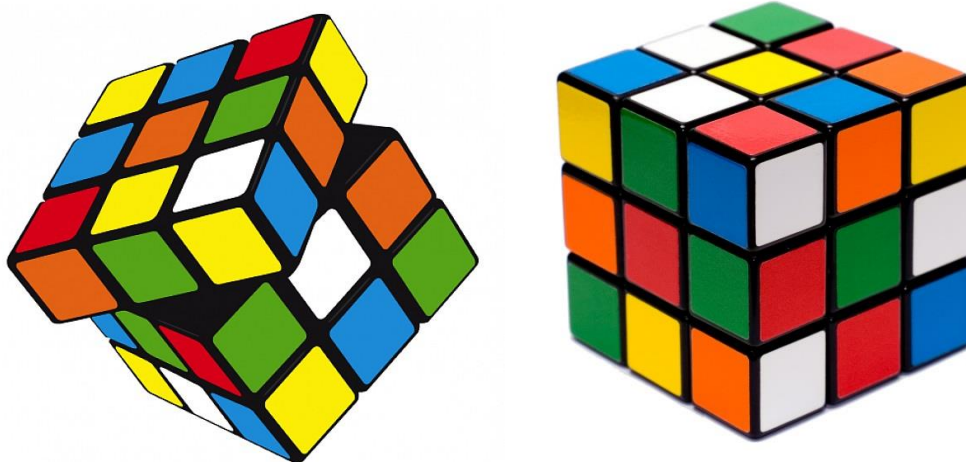


Figura 3. Cubo de Rubik

Imagen tomada de: <http://www.eranecesario.com/el-doodle-de-google-el-famoso-cubo-de-rubik/>

El Cubo de Rubik o cubo mágico (*figura 8*) es un rompecabezas tridimensional, construido en 1974 por con Ernő Rubik, escultor y arquitecto húngaro quien ganó el premio al mejor juego del año. Contiene un mecanismo interno de ejes que le permite girar sus 26 piezas, divididas en tres tipos: seis centrales con una sola cara, ocho vértices de tres caras de distinto color, y 12 aristas de dos caras de distinto color. Para armar el cubo de Rubik es necesario hacer uso de algoritmos matemáticos y seguir un patrón específico. Aunque es necesario aclarar que existen más de 100 formas distintas de armarlo.

2.1.4 Fractalidad:

La fractalidad es un principio geométrico cuya estructura básica se repite a diferentes escalas. Puede observarse en las plantas, principalmente en las formaciones de las ramas de los árboles, esto es el principio de dividir la forma iterativamente, Este principio aplicado lo podemos ver en las “columnas árbol” (*figura 9*) construidas en el interior de la Iglesia La Sagrada Familia en Barcelona (España) por el arquitecto Antoni Gaudí.¹

¹ Antoni Gaudí: Reus, España, 1852 - Barcelona, 1926 Arquitecto español. Su obra se inscribe dentro del movimiento modernista, aunque lo supera ampliamente por la originalidad de sus concepciones y su capacidad para romper moldes y crear nuevas soluciones.



Figura 4. Estructura árbol de La Sagrada Familia.

Imagen tomada de: <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2011/11/la-obra-de-gaudi-inspiracion-en-la.html>

Gaudí y la geometría mecánica: En la construcción de la Sagrada Familia (*Figura 10 y 11*) y las bóvedas de hiperboloides hizo uso de la geometría en función de la energía mecánica y estructural, es decir, no solo tomó formas ondulantes, trazos de líneas o espirales, sino también aprovechó estas formas para optimizar mecánicamente la estructura dándole resistencia.

Para la construcción de las escuelas de la Sagrada Familia se tenían pocos recursos económicos, pero esto no fue excusa para lograr una gran genialidad:

En 1883 fue nombrado arquitecto del templo expiatorio de la Sagrada Familia, la obra que ocupó toda su vida y que se considera su principal realización artística, a pesar de que quedó inconclusa y sin un proyecto bien definido. En los primeros años, se ocupó de la construcción de la cripta (1883-1891) y el ábside (1891-1893) y compaginó su trabajo en el templo con diversos encargos civiles, como la villa denominada El Capricho, en Comillas, o la casa Vicens, en Gracia, para Manuel Vicens.

<http://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gaudi.htm>. Recuperado el: 20-11-2014



Figura 5. Escuelas de La Sagrada Familia.

Imagen tomada de: http://www.gaudidesigner.com/es/sagrada-familia-escuela-de-la-sagrada-familia_339.html

Para su construcción se tuvieron ladrillo plano, baldosa cerámica, hierro y vigas de madera. Pero lo más importante es que logró un conjunto de superficies onduladas, que si bien responden a una técnica y la búsqueda de marcar una tendencia muy distinta a sus contemporáneos arquitectos, logra establecer una estructura estable, resistente y estética con un mínimo de material, algo muy similar a lo que la naturaleza a través de siglos de evolución ha conseguido, es decir, con estas estructuras da de cuenta que se inspiró en la naturaleza.

El Doctor en arquitectura, miembro de la oficina de la técnica de la Sagrada Familia, Jaume Serrallonga, describe: “La pared de cierre tiene, sólo, dos capas de ladrillo plano, de 4 cm. de grueso cada una. Es una pared de cierre, de obra vista, de menos de 10 cm. de grueso que llega casi a los 5,60 metros de altura. Es, por lo tanto, extremadamente esbelta y sería demasiado inestable si no fuera justamente porque la ondulación le da rigidez frente a la posible fuerza del viento. Si se quisiera hacer aguantar derecha una cartulina encima de una mesa, le debería hacer pliegues o darle forma, de lo contrario caería antes ni de poder soplar. Gaudí, con la superficie ondulada de las fachadas está haciendo justamente esto. La ondulación no es un capricho formal es estructural, es una lección de mecánica.

Construir una fachada ondulada podría ser muy complicado pero Gaudí nos da otra lección, esta vez de geometría. La superficie de estas fachadas está formada por unas superficies regladas alabeadas denominadas conoides. El conoide es una superficie que contiene toda una serie de rectas, generatrices, todas ellas paralelas a un plano director y cada una de ellas se apoya simultáneamente en dos líneas

guías, directrices, una recta y otra curva. Para construir las fachadas de estas escuelas hace falta primero construir estas líneas directrices. La guía curva se dibuja en el suelo, como una sinusoide ondulada. Para hacer la guía recta, se tensa una cuerda o dispone de una barra metálica horizontal colgada a una cierta altura, intermedia entre los puntos más altos y los más bajos de la cubierta”



Figura 6. Estructura de La Escuela de la Sagrada Familia

Imagen tomada de: <http://www.gaudiallgaudi.com/EA002%20G%20Tecnica%20arq.htm>

Y prosigue: *“La última lección de geometría la hallamos en la cubierta dónde se vuelve a hacer uso de la superficie de los conoides para ahorrarse de hacer encaballadas, mucho más caras que un envigado. Al recortar las fachadas en su parte superior otra vez en forma de sinusoide y disponiendo estas sinusoides en las dos fachadas largas de tal manera que los puntos más altos de una queden alineados con los puntos más bajos de la otra, las vigas de madera apoyadas sobre estas fachadas en vez de quedar paralelas formando un plano, van tomando cada una de ellas diferentes pendientes hacia un lado o hacia el otro y finalmente con el material cerámico de cobertura queda conformada la superficie ondulada del conoide. Como que las vigas serían demasiadas largas si fueran directamente de una fachada a la otra, Gaudí dispone un pórtico central por dentro del edificio que sirve de apoyo central de estas vigas. Esta jácena central bien horizontal representa claramente la recta directriz de esta superficie reglada alabeada.*

Es gracias a este ingenio geométrico y mecánico, que puede escoger el ladrillo cerámico, el más económico y más a mano de aquel tiempo y colocarlo de canto para hacer la pared más delgada y consecuentemente reducir la cantidad de

ladrillos necesarios. Esto es optimización de la estructura gracias a la geometría.”
(<http://www.gaudiallgaudi.com/>, s.f.)

En la obra de las bóvedas hiperboloides del templo de la Sagrada Familia se decide construir techos bastante altos y con formas puntiagudas, para las cuales es necesario tener una fuerte estructura para alivianar las cargas. Dado a sus conocimientos sobre pesas y cuerdas logra reclinar las columnas árbol según las direcciones de tal manera que las cargas caigan directamente sobre la base de cada estructura.

La aplicación de las estructuras de los árboles con sus ramas, en forma de bosque, uno seguido de otro permite que cada árbol soporte su follaje sin necesidad de tener otro árbol como apoyo.

“...gracias a esta concepción de las columnas-árbol, Gaudí consigue superar el gótico (arquitectura gótica) y llevar las cargas directamente a los cimientos por la vía más directa. Así, al eliminar los arbotantes y contrafuertes, consigue para las naves una fachada exterior plana...”

Serrallonga concluye: “Y otra vez, también en esta lección magistral, vienen de la mano la mecánica y la geometría. El dominio total de las superficies regladas y el conocimiento de las rectas generatrices hacen que pueda colocar, siguiendo estas direcciones, la baldosa cerámica, inspirándose en la técnica de la bóveda catalana de ladrillo plano, el material de cobertura más sencillo de aquella época. Así, con el color de la cerámica junto con el vidrio verde y dorado para las juntas que se van abriendo consigue la bóveda más florida que nunca se hubiera visto en una catedral. El dominio de la geometría reglada se pone de manifiesto observando en detalle las costuras entre hiperboloides, donde todas las intersecciones son trabajadas en un grado extremo. En estas intersecciones, en el contacto entre los diferentes elementos geométricos que combina, no aparecen nunca curvas extrañas sino que utiliza siempre las rectas generatrices para hacer todas las transiciones entre los planes que forman biseles, los pequeños paraboloides entrecruzados o los grandes paraboloides que todavía contienen dentro los hiperboloides elípticos de las estrellas de la noche.”



Figura 7. Columnas de La Sagrada Familia

Imagen tomada de:

<http://www.gaudiallgaudi.com/Gaudi%20Vista%20Gen%20Voltes%20S%20F.JPG>

2.1.5 Formas Poliédricas:

En el diseño arquitectónico aparecen muchas formas poliédricas, como los cubos y los ortoedros, pero también el diseño de las estructuras y las cúpulas geodésicas dan muestra de su utilidad, derivadas del icosaedro por triangulaciones sucesivas proyectadas en la formación esférica que circunscribe a todo el conjunto.

Para obtener esta rigidez espacial es necesario tener en cuenta la triangulación de las formas. Así edificaciones como el Museo Dalí en Figueres da muestra de una majestuosidad estructural y formal.



Figura 8. Cúpula Geodésica.

Imagen tomada de: <http://teoriadeconstruccion.net/blog/cupulas-geodesicas-y-bucky-fuller/>

La cúpula geodésica del museo Dalí (*Figuras 14 y 15*) fue construida a principios de los 70 por el arquitecto español Emilio Pérez Piñero. Esta cúpula hace parte de la cubierta del Teatro, que comprende dos estructuras, una interna y la otra externa. Estas estructuras contienen tres tipos de piezas: hexágonos, pentágonos y triángulos, dando lugar a 2160 triángulos. (Estructur art, s.f.)

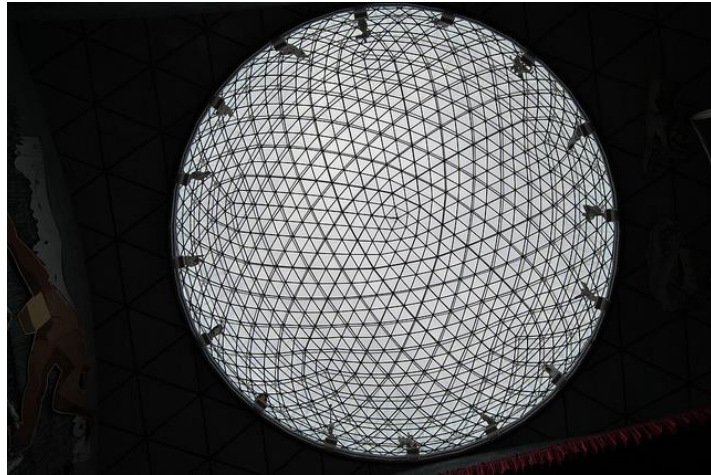


Figura 9. Parte interna de la cúpula en el teatro del Museo Dalí.

Imagen tomada de: https://www.flickr.com/photos/andrea_yoly/5347149555/

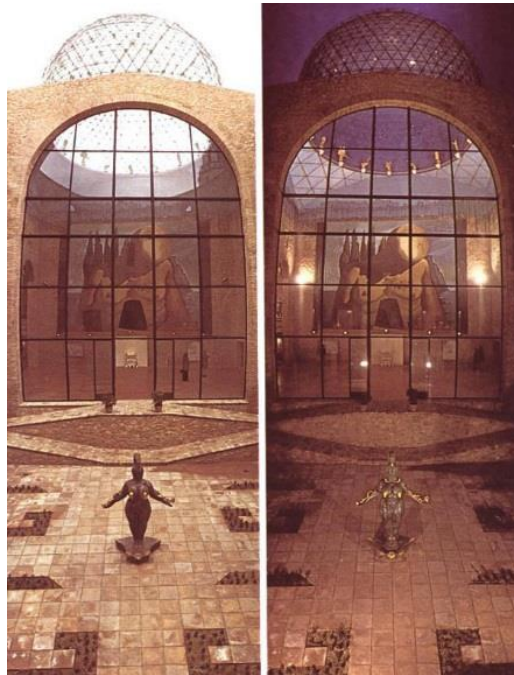


Figura 10. Vista exterior cúpula Museo Dalí (1974)

Imagen tomada de: http://www.vedoque.net/emilio/?page_id=70

2.2 La Forma Geométrica en Función:

Muchas veces al diseñar es necesario buscar soluciones geométricas para dar forma y medidas a objetos que van a cumplir una o varias funciones determinadas. Entendiendo esto se sabe que el diseño no se basa simplemente, desde el punto de vista geométrico, en desarrollar creativamente figuras o transformaciones de una manera espontánea, si no que se debe conjugar la dimensión geométrica sumándole las consideraciones de perspectiva, de ergonomía, de economía, de texturas, etc.

Para la creación de objetos en Diseño se pueden usar todo tipo de formas geométricas, desde las curvas: cónicas, espirales, hélices, curvas serpenteantes y sinuosas, catenarias; las formas poliédricas; superficies: planas, cuadráticas, etc.

Un buen ejemplo son los muebles diseñados por Michael Thonet, nacido en Boppard (Alemania) en 1796, es considerado como el creador de las técnicas de curvado de madera. Se inició como carpintero y luego de experimentar logró construir técnicas para laminar y curvar la madera con la idea de obtener formas que ayudaran a reducir costos de fabricación a base de moldeado a cincel o de uniones. Curvando con calor y uniendo con engrudo y tornillos, logró un tipo de mueble que es fácilmente industrializable.

Su primer gran éxito fue el Bopparder Schichtholzstuhl, en 1936:

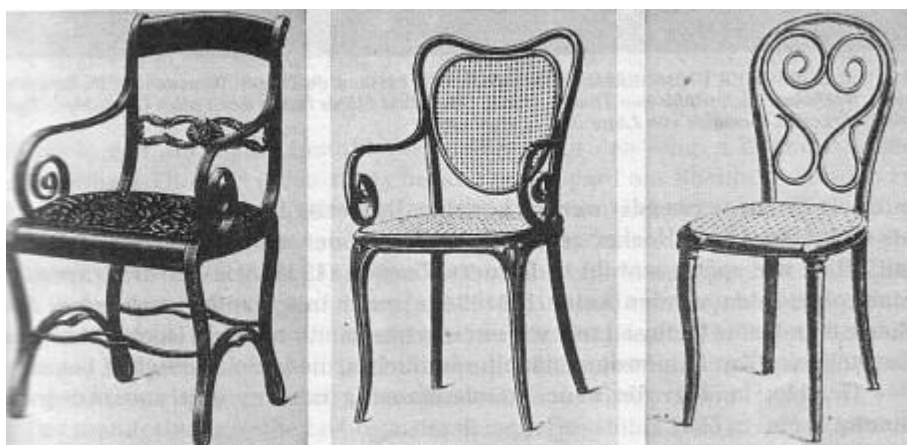


Figura 11. Sillas de Thonet.

Imagen tomada de: <http://tectonicablog.com/?p=6139>

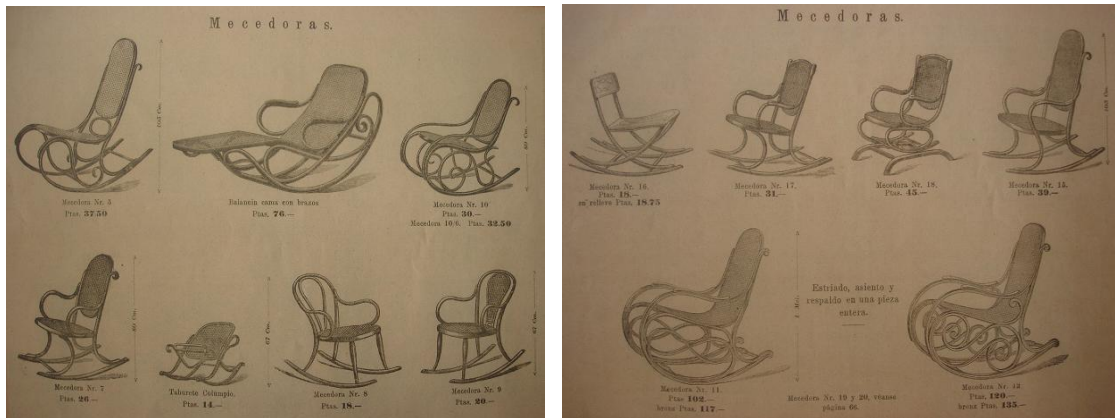


Figura 12. Dibujos de las sillas de Thonet

Imagen tomada de: <http://restauradoresdearte.blogspot.com/2010/05/michael-thonet-mecedoras.html>



Figura 13. La mecedora número 1 (1860)

Es considerada como su obra maestra y ha sido precursora de las actuales mecedoras fabricadas en todo el mundo.

Imagen tomada de: <http://www.vienayyo.com/2011/04/14/sillas-vienesas-michael-thonet/>

Los triángulos de Franz Reuteaux: Es un polígono de lados circulares de anchura constante, es decir, la distancia entre dos rectas tangentes paralelas opuestas es siempre la misma.

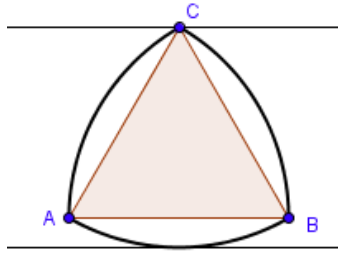


Figura 14. Triángulo de Reuteaux

Con este triángulo de inició el principio para abrir agujeros cuadrados por medio de brocas:

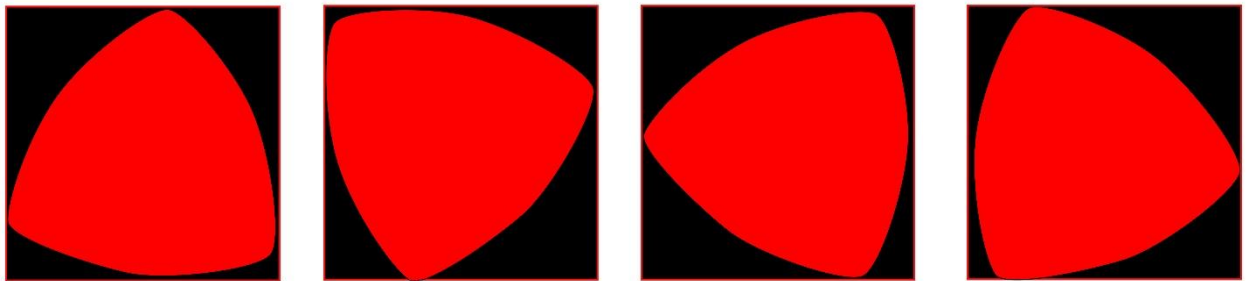


Figura 15. Principio de funcionamiento de perforación cuadrada.

2.2.1 Algunos ejemplos geométricos aplicados en Diseño:

Balón de fútbol:



Figura 16. Balón de fútbol.

Imagen tomada de <http://www.imagui.com/a/3-balones-de-futbol-dibujos-iBXrkxjro>

La forma geométrica del balón no es por casualidad, al tenerlo inflado da una forma esférica, pero realmente es un icosaedro truncado, su estructura geométrica consta de: 12 pentágonos y 20 hexágonos para un total de 32 caras, tiene un total de 90 aristas y 60 vértices. Si bien lo vemos como una esfera es por la presión que se le aplica a la forma que a la vez hace curvar el material. Su forma y estructura contienen una simetría llamada “simetría icosaédrica”.

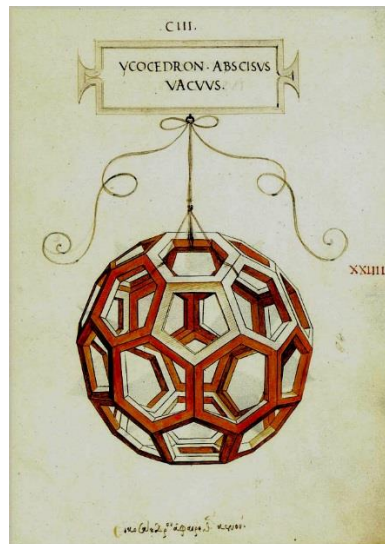


Figura 17. Icosaedro truncado. “De Divina Proportione” de Lucca Pacioli. Dibujo Leonardo Da Vinci
Imagen tomada de: http://losarbolesinvisibles.com/wp-content/uploads/2013/06/Leonardo-da-Vinci_icosaedro.jpg

Escuadras:

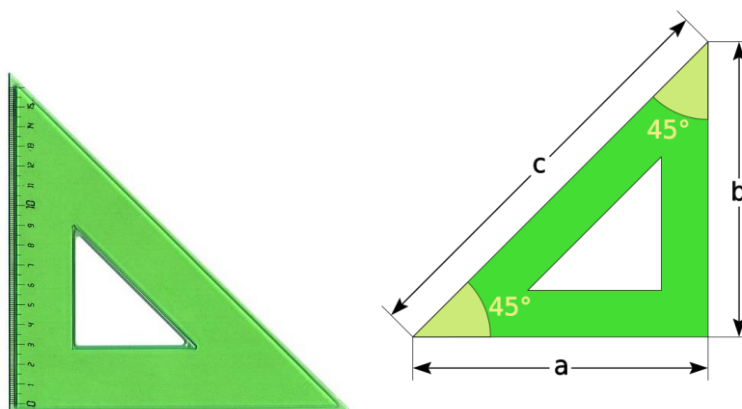


Figura 18. Escuadras.

(A)

(B)

(A) Imagen tomada de: http://es.wikipedia.org/wiki/Escuadra#mediaviewer/File:Squadra_45.jpg

(B) Imagen tomada de: http://es.wikipedia.org/wiki/Escuadra#mediaviewer/File:Escuadra_11.svg

Se usan como plantillas para graficar trazos especialmente en dibujo técnico, tienen forma de triángulo rectángulo isósceles y cuentan con una escala gráfica como guía de operación. Posee un ángulo de 90° y dos de 45°

Clips:



Figura 19. Clip

Imagen tomada de: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clip.jpg>

Los clips cumplen una función específica y es sujetar. Su construcción formal de una sola pieza consta de una geometría combinada entre curva y plana, que le permite cumplir su función. Patentada por el estadounidense Paul Vaaler 1867, pero existen registros mucho tiempo atrás desde la época de los Bizantinos.

Resortes:



Figura 20. Resortes

Imagen tomada de: <http://www.resorteslc.com/productos.html>

Los resortes son operadores elásticos, geométricamente formados por una hélice en espiral, que son capaces de contener energía cuando se presionan y luego liberarla sin sufrir deformación de material, hasta que la presión se lo permita. Usados en

amortiguaciones de vehículos, lapiceros retráctiles, mecanismos, en herramientas manuales o industriales, etc.

Instrumentos de viento:



Figura 21. Olifante

Imagen tomada de: <http://bach24111111.blogcindario.com/2006/10/00838-olifante-instrumentos-tradicionales-de-aragon.html>

Instrumentos de viento como el olifante tallado en un cuerno de elefante, era usado por los caballeros de la edad media para transmitir señales.

Muchos años después se tomaron características de estas formas y se mejoraron para construir instrumentos musicales de viento, tales como las trompetas, trombones, etc.

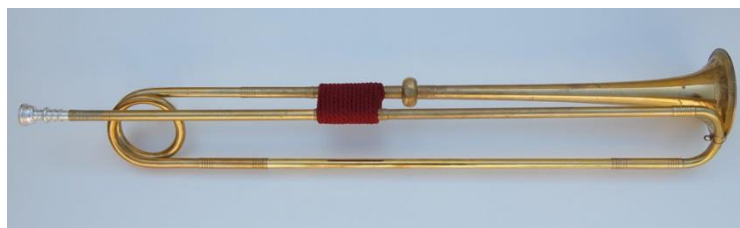


Figura 22. Trompeta.

Imagen tomada de: <http://miguelmorateorganologia.files.wordpress.com/2014/04/trompeta-natural.jpg>

La geometría de estos instrumentos son curvas (espirales) y cónicas, lo que permite emitir sonidos por la parte más ancha de la estructura.

Campanas:



Figura 23. Campana

Imagen tomada de: http://www.strumentidipace.net/old_site/eng/fondazione.html

La campana es un instrumento sonoro idiófono, es decir que genera sonido con su propio cuerpo o material, en forma de copa invertida que emite una vibración acústica al ser golpeada. Pueden ser construidas en metal, en madera o en cerámica.

En el espacio en donde se vive a diario se podrían encontrar muchos artefactos creados a partir de geometrías, pero sería muy extenso tratar de ponerlos aquí, por eso se invita al lector que haga el ejercicio de observar cada objeto que lo rodea y analizar qué tipo de forma o formas geométricas comprende en su forma, función o estructura y podría llegar más allá, tratar de visualizar objetos basados en principios de la naturaleza y sus geometrías.

2.3 El Diseño Industrial en desarrollo:

El Diseño Industrial es la disciplina orientada a la creación y desarrollo de productos industriales y tiene como objeto satisfacer las necesidades del ser humano a través de la creación o modificación de objetos que le son útiles, prácticos o atractivos visualmente.

En diseño Industrial se sintetizan todos los conocimientos que se tengan en cuanto a métodos, creatividad y técnica y se deben considerar las cualidades formales, estructurales, funcionales teniendo en cuenta al humano como su más importante usuario.

Para lograr “hacer” diseño, es necesario contar con herramientas que permitan dar respuesta a la necesidad o problema planteado, pero para realizarlo no se cuenta con una “maquinaria” como tal o un molde que proyecte una solución eficaz de manera inmediata, por esto el Diseñador debe realizar una investigación minuciosa desde lo perceptual, conceptual y lo formal, haciendo uso de la creatividad como herramienta de creación.

El uso de la técnica (el saber cómo: llegar a un fin sin preocuparse del proceso), es una herramienta importante con la que se busca encontrar los saberes prácticos o procedimientos para obtener el resultado esperado. Con la técnica se pretende no la adaptación del sujeto al medio, si no la adaptación del medio al sujeto, es decir que por medio de la intervención del diseño se logra dar respuesta a las necesidades que afectan al hombre.

Cuando hablamos de necesidades, nos referimos a las necesidades técnicas, aquellas que buscan un bienestar en el hombre, es decir, el “estar bien” que es una de las razones por la que le satisface estar en el mundo; las necesidades orgánicas o biológicas son condiciones básicas que la naturaleza tiene para la subsistencia, “*e/ alimentarse es condición necesaria para estar en el mundo.*” (Ortega y Gasset, pág. 32)

Para Sócrates, a cualquier realización técnica precede el conocimiento de la cuestión, sin la base de un conocimiento natural, no existe técnica. “*...se parte de una “imagen”, de una “idea” del objeto que ha de ser producido.*” (Dessauer, pág. 141)

Cuando nos planteamos un problema de diseño inmediatamente se tiene una idea conceptual de lo que se va a hacer para darle respuesta, es por esto que la técnica es una herramienta que debe estar ligada al desarrollo de cualquier investigación en diseño.

La técnica y la naturaleza crean basándose en unas mismas leyes: (Litinetski, págs. 21 - 22)

- Observa los principios de economía de material
- Al concebir los sistemas, buscan soluciones óptimas para la estructura de los mismos.

De igual manera lo expresa la Diseñadora Industrial Mariluz Sarmiento: *“La técnica y la naturaleza crean sus diseños basándose en los principios de economía de material y en la búsqueda de soluciones óptimas a través de la formación de estructuras eficaces.”* (sarmiento, pág. 9)

Así como la técnica, también es importante seguir una metodología como herramienta en el proceso de investigación en Diseño. Las metodologías pueden acercar de una manera más eficiente a la solución de problemas, aunque no necesariamente debe ser el único camino a seguir a lo que verdaderamente se necesita resolver.

Cabe señalar que el diseñador es un protagonista del desarrollo material e inmaterial de las actividades humanas, y que dentro de su saber debe existir la creatividad como surgimiento de ideas que posteriormente genera la “creación” de algo tangible, de un método, de una teoría o de un cambio (innovación), y si se toma como modelo referencial la naturaleza, puede enriquecerse significativamente la investigación.

Con el surgimiento de la Biónica se ha desarrollado una nueva disciplina para la observación de los sistemas naturales y así poderlos aplicar en la resolución de problemas de diseño.

Para la Diseñadora Sarmiento, la Biónica es una buena herramienta que ha contribuido a la formación de diseño, ya sea por el aporte de los modelos naturales como ejemplificación de algunos conceptos, o por la aplicación de muchas soluciones de diseño en distintos campos (sarmiento, pág. 4)

Para tomar la Biónica como herramienta de importancia para investigaciones en diseño, en especial para la fabricación de productos, es necesario entender que la naturaleza está en un constante cambio: *“Aquellas especies que tienen un alto nivel de adaptación a sus condiciones intrínsecas y al medio ambiente, sobreviven, lo que se llama Selección Natural”* (urbina Polo, pág. 1) Cada animal debe su vida y su propio aspecto a su predecesor, pero después de recibir su herencia, y antes de pasarla, se produce un ligerísimo cambio” (Williams, pág. 1)

Para DÁrcy Thompson, la adaptación de las especies devienen parte de una filosofía mecanicista, una forma metodológica de conocimiento. Según la cual, “la naturaleza actúa siempre a través de los medios más simples” y “cada ser acaba

por acomodarse a su medio. La naturaleza halla un uso para todo". (Thompson, pág. 22)

Para Patiño y Arbeláez, en el texto "generación y transformación de la forma" existen tres tipos de selección:

Selección fundamental con cuatro fuerzas fundamentales que rigen el mundo: la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil, la fuerza electromagnética y la fuerza de gravedad. *"La fuerza fundamental, cuyo objetivo es posibilitar que las formas sigan estando, actúan en todo lo creado, pero a medida que la complejidad de los individuos aumenta y las partículas se van juntando con otras para formar átomos, y estos forman moléculas y se configuran luego en elementos para formar vida, disminuye la influencia que dicha selección puede efectuar en ellos"*. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 25)

Luego viene la *selección Natural* que es la base de todo cambio evolutivo. El proceso a través del cual, los organismos mejor adaptados desplazan a los menos adaptados mediante la acumulación lenta de cambios genéticos favorables en la población a lo largo de las generaciones. (Universidad Complutense , s.f.)

Y por último está la *selección cultural*, importante para el Diseño Industrial enfocada a la producción de objetos: son las configuraciones creadas y seleccionadas por el hombre para lograr satisfacer sus necesidades (herramientas, alimentación, refugio). *"El progreso se evidencia en la medida en que el hombre aprende de sus errores y se aproxima mucho más al conocimiento, haciendo objetos y construcciones cada vez más óptimas y realizando de manera consciente la adaptación pertinente."* (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 27)

2.4 Forma y Función:

Utilizando la Biónica como herramienta de diseño, al momento de revisar las formulaciones para resolver el problema planteado, se debe indagar ¿cómo lo hace la naturaleza?, de aquí se debe tener en cuenta los modelos biológicos que ya se han mencionado anteriormente: estructuras, formas, sistemas, mecanismos, movimientos, etc.

Cuando se realizan estudios en biónica y se logran establecer las relaciones presentes en la naturaleza, se puede notar que estas relaciones son de forma, función y estructura.

La forma se puede establecer como la apariencia física, tanto interna como externa de las cosas. La forma se determina en un espacio tridimensional, si hablamos del espacio físico que rige nuestro mundo.

Mauricio Sánchez Valencia define la forma como: *“el conjunto de elementos organizados y reconocibles que componen una estructura, floreciendo como orden tridimensional, configuración y representación de un concepto.”* (Sánchez Valencia, pág. 8)

“La forma se toma como apariencia tanto externa como interna de las cosas, determina su figura en el espacio haciéndola perceptible a través de un estímulo visual designando un conjunto de canales sensoriales que integran la percepción: Textura, brillo, temperatura, color, olor, etc.” (sarmiento, pág. 16)

Para Patiño y Arbeláez, *“la forma no es más que fuerzas en equilibrio actuando en la materia que están en el espacio y que por ningún motivo representa el vacío. La nada para el objeto del diseño es paradójicamente nada, no existe, lo que sí existe es una estructura espacial con propiedades físicas que influyen y que permiten que la forma exista”.* (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 36)

Christopher Williams en su libro “los orígenes de la forma”, asegura que las formas de la naturaleza se definen por la materia y ésta a su vez por el átomo, su orden es distribuido de manera distinta, bajo las condiciones sólido, líquido y gas; los objetivos del diseño es comprender las formas y las estructuras que se dan en la naturaleza, para ello es indispensable tener en cuenta algunas visiones desde la biología, matemática, la química y la física.

Para realizar observación de la naturaleza, se deben integrar varios aspectos perceptuales: Brillo, consistencia, constitución, dimensión, olor, peso, resistencia, sabor, sonido, tamaño, temperatura y textura (sarmiento, págs. 60 - 61)

Sánchez considera que la forma determina las relaciones entre hombre-objeto-contexto, bajo los siguientes parámetros:

- **Morfológico:** al ser establecida como un orden, comporta una estructura, es decir, una lectura categorizable a partir de un conjunto de elementos,

relaciones, jerarquías, órdenes y propósitos, haciendo del objeto la concreción de una coherencia formal.

- **Morfoestático:** la forma es una estructura estable, estática y uniforme; esto evidencia que los valores representados por ella son intemporales, en el sentido que son independientes del curso del tiempo (estabilizan el tiempo).
- **Morfométrico:** puesto que la forma es la síntesis de un concepto, es decir, se origina en la medida que se da un límite a la interpretación de ciertos hechos, entonces puede ser cuantificada y cualificada absolutamente. (Sánchez Valencia, págs. 8 - 9)

En la naturaleza la forma y la función van ligadas para lograr eficiencia en su propio desarrollo, en la producción de objetos la función va ligada de acuerdo al uso que se le determine y esta determinación lleva al resultado de la forma, de igual manera si la formalidad del producto prima sobre la práctica del uso objeto, su desarrollo va primero.

Se debe tener en cuenta que un diseño es “bello” cuando los aspectos formales están supeditados a la función, esta teoría ha sido aplicada por la escuela Bauhaus una de las más influyentes en diseño.

La forma y Función tienen igual importancia, un objeto es bello porque satisface una necesidad, pero también porque presenta una forma que comunica su función y visualmente es atractiva.

Para Sarmiento: Los objetos sirven a diferentes finalidades humanas, las cuales se hacen presentes a través de necesidades que varían y se amplían cuando el objeto evoluciona y adquiere otros significados.

Es importante considerar que en esta transición del objeto no varía solo su función, sino que también su forma va desarrollando nuevos cambios que se evidencian desde su estructura y superficie.

La función del objeto cambia y éste no siempre adquiere la connotación para la cual fue diseñado originalmente. Esto se llama habitualmente “uso” y es la función ajena que el usuario le da al objeto, convirtiéndose en una sub-función. (sarmiento, págs. 61,62)

Así como la forma, la función también tiene rasgos que la caracterizan:

- *Utilidad (dado por el uso y frecuencia que se le da al objeto)*
- *Relación interobjetual: (Cómo se comporta el objeto en relación con otros que cumplen la misma función)*
- *Relación hombre-objeto (dada por las connotaciones y manipulaciones que le da el hombre al objeto)*
- *Seguridad*
- *Conservabilidad*
- *Manipulación y dominio (cómo se percibe el objeto a través de sus características físicas y se adapta el hombre para manejarlo) (sarmiento, pág. 62)*

2.5 Biónica:

Etimológicamente viene del griego “*Bion*” que significa vida, más el sufijo “*icos*” que significa estudio, podríamos decir que es el “estudio de la vida” o el estudio de los sistemas vivos de la naturaleza. Según I.B. Litinetski, “*tiene como objeto el estudio de los principios estructurales y el funcionamiento de los organismos vivos con el fin de emplear estos principios al desarrollo de la técnica*”. (Litinetski, pág. 35)

Para Bruno Munari, la Biónica estudia los sistemas vivientes y tiende a descubrir procesos, técnicas y nuevos principios aplicables a la tecnología. Examina los principios, las características y los sistemas con transformación de materia, con extensión de mandos, con transferencia de energía y de información.

Se toma como punto de partida un fenómeno natural y a partir de ahí se puede desarrollar una solución proyectual. (sarmiento, pág. 13)

Se podría definir la biónica como la ciencia que busca en la naturaleza las bases para el desarrollo humano. No se trata de copiar lo que hay en la naturaleza, sino de analizar las soluciones que la evolución natural ha seleccionado para determinados problemas y adaptar el fondo, y a veces también la forma, de dichas soluciones. (Marroquín santaña, pág. 1)

El Diseñador Industrial Gui Bonsiepe, uno de los más importantes teóricos e investigadores de Diseño y muy influyente en América Latina, con la idea de Diseño Proyectual² y el Diseño de Información, define a la Biónica como “*el estudio de sistemas vivientes para aplicar a las tecnologías sus principios técnicos y*

² Con lo proyectual se busca llegar a un objeto tangible, por medio de una metodología, para lo cual Bonsiepe desarrolla tres etapas para la investigación: Estructuración del problema proyectual; Proyección; y realización del proyecto.

procedimientos. Es particularmente apta para la capacidad de captar los detalles tridimensionales y los principios formales que los estructuran, así como para incrementar la capacidad de transformación, es decir, cuando se examina y analiza un objeto análogo.” (Coronado R. , págs. 97 - 98)

Para Morales, se entiende por Biónica el método para resolver por analogía problemas de diseño, mediante el análisis de los entes naturales considerando cuatro aspectos: contexto, forma, estructura y función.” (Morales, Castellanos, & Ruiz, pág. 9)

En Diseño Industrial la Biónica va más enfocada hacia la creación de objetos a partir de la observación de los sistemas naturales. Litinetski se refiere a las creaciones humanas como creaciones ya existentes en la naturaleza desde hace miles de años, lo que llama “patentes biológicas”, por citar algunos ejemplos: (Litinetski, págs. 13 - 14)

PATENTE HUMANA	PATENTE BIOLÓGICA
<i>Radar ultra sonoro</i>	<i>Murciélago</i>
<i>Sonar</i>	<i>Delfín, Ballena</i>
<i>Motor a reacción</i>	<i>Calamar</i>
<i>Analizador 500 olores</i>	<i>Perro</i>
<i>Brújula solar polarizada</i>	<i>Abejas</i>
<i>Indicador de velocidad y movimiento</i>	<i>Escarabajo</i>
<i>Sismógrafo ultrasensible</i>	<i>Escarabajo de agua y saltamontes</i>

Tabla 3 Patentes biológicas. Litinetski

Con este ejemplo da a entender que “la naturaleza no solo está bellamente construida, si no también idealmente calculada” (Litinetski, págs. 21 - 22), es la unión de la armonía de la belleza con la armonía racional.

2.5.1 Algunos ejemplos sobre intervenciones por medio de la Biónica:

A continuación se exponen algunos ejemplos sobre la implementación de la biónica en distintos campos, para resaltar más su importancia:

En los comienzos de la aviación, el llamado efecto “flutter”³ era un obstáculo para aumentar la velocidad de los aviones, puesto que al alcanzar éstos un cierto umbral de velocidad, las alas del aparato comenzaban a vibrar cada vez con mayor intensidad, llegando a destruir la estructura. El problema se resolvió incrementando el espesor de los bordes de ataque de las alas, dotándolas en un perfil similar al que presentan multitud de aves e insectos.

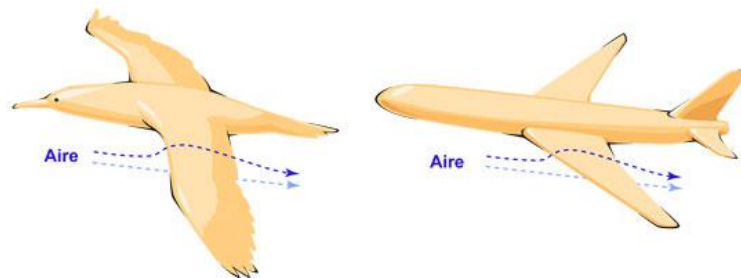


Figura 24. Simulación de las alas de los aviones con algunas aves

Imagen tomada de: <http://askabiologist.asu.edu/%C2%BFc%C3%B3mo-vuelan-las-aves> (Marzo 12, 2014)

Las chimeneas de las fábricas requieren alcanzar una gran altura para conseguir el efecto deseado, esto presentaba un problema porque deben hacerlas suficientemente resistentes frente a los fuertes vientos a los que podrían estar sometidas. La fuerte resistencia frente a estos vientos, con el mínimo peso y coste, se consiguió con una estructura tubular basada en una armadura espiral periférica, similar a la del tallo de una espiga, que requiere también una gran altura para alcanzar, en competencia con sus vecinas, la irradiación solar que necesita para su desarrollo.

³ El Flutter es un flameo no controlado de las superficies móviles, que en determinada frecuencia de oscilación física produce daños irreversibles en la estructura del modelo y/o en los componentes de la radio, motivando así la inevitable caída del avión y su impacto contra la tierra
<http://www.aeropielagos.es/ARCHIVOS/Descargas/Flutter.pdf> Recuperado junio 15 2013

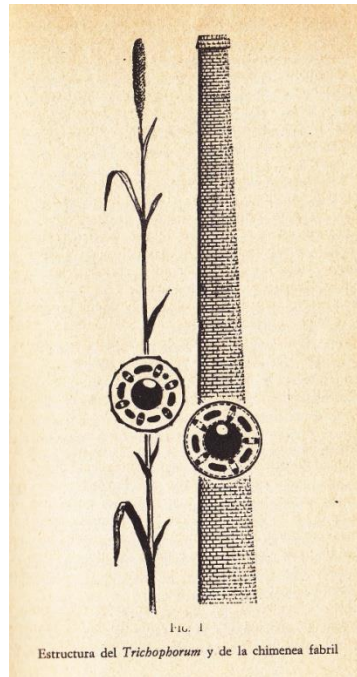


Figura 25. Estructura del Trichophorum (espiga) y de la chimenea de febril
 Imagen tomada de: *Iniciación a la Biónica* de I.B. Litinetski. Pág. 19

Dejando correr el agua por una ladera, su trayectoria nos indicará en camino de bajada más eficaz, en el sentido de aquel por el que se alcanza el punto más bajo con el mínimo esfuerzo. El caso justamente contrario, es decir la búsqueda del camino más eficaz para subir una ladera, no podemos confiarlo al agua, y desde luego no coincidirá en general con el de bajada que antes encontramos, pero también aquí la biónica nos ofrece una solución: Si dejamos a un asno ascender libremente por la pendiente, elegirá el camino óptimo, combinando a la vez los conceptos de recorrido y pendiente, el asno encontrará la solución más adecuada para minimizar ambos, en una óptima solución de compromiso. (Marroquín santaña, pág. 2)

En Japón, así como en gran parte del territorio asiático y europeo, se utilizan muchos trenes para transitar por todo el país, siendo el tren bala uno de los más rápidos del mundo. Su velocidad es tan alta que al atravesar por un túnel, se acumulaba tanta presión de aire que generaba un estampido sónico que a la vez afectaba a la estructura del mismo, los viajeros, a la fauna y flora al rededor. Luego de muchos estudios y análisis de resultados encontraron y detallaron un ave capaz de romper con una barrera sin perturbarse así mismo, es el caso del *martín pescador* que al momento de realizar un “clavado” en busca de su presa en el mar,

se lanza, desde una altura considerable, en caída libre directo hacia el agua, sin generar mayor choque que le afecte, debido a su posición tomada y sobre todo a la forma como está desarrollada su cabeza y pico. Tomando las características del pico del *martín pescador*, se logró resolver el problema, además de mejorar el rendimiento del tren.



Figura 26. Tren Bala inspirado en el Martín pescador

Imágenes tomadas de: <http://maikelnai.elcomercio.es/2009/08/12/de-como-el-martin-pescador-mejoro-el-tren-bala/> <http://www.venyve.com/america-latina/2011/04/aprueban-tren-bala-riosao-paulo/> (Marzo 12, 2014)

2.5.2 Historia de la Biónica.

El nombre Biónica fue introducido por el doctor coronel Jack E. Steele (1924 - 2009) en el año de 1958 y se le dio importancia en el año de 1960, cuando la *United Air Force* de los Estados Unidos desarrollaba una investigación comparativa entre los sistemas naturales y los sistemas sintéticos, que luego pasó a presentarse en público el 13 de septiembre de ese mismo año en Dayton (Ohio) en el Simposio Nacional Americano: *“Los prototipos vivos, llave hacia una nueva técnica”* (Litinetski, pág. 24)

Su trabajo e investigación se centraron en el estudio de los organismos biológicos para encontrar soluciones a problemas de ingeniería conocido ahora como Biomimética.

La Biónica es considerada como una “ciencia nueva” de raíces viejas, puesto que hay que buscarla en los procesos evolutivos que comenzaron millones de años atrás. Se le considera como ciencia por su naturaleza interdisciplinar, presentando aspectos relacionados con la física, la biología, la química, la ingeniería, la psicología, la informática, construcción de aparatos, etc. (Marroquín santoña, pág. 1) Con el surgimiento de la Biónica se ha desarrollado una nueva disciplina para la observación de los sistemas naturales y así poderlos aplicar en la resolución de problemas. El diseñador industrial Ignacio Urbina Polo plantea que *“la Biónica advierte un dominio rico a problemas que afronta el hombre moderno: estructura, locomoción, coordinación, emisión, transmisión, recepción de información y otros”*. (urbina Polo, pág. 1)

Formalmente se le dio el nombre a partir de esa época, pero las investigaciones en Biónica vienen desde años remotos, Demócrito (460 a. C. – 370 a. C), señalaba: “copiando a los animales aprendemos las cosas más importantes” (Litinetski, pág. 16)

Si vemos los estudios de uno de los genios más sobresaliente de todos los tiempos: Leonardo da Vinci (1452 - 1519), quien se inspiró en diversos mecanismos y formas que brinda la naturaleza como insectos, plantas, semillas, aves, etc., con el fin de lograr desarrollar maquinas jamás imaginadas para aquella época y durante muchos siglos después: El ornitóptero (*Figura 43*), un aparato volador con alas batientes realizado a partir del estudio anatómico de los pájaros y de los murciélagos. Otro ejemplo, la adaptación de sistemas biológicos aplicados a la ingeniería, diseño de barcos, aviones, etc.

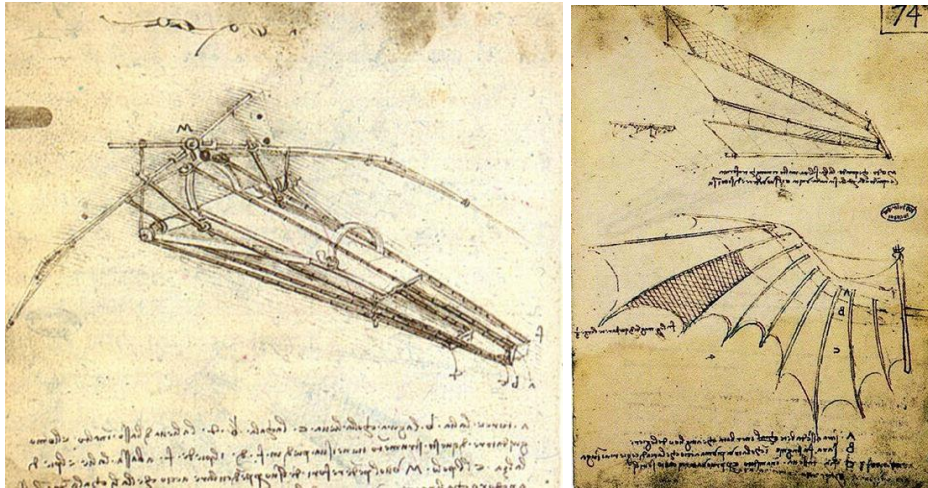


Figura 27. Ornitóptero (1490 aprox.) de Leonardo Da Vinci

Imágenes tomadas de: <http://static.naukas.com/media/2010/09/ornit%C3%B3ptero-da-vinci.jpg>

<http://ingaeronautica.files.wordpress.com/2010/10/leonardo-da-vinci-un-genio-impresionante-8.jpg>

(Febrero 6, 2014)

De estos estudios y muchos otros se tienen documentos llamados códices, donde escribía y dibujaba cada observación y conclusión luego de la investigación que realizaba con sus conocimientos casi empíricos y muy reducidos en el campo.

2.5.3 Biomímesis (También conocida como Biomimética o Biomimetismo).

El término Biomímesis viene del griego “bios” que significa vida y “mimesis” que significa imitar. Es la ciencia que estudia la naturaleza como fuente de inspiración para copiar o imitar sus principios, sistemas, procesos, formas y elementos, y resolver problemas humanos.

“Biomímesis es una disciplina de diseño, una rama de la ciencia, un método para resolver problemas, un ethos de sostenibilidad, un movimiento, una estrategia para crecer vigorosamente, una posición frente a la naturaleza, una nueva manera de ver y valorar la biodiversidad.” (Biomímesis Colombia, s.f.)

La biomímesis es un método de innovación que busca soluciones sostenibles emulando patrones y estrategias de la naturaleza comprobados en el tiempo, ejemplo: una célula solar inspirada en una hoja. El propósito es crear productos, procesos y políticas (nuevos estilos de vida) que sean adaptables a la vida en la tierra a largo plazo. (Benyus)

Janine Benyus (1958) es una bióloga estadounidense autora del libro: *“Biomimicry: Innovation Inspired by Nature”* (Biomimetismo: Innovación inspirada por la naturaleza) en el que busca dar soluciones sostenibles a problemas mediante la emulación de diseños y procesos.

Para Benyus la Biomímesis es la disciplina del diseño que busca soluciones sostenibles mediante la emulación de los patrones y estrategias probados por el tiempo en la naturaleza y tiene en cuenta el uso de todos los recursos de una manera sustentable, de tal manera que se generen la menor cantidad de residuos posible y no generar desperdicios. Esto aplicado como modelo a todo tipo de empresa. Su trabajo se ha enfocado en evidenciar el alto valor que tiene la naturaleza en cuanto a optimización de recursos, uso de materiales y diseño en la producción industrial.

El estudio a través de la Biomímesis según Benyus debe pasar por tres niveles:

“El primer nivel de la biomímesis es mimetizar la forma natural. Por ejemplo, puedes imitar la estructura de enganche de las plumas de una lechuza para crear un tejido que se abra en cualquier punto de su superficie. O puedes imitar sus bordes desgastados que le garantizan un vuelo silencioso. Copiar el diseño de las plumas es sólo el comienzo, porque ello puede, o no, llevar a algo sostenible a largo plazo.

La Biomímesis en más profundidad añade un segundo nivel, que es la mimetización de los procesos naturales, o “cómo se hace”. La pluma de la lechuza se ensambla por sí misma, a temperatura corporal y sin necesidad de tóxicos o altas presiones, gracias a la química de la naturaleza. El campo en expansión de la química verde trata de imitar estas recetas benignas.

En el tercer nivel se encuentra la mimetización de los ecosistemas naturales. La pluma de la lechuza encaja de manera grácil y natural en su entorno: forma parte de una lechuza, que forma parte de un bosque, que forma parte de un bioma, que forma parte de la biosfera que sostiene la vida. Del mismo modo, nuestro tejido inspirado en la lechuza debe ser parte de una economía más amplia que trabaje para restaurar en vez de agotar la tierra y su gente. Si haces un tejido bioinspirado utilizando química verde, pero tienes a trabajadores tejiéndolo en condiciones de

explotación, lo distribuyes en camiones contaminantes y a grandes distancias, no has captado la idea.

Para mimetizar un sistema natural, debes preguntarte cómo cada producto encaja en él: ¿Es necesario? ¿Es hermoso? ¿Es parte de una nutritiva cadena trófica de industrias y puede transportarse, venderse y reabsorberse de un modo que fomente una economía que funcione como un bosque?

Si podemos biomimetizar a los tres niveles (la forma natural, el proceso natural y el sistema natural), empezaremos a hacer lo que todos los organismos bien adaptados han aprendido a hacer, que es crear condiciones propicias para la vida. Crear condiciones propicias para la vida no es una opción; es un rito de paso para cualquier organismo que consigue encajar aquí a largo plazo. Si deseamos seguir viviendo en este lugar como nuestro hogar, necesitaremos aprender de nuestros predecesores cómo filtrar el aire, limpiar el agua, construir suelo y fertilidad; en definitiva, cómo mantener el hábitat exuberante y habitable. Es lo que hacen los buenos vecinos.” (Terra.org)

2.6 Modelos matemáticos:

Todas las formas en el mundo están determinadas por modelos matemáticos: líneas, curvas, puntos, etc., desde los existentes en dos dimensiones, hasta la tridimensionalidad que rige nuestro mundo y que podemos “*imaginarlo*” sobre un plano cartesiano (x, y, z).⁴ La belleza de las matemáticas y modelos matemáticos van más allá de una simple composición numérica, según el matemático británico *Bentran Russell* (1872 - 1970), “*las matemáticas poseen una extraña belleza*”, todas las composiciones (a parte de unos pocos principios básicos de los cuales se parte), se pueden demostrar matemáticamente. (Obregón, pág. 28) En otras palabras, lo que no se demuestra matemáticamente, no existe.

Desde épocas antiguas, se tiene información del uso de las matemáticas con sus enunciados y teoremas, muchos de los cuales se pueden aplicar en la vida real, uno de los más famosos y reconocidos es el teorema de Pitágoras: “*en todo triángulo rectángulo, la suma del cuadrado de sus catetos es igual al cuadrado de su*

⁴ También conocido como coordenadas cartesianas, en geometría plana: dos líneas rectas llamadas eje x y eje y, forman la base de un sistema de coordenadas cartesianas que indican el largo y la altura, con un punto de intersección llamado 0. Las coordenadas cartesianas en un espacio tridimensional, también llamado espacio Euclídeo, es compuesto por los ejes x, y, z, donde z pasa a ser la profundidad del espacio, que también cuenta con un punto de intersección 0.

hipotenusa” “¿cómo aseguramos que una pared está cuadrada con el piso? La respuesta nos la ofrecería casi cualquier trabajador de la construcción: busque tres cuerdas de medida 3, 4 y 5 unidades; coloque las de 3 y 4 en la pared y el piso respectivamente, si la cuerda de 5 unidades queda perfectamente sobre los extremos de las anteriores, la pared quedó bien construida.” (Pineda, págs. 3, 4)

Este ejemplo básico nos ofrece una idea elemental de cómo se aplican las matemáticas, en este ejemplo la geometría, en un caso muy concreto y donde la aplicación es casi inmediata, podría entenderse que este teorema ha sido diseñado especialmente para este problema, pero además se puede usar en la construcción de muchas formas.

La geometría ha sido una herramienta muy útil en la observación y en el entendimiento espacial de casi todo lo que nos rodea, debido a que es una de las disciplinas que más nos acerca a la descripción de la realidad, la geometría busca reconocer e interpretar las formas y espacios naturales, pero también permite crear. Desde la antigüedad el ser humano ha observado las formas geométricas en la naturaleza y ha utilizado estas formas en múltiples representaciones. Desde obras de arte en pinturas, esculturas, hasta monumentales construcciones arquitectónicas.

Para profundizar un poco, se expone un ejemplo de la Geometría aplicado en el Arte; algunos artistas como Salvador Dalí (1904 - 1989), desarrollaron sus técnicas relacionadas con la geometría, aquí solo nombraremos algunas:

Anamorfosis: Una deformación reversible de una imagen, que permite un efecto diferente desde un punto de vista privilegiado. Usado como técnica en la exposición de su museo en Figueras (Cataluña, España).

En el cuadro “Los embajadores de Holbein” (*Figura 5*), en la parte de abajo se ve lo que sería la imagen de un cráneo, pero que solo es claro al acercar una botella o forma cilíndrica en donde se pueda reflejar la imagen.



Figura 28. Los embajadores de Holbein y el reflejo del cráneo.

Imágenes tomadas de: http://www.anarkasis.net/percepcion/2300_anamorfosis/

Se puede definir las ecuaciones que rigen las anamorfosis, aunque parece ser que Dalí realizaba sus dibujos anamórficos directamente sobre el papel, mirando cómo queda la imagen reflejada en un espejo.



Figura 29. Anamorfosis en homenaje a Dalí frente al Museo en Figueras

Imagen tomada de: <https://mateturismo.wordpress.com/tag/anamorfosis/>

Razón Áurea: Sus conocimientos sobre la razón áurea y su aplicación en la composición aparecen en muchos de sus cuadros: “El sacramento de la Última Cena”, donde fue inspirado por Luca Pacioli (1445 - 1517) con la obra “La Divina Proporción” en el que aparece un dodecaedro, también muy usado por Leonardo Da Vinci.



Figura 30. La divina Proporción de Lucca Pacioli

Imagen tomada de: <https://estudiandoloartistico.wordpress.com/2013/06/03/la-ciencia-y-el-arte-en-dali/comment-page-1/>



Figura 31. El Sacramento de La Última Cena (1955) Salvador Dalí

Imagen tomada de: <http://www.picassomio.es/sacramento-ltima-cena-poster-124859.html>

A nivel local se tienen las obras del pintor y caricaturista Omar Rayo. Su obra está marcada por el uso de la geometría óptica sin necesidad de ser abstracto. Principalmente usa cuadros, rectángulos y las líneas expresadas en tonos blancos, negros y rojos principalmente.

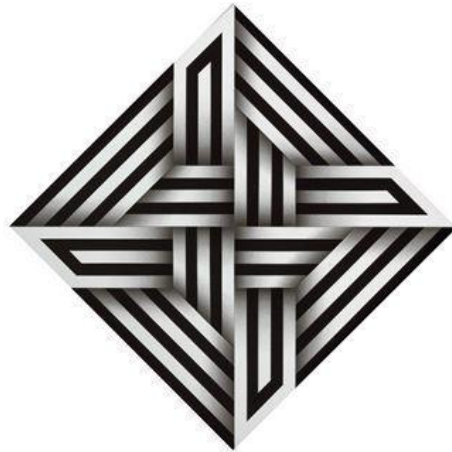


Figura 32. 'Kumo XV' (1973) de Omar Rayo

Imagen tomada de: <http://www.pinterest.com/pin/410249847280501140/>

Este es solo un pequeño ejemplo de dos artistas entre muchos a nivel mundial, de distintas épocas y distintas técnicas, los cuales hicieron y otros que aún hacen uso de la Geometría para realizar sus obras, demostrando así que la geometría es una disciplina que puede abarcar mucho en la creación de formas

2.7 Patrones en la Naturaleza:

Peter S. Stevens en su libro “Patrones y Pautas en la Naturaleza” (1987), realiza una investigación basada en una descripción detallada sobre los diseños y las formas que rigen el mundo natural desde la Geometría.

Stevens plantea que los diseños naturales son restringidos por un número limitado de patrones de tal modo que la inmensa variedad de formas que la naturaleza crea, surgen de la elaboración y reelaboración de un número reducido de temas básicos y que estas limitaciones son las que brindan al mundo natural belleza y armonía.

“Puede resultar curioso el hecho de resaltar precisamente las limitaciones de la Naturaleza cuando una simple ojeada a nuestro entorno revela una abrumadora diversidad. Nubes y pájaros carboneros, galaxias y saltamontes, águilas y olmos: uno no puede sustraerse a la impresión que semejante variedad suscita. Incluso entre aquellos objetos en apariencias semejantes, como los copos de nieve o las hojas de un mismo árbol, hallamos sutiles diferencias que hacen de cada uno de ellos algo único.

Pero cuando posteriormente observamos las analogías existentes entre las ramificaciones de los árboles, las del sistema arterial y las bifurcaciones de los ríos;

o en las semejanzas que los cristales presentan con las pompas de jabón y las placas que forman el caparazón de las tortugas; o cómo los frondes jóvenes de los helechos, gran número de galaxias y el agua que se vacía por el desagüe muestran formas espirales similares, no podemos dejar de preguntarnos por qué la naturaleza utiliza únicamente un reducido número de formas afines en contextos tan diferentes.” (Stevens, pág. 1)

Stevens describe una serie de formas, las cuales se repiten en todo el entorno natural de diversas maneras y combinaciones. Entre las que se encuentran las turbulencias, de las que hacen parte las formas dadas por remolinos, corrientes de líquidos o vientos; Las espirales, en estructuras de ADN, en caracoles, en plantas y en algunos animales, como en los cuernos de las cabras; Formas serpenteantes y sinuosas, en el movimiento de las serpientes; Explosiones, en el choque de una gota de agua con una superficie; ramificaciones, en las estructuras de las plantas y árboles; Burbujas y pompas de jabón; Agrupamiento y fragmentación, que se da en corteza de los árboles, en las mazorcas, en la estructura de las hojas, en la coraza y manchas de algunos animales; y las uniones de 120°.

De igual manera encuentra relación con los Poliedros:

- *Los pentágonos constituyen la mayor parte de las flores pero no se hallan en los cristales*
- *Los hexágonos predominan en la mayoría de los diseños repetitivos bidimensionales pero nunca forman por sí solos estructuras espaciales tridimensionales.*
- *La espiral es el culmen de la versatilidad e interviene tanto en la aplicación de los virus como en la ordenación de la materia que forma las galaxias.*
- *Dentro del dominio de la naturaleza solo puede formarse cinco (5) tipos de poliedros regulares.*
- *Existen siete (7) sistemas cristalinos.*
- *El tamaño determina su acción. (Stevens, pág. 2)*

Sobre los Poliedros y Mosaicos se pueden clasificar en cóncavos y convexos y se tiene que el espacio solo permite construir cinco formas regulares:

- Triángulos: con vértices de tercer, cuarto y quinto orden

- Cuadrados
- Pentágonos

En la siguiente imagen se pueden ver los cinco poliedros regulares convexos, (tetraedro, octaedro, icosaedro, cubo (hexaedro) y el dodecaedro). Cada uno de ellos tiene caras y ángulos regulares:

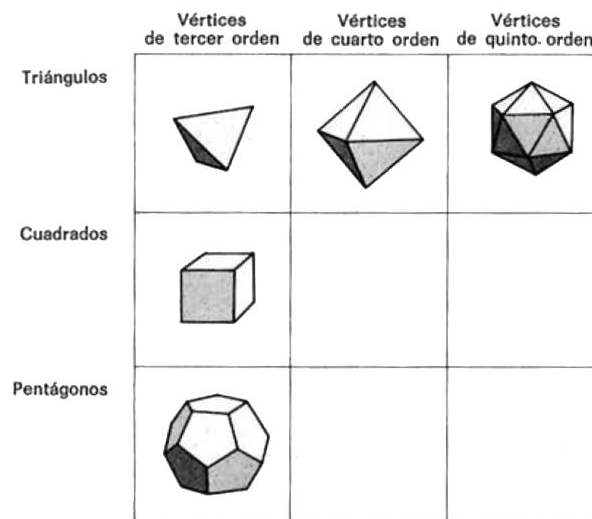


Figura 33. Pentágonos

“Pautas y Patrones en la Naturaleza” (pág. 11).

Combinando y uniendo estas formas regulares se pueden construir otros poliedros, pero aun así las posibilidades de forma son limitadas *“...no es posible construir una figura tridimensional cerrada a partir de polígonos de seis, siete u ocho lados, o de cualquier otra forma regular plana.”* (Stevens, pág. 11)

La naturaleza rara vez necesita crear figuras tan perfectas, de igual manera tampoco necesita trabajar con ángulos idénticos, pues se introducen variaciones, fuerza algunos elementos a conveniencia, retira o añade partes, pero todo bajo la “norma” sobre la economía de material.

Existen otros poliedros semirregulares entre los que están: Tetraedro truncado, Cubo truncado, octaedro truncado, cuboctaedro truncado, icosaedro truncado, icosidodecaedro truncado, dodecaedro truncado, cuboctaedro, rombo cuboctaedro, octaedro truncado, icosidodecaedro truncado, icosidodecaedro, snub cuboctaedro y snub dodecaedro.

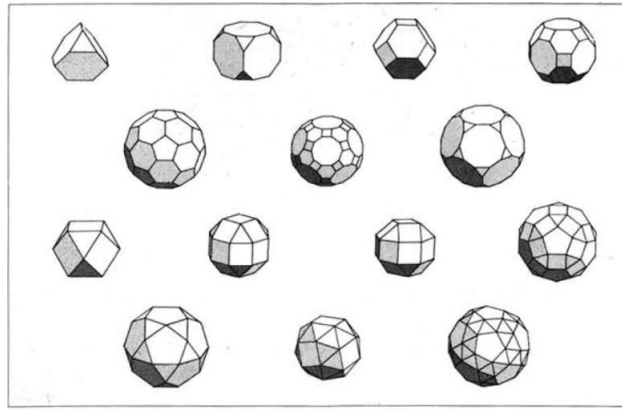


Figura 34. Poliedros semiregulares

Imagen: “Pautas y Patrones en la Naturaleza” (pág. 12).

Cada una de las formas tiene vértices de tercer, cuarto y quinto orden y algunas caras con tres, cuatro o cinco aristas.

En el libro “Generación y transformación de la forma”, Patiño y Arbeláez, muestran un cuadro en el que se resume las formas de la Naturaleza desde la Geometría, las cuales las clasifica de acuerdo a la clase de curvatura: (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 85)

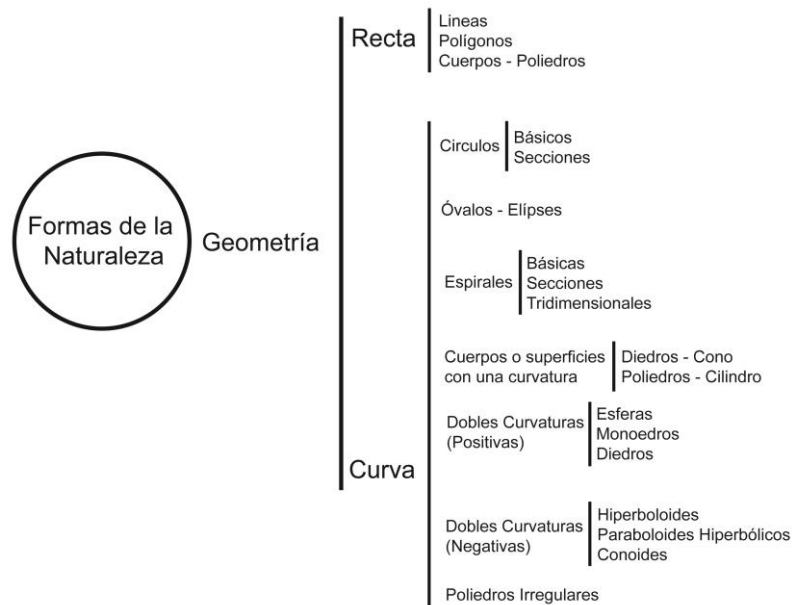


Figura 35. Las formas geométricas de la Naturaleza

Cuadro: “Generación y transformación de la forma” (pág. 85)

Este cuadro resume las formas naturales existentes, las cuales apoyan la teoría de Stevens, sobre el número limitado de formas geométricas que rigen la naturaleza.

Teniendo la clasificación de formas anterior, se pueden reconocer un grupo de patrones naturales, es decir, que su presencia en la naturaleza es tan alta y relevante que guían funciones importantes en la construcción natural y exponen también un ejemplo analógico en la construcción cultural. En el siguiente cuadro Patiño y Arbeláez, exponen los patrones existentes en la Naturaleza, destacando la función principal, la función secundaria, mecanismos de emergencia, la aplicación natural y por último la analogía cultural. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 109)

PATRONES EN LA NATURALEZA					
<i>Patrón</i>	<i>Función principal</i>	<i>Función secundaria</i>	<i>Mecanismos de emergencia</i>	<i>Aplicación natural</i>	<i>Analogía cultural</i>
Esferas y formas esteroideas	Proteger	-Contener -Independizar -Estabilizar estructuralmente -Desplazar -Auto defender	-Isotropía -Rotación -Homogeneidad -Deterioro	-Saco amniótico	Mina esfero
Hexágono y Pentágono	Pavimentar (bi y tridimensional)	-Auto organizar -Ocupar el espacio -Ahorrar material (en caparazones)	-Compresión de círculos -Propagación de fracturas -Cristalización de líquidos Presión isotropa	-Caparazón tortuga	-Balón de futbol
Espiral	Empacar	-Guardar -Ahorrar espacio -Permitir movilidad	-Crecimiento diferencial -Velocidad diferencial -competencia por luz y agua	-Girasol	Rollo Metro o decámetro
Hélice	Agarrar	-Empacar otro material -Aumentar fricción	-Movimiento -Crecimiento diferencial -Competencia	-Trompa elefante	-Rosca tornillo
Puntas y conos	Penetrar	-Concentrar -Permitir movilidad -Dispersar -Defender, atacar, comer, excavar.	-Deformación -Concentración	-Espinas de un tallo	-Embudo
Ondas y formas sinuosas y serpenteantes	Comunicar	-Desplazar -Mover -Ocupar el espacio	-Fluctuaciones periódicas -Orden -Fuerzas contrapuestas	-Cerebro	-sonda
Fractales, ramificaciones y explosiones	Colonizar	-Transportar -Rellenar el espacio -Minimizar (tiempo y materia)	-Competencia -Orden	-Ramas	-Sombrilla

Tabla 4. "Generación y transformación de la forma" (pág.109)

Para D'Arcy Thompson, los patrones geométricos de la naturaleza no se pueden confundir al azar, es decir, son fácilmente detectables las formas, ni se pueden confundir con patrones geométricos perfectos, como los cubos, esferas, círculos, etc.

A partir de aquí Thompson se cuestiona algo que le da iniciativa a su trabajo de investigación: *¿por qué los vertebrados tienen asimetría bilateral y por qué se da la coloración muy marcada en algunos animales?*

Sobre la coloración fue abordado por el filósofo matemático Alan Mathison Turing (1912 - 1954), quien da respuesta en término de un sistema de tres ecuaciones diferenciales parciales no lineales de tipo *difusión – advección – reacción*, mecanismos que dan origen a distribuciones de coloración, llamados “*Patrones de Turing*”.

2.7.1 Efecto Escala:

Entendiendo un poco sobre los patrones que están en la Naturaleza, existe un factor muy importante en la construcción y existencia de las formas vivas y es el Efecto Escala.

Para D'Arcy Thompson y para Peter Stevens, la magnitud y el tamaño se ven afectados (moldeados) por el espacio, Thompson argumenta que la escala no depende de una cosa en sí misma, si no de la relación con el ambiente o entorno completo. Las relaciones geométricas derivadas de la diferencia de tamaño afectan el comportamiento de cualquier estructura, al igual que el de su masa y volumen, Stevens dice: no es lo mismo la resistencia de un cubo pequeño a la resistencia de uno grande.

Thompson, realiza un análisis sobre algunas características de movimiento relacionados con la gravedad y su influencia sobre la forma concluye que: las formas y las acciones están condicionadas, salvo los animales acuáticos que se amoldan por otras leyes físicas, por la fuerza de gravedad. Esta fuerza, tampoco influye significativamente sobre las acciones de los organismos más pequeños.

Viendo que las formas y patrones son diferentes entre sí, y varían entre unos y otros, compartes ciertos rasgos que se repiten con cierta regularidad, como es el caso del crecimiento natural.

Patiño y Arbeláez describen los principios que utiliza la naturaleza viva durante el proceso de crecimiento y las subdividen en tres grupos: (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 112 a 121)

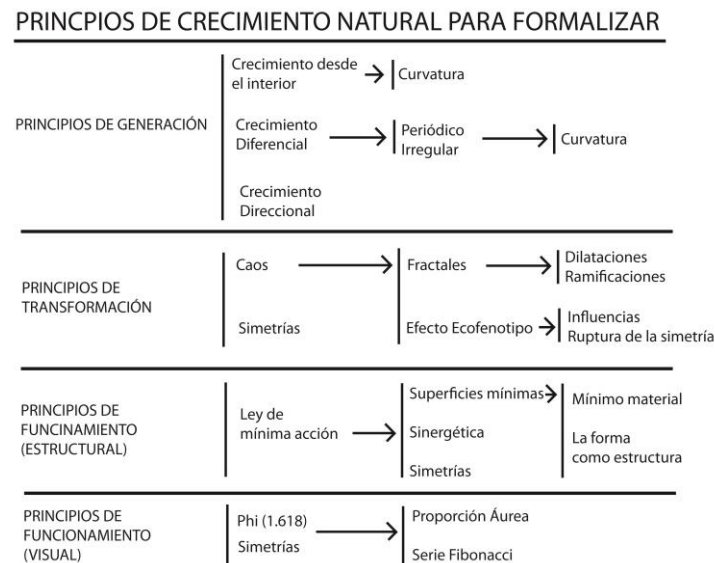


Figura 36. “Generación y transformación de la forma” (pág.112)

- Principios de generación: Son los lineamientos que sigue la naturaleza desde el mismo momento que comienza su crecimiento. Lo subdivide en:
 - Crecimiento desde el interior*: viene regido por la curvatura y se materializa hacia los ejes x, y, z.
 - Crecimiento diferencial periódico*: un crecimiento lento, tranquilo, pero constante.
 - Crecimiento diferencial irregular*: Su crecimiento ocasionan curva en el momento en que responden las necesidades.
 - Crecimiento direccional*: Se materializa con mayor frecuencia sobre los ejes x, y, desde un punto, como las ramas de una planta.
- Principios de generación*: El crecimiento no se puede ubicar en una etapa posterior a la generación.

Caos y azar: Todo lo existente puede ser afectado por tantas variables que es imposible predecir su funcionamiento.

Fractales: Son patrones auto semejantes, una pequeña sección puede ser vista como una réplica a menor escala de todo el fractal. Son figuras que pueden crecer infinitamente y poseen dimensión fraccionaria.

Efecto ecofenotípico: este efecto permite que ningún ser, por más que nazca, se desarrolle y crezca en un ambiente controlado exactamente igual, sea igual.

- Principio de Funcionamiento estructural: Por la ley de máxima economía posible dicta que toda acción realizada por la naturaleza, debe ser la mínima posible.

Superficies mínimas: Las propiedad consiste en encerrar el mayor volumen o cubrir la mayor longitud, con el mínimo material y la mínima superficie.

Sinérgica: el comportamiento de la totalidad de un sistema no puede predecirse por el comportamiento de sus partes tomadas separadamente.

Simetrías: La función principal de las simetrías en la naturaleza es disminuir la información que necesita para construir.

- Principio de funcionamiento visual

Phi, el número de oro, (Proporción Áurea) del que se hablará más adelante.

2.8 La Geometría y algo de su historia:

Ya se ha abordado la geometría como instrumento importante dentro de la observación de los sistemas naturales, pero ¿de dónde viene esta disciplina tan importante dentro del mundo de las ciencias?

Etimológicamente, “*geo*” significa *tierra* y “*metría*” significa *medir*. Es la ciencia que permite medir la tierra, aunque es mucho más que solo eso, “*la Geometría es la ciencia que estudia las propiedades de las figuras formadas por rectas y curvas.*” (Obregón, pág. 187)

Según el filósofo neoplatónico Proclo (412 - 485), “*De acuerdo a la mayoría de las versiones, la geometría fue descubierta en Egipto, teniendo su origen en la medición de áreas, ya que ésta era una necesidad para los egipcios, debido a que el río Nilo,*

al desbordarse, barría con las señales que indicaban los límites de los terrenos de cada quien.

No es sorprendente que el descubrimiento de esta y otras ciencias tuvieran su origen en las necesidades prácticas, viéndose que todas las cosas se encuentran en el camino que progresa de lo imperfecto a lo perfecto. Por tanto, la transición de la mera sensación al razonamiento y de este al entendimiento no es más que una cosa natural...” (Filloy Yagüe, pág. 1)

En los tiempos del faraón Ramsés II de la Dinastía XIX de Egipto (1279 a.C. – 1213 a. C.), la tierra era distribuida en espacios rectangulares, por el que debían pagar un impuesto anual, pero cuando el río Nilo inundaba parte de su tierra, se debía hacer una reducción proporcional a los impuestos de lo perdido, por tal razón se buscaba el modo equilibrado de que todos tuvieran las mismas oportunidades en cuanto a tierra y cobros de impuesto.

El Historiador griego Heródoto (484 y el 425 a. C.) en el Libro II describe: “Los sacerdotes también me dijeron que este rey (Sesostris) repartió el suelo entre todos los egipcios, concediendo a cada habitante un lote cuadrangular de extensión uniforme; y, con arreglo a esta distribución fijó sus ingresos, al imponer el pago de un tributo anual. Ahora bien, si el río se le llevaba a alguien parte de su lote el damnificado acudía al rey y le explicaba lo sucedido; entonces el monarca enviaba a algunas personas a inspeccionar y medir la disminución que había sufrido el terreno para que, en lo sucesivo, pagara una parte proporcional del tributo impuesto. Y, a mi juicio, para este menester se inventó la geometría, que pasó luego a Grecia.”

“...para la gestación de la geometría es necesaria la confluencia e integración de los tres campos de leyes que organizan nuestro saber: La ley natural de las crecientes del Nilo y su acción erosiva, la ley formal de la medición y el cálculo proporcional, y la ley social del pago de tributo; las tres legalidades están conjuntamente en la base –en la razón de ser y la posibilidad de instauración- de la geometría.” (Apolonio, 2014)

Ahora bien, retomando datos más precisos en la historia, la Geometría fue fundada alrededor de los 600 años a. C. en la cultura Griega por Tales de Mileto (624 a.C. –

546 a.C.), uno de los Siete Sabios de Grecia⁵ quien aportó trabajos en filosofía y en matemática. En esta última ciencia, se le atribuyen las primeras demostraciones de teoremas geométricos haciendo uso del razonamiento lógico, por esto es considerado como el Padre de la Geometría. Hizo uso de la geometría para medir las dimensiones de las pirámides de Egipto y calcular la distancia de los barcos navegando hasta la costa.

Sus investigaciones arrojaron los siguientes seis teoremas geométricos

1. *Todo diámetro biseca a la circunferencia.*
2. *Los ángulos en la base de un triángulo isósceles son iguales.*
3. *Los ángulos opuestos por el vértice son iguales*
4. *Dos triángulos que tienen dos ángulos y un lado respectivamente iguales son iguales.*
5. *Todo ángulo inscrito en una semicircunferencia es recto.*
6. *Los segmentos determinados por una serie de paralelas cortadas por dos transversales son proporcionales. (más conocido como “teorema de Tales”)*

Después de Tales, los pitagóricos también tuvieron importancia en relación al surgimiento de la geometría.

Para Pitágoras y sus seguidores (pitagóricos), el aprendizaje y la educación tenían un valor importantísimo dentro de su creencia, en especial el aprendizaje de las matemáticas, pues esta era la senda que había que recorrer para elevar las almas. Según Pitágoras: *“La beatitud es el conocimiento de la perfección de los números del alma”* es la frase que resume la importancia que la matemática tenía para los Pitagóricos. (Filloy Yagüe, pág. 24)

Eudemo de Rodas (370 a.C. – 300 a.C.), filósofo de la antigua Grecia, considerado el primer historiador de la ciencia, atribuyó a Pitágoras el descubrimiento de que la suma de un triángulo equivale a dos ángulos rectos, el enunciado original dice: En un triángulo rectángulo el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos lados, llamamos “triángulo rectángulo” a un triángulo con un ángulo recto.

⁵ Esta denominación fue dada a siete antiguos sabios griegos, por su sabiduría. Tales de Mileto, Cleóbulo de Lindos, Solón de Atenas, Quilón de Esparta, Bías de Priene, Pítaco de Mitilene y Periandro de Corinto.

Es importante también mencionar a Eudoxio (390 a.C. – 337 a.C.), pupilo de Platón y de Arquitas de Tarento (430 a.C. – 360 a.C.), reconocido por la teoría de las proporciones y el llamado método de exhaustión, aportes que hicieron posible el determinar rigurosamente áreas y volúmenes.

La geometría clásica Griega se ha mantenido gracias a los trece libros escritos por Euclides de Alejandría (325 a.C. – 265 a.C.), alrededor del año 300 a.C. conocido como los elementos de Euclides.

2.9 Algunas definiciones geométricas de importancia:

Es importante tener presente que en geometría así como en las matemáticas y en todas las ciencias en general son importantes las definiciones para que la investigación no quede con vacíos y se logre entender de una mejor manera. Estas definiciones permiten la construcción de la Geometría y cualquier herramienta relacionada con ella.

Las definiciones más importantes de los Elementos de Euclides son: (Obregón, pág. 190 a 194)

- *Punto*: Es algo que no tiene partes.
- *Línea*: Es una figura que genera un punto que se mueve: tiene longitud, pero no anchura.
- *Recta*: Es una línea que marca la menor distancia posible entre dos puntos, prolongadas en ambos sentidos. Toda línea que no sea recta, también es curva.
- *Segmento*: Es la porción de recta comprendida entre dos de sus puntos.
- *Semirrecta*: Es la porción de recta que parte de un punto de ella llamado *origen* y continúa indefinidamente en solo un sentido.
- *Segmento orientado*: Es un segmento al cual se ha asociado una dirección para correrlo.
- *Ángulo*: Es la abertura entre dos semirrectas con el mismo origen, llamadas sus *lados*.
- *Ángulos adyacentes*: Son los que tienen el mismo vértice y un lado en común.
- *Ángulos opuestos por el vértice*: Son aquellos en los que uno de ellos tiene por lados las prolongaciones de los lados de otro, en sentido opuesto.
- *Bisectriz de un ángulo*: Es la recta que lo parte en dos ángulos adyacentes.
- *Ángulo recto*: Es cada uno de los que se forman cuando una recta cae sobre otra, en forma tal que los dos ángulos adyacentes sean iguales. De estas dos rectas se dice que son *perpendiculares*.

- *Ángulo agudo*: es el que es menor que un ángulo recto.
- *Ángulo obtuso*: Es el que es mayor que un ángulo recto.
- *Ángulo llano*: Es el que es igual a dos ángulos rectos, es decir, aquel en el que un lado es la prolongación del otro en sentido opuesto.
- *Mediatriz de un segmento*: Es la recta perpendicular a él, que pasa por su punto medio.
- *Distancia de un punto a una recta*: Es la longitud del segmento perpendicular a la recta, bajado a ésta desde su punto.
- *Circunferencia*: Es una línea tal que todos sus puntos están a la misma distancia de otro cierto punto llamado centro. También se le llama *radio* a cualquier segmento que vaya del centro a un punto de la circunferencia.
- *Círculo*: Es la región encerrada por una circunferencia.
- *Cuerda*: Es un segmento cuyos dos extremos están sobre la circunferencia.
- *Diámetro*: Es una cuerda que pasa por el centro.
- *Tangente a una circunferencia*: Es una recta que sólo la toca en un punto llamado *punto de tangencia*.
- *Ángulo central*: Es el que tiene vértice en el centro de la circunferencia y tiene por lado los radios.
- *Arco*: Es la porción de circunferencia comprendida entre los puntos A, B.
- *Sector circular*: Es la porción de círculo encerrada entre un arco y los dos radios que van a sus extremos.
- *Paralelas*: Son dos rectas que nunca se cortan.
- *Secantes*: Es una línea que corta a otra u otras líneas.
- *Triángulo*: Es la figura formada por tres segmentos que unen, dos a dos, tres puntos que no estén en la misma recta.
- *Altura de un triángulo*: Es el segmento que parte de un vértice y cae perpendicular sobre el lado opuesto.
- *Mediana de un triángulo*: Es el segmento que va de un vértice al punto medio del lado opuesto.
- *Triángulo rectángulo*: Es aquel que tiene un ángulo recto
- *Hipotenusa de un triángulo*: Es el lado opuesto del recto.
- *Catetos de un triángulo rectángulo*: son los otros dos lados
- *Triángulo equilátero*: es el que tiene sus tres lados iguales entre sí.
- *Triángulo isósceles*: Es el que tiene dos lados iguales entre sí.
- *Triángulo escaleno*: Es el que tiene sus tres lados diferentes entre sí.
- *Cuadrilátero*: Es una figura cerrada con cuatro lados.
- *Paralelogramo*: es un cuadrilátero con sus lados paralelos dos a dos.
- *Rectángulo*: Es un paralelogramo con sus cuatro ángulos rectos.
- *Rombo*: Es un paralelogramo con sus cuatro lados iguales entre sí.
- *Cuadrado*: Es la figura que es simultáneamente rectángulo y rombo.
- *Trapezio*: Es un cuadrilátero con solo dos lados paralelos.

- *Polígono*: Es cualquier figura cerrada, resultante de unir con segmentos cualquier número de puntos.
- *Polígono regular*: es el que tiene todos sus lados y todos sus ángulos interiores iguales entre sí.
- *Perímetro de un polígono*: Es la suma de las longitudes de sus lados.

2.9.1 Sólidos Platónicos:

También conocidos como poliedros platónicos

Etimológicamente la palabra Poliedro está compuesta por dos vocablos *Poli* que significa “*muchos*” e indica pluralidad o abundancia, y *edro*, *-edra*, elemento sufijal que entra en la formación de palabras con el significado de “*cara*” y “*plano*”. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 37)

Los sólidos platónicos son poliedros convexos regulares⁶ cuyo volumen está limitado por polígonos que se interceptan en las aristas o en sus vértices. En un plano, todos los polígonos regulares son convexos, norma que se impone a la tridimensionalidad, ya que existen los no convexos llamados los sólidos de Kepler. “*Un poliedro regular es todo aquel poliedro convexo cuyas caras son polígonos regulares iguales entre sí, y cuyos vértices son iguales.*” (<http://www.uam.es/>)

Los sólidos platónicos representan tridimensionalmente al triángulo, al cuadrado y al pentágono:

Tetraedro – Cubo – Octaedro – Dodecaedro – Icosaedro; “*reciben su nombre de dos raíces griegas, la primero hace referencia al número de caras, por ejemplo: “tetra” que significa cuatro, y la segunda, “hadrón” que es cara*” (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 37)

Para Platón, existía una estrecha relación de los sólidos con los elementos de la naturaleza: (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, 2009, pág. 37)

- Tetraedro	- fuego	} Relación según Platón
- Cubo	- Tierra	
- Octaedro	- Aire	
- Dodecaedro	- éter	
- Icosaedro	- agua	

⁶ En dos dimensiones los polígonos son regulares si todos sus ángulos son iguales entre sí y todos sus lados son también iguales entre sí. El equivalente a esta segunda condición en el espacio sería que todas las caras del poliedro regular sean iguales entre sí. http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/barcelo/historia/Los%20solidos%20platonicos.pdf

2.10 Pensamiento Espacial:

El pensamiento espacial se puede definir como el conjunto de procesos cognitivos mediante los cuales se constituyen las representaciones mentales de los objetos del espacio, sus transformaciones (crear, manipular, destruir, modificar), relaciones y representaciones materiales.

El pensamiento espacial es importante dentro del pensamiento matemático, que se relaciona a la percepción espacial especialmente a la percepción visual.

El psicólogo Howard Gardner, investigador y profesor de la universidad de Harvard, en su teoría de las múltiples inteligencias (1983) considera como una de estas inteligencias la espacial, y plantea que esta es esencial para el pensamiento científico, ya que es usado para representar y manipular información en el aprendizaje y en la resolución de problemas.

El manejo de información espacial para resolver problemas de ubicación, orientación y distribución de espacios es peculiar a esas personas que tienen desarrollada su inteligencia espacial. En los sistemas geométricos se hace énfasis en el desarrollo del pensamiento espacial, el cual es considerado como el conjunto de los procesos cognitivos mediante los cuales se constituyen y se manipulan las representaciones mentales de los objetos del espacio, las relaciones entre ellos.

Los esposos Diana y Pierre Van Hiele, en su modelo de enseñanza de la geometría (1957), proponen cinco niveles de desarrollo del pensamiento geométrico que ayuda a estructurar el aprendizaje de la geometría.

- **El Nivel 1.** Es el nivel de la visualización, llamado también de familiarización, en el que se percibe las figuras como un todo global, sin detectar relaciones entre tales formas o entre sus partes.

En este nivel, los objetos sobre los cuales se razonan son clases de figuras reconocidas visualmente como de “la misma forma”.

- **El Nivel 2.** Es un nivel de análisis, de conocimiento de las componentes de las figuras, de sus propiedades básicas. Estas propiedades van siendo comprendidas a través de observaciones efectuadas durante trabajos prácticos como mediciones, dibujo, construcción de modelos, etc.

- **El Nivel 3.** Llamado de ordenamiento o de clasificación. Las relaciones y definiciones empiezan a quedar clarificadas, pero sólo con ayuda y guía. Se pueden clasificar figuras jerárquicamente mediante la ordenación de sus propiedades y dar argumentos informales para justificar sus clasificaciones; por ejemplo, un cuadrado es identificado como un rombo porque puede ser considerado como “un rombo con unas propiedades adicionales”. El cuadrado se ve ya como un caso particular del rectángulo, el cual es caso particular del paralelogramo. Comienzan a establecerse las conexiones lógicas a través de la experimentación práctica y del razonamiento. En este nivel, los objetos sobre los cuales se razonan son las propiedades de clases de figuras.
- **El Nivel 4.** Es ya de razonamiento deductivo; en él se entiende el sentido de los axiomas, las definiciones, los teoremas, pero aún no se hacen razonamientos abstractos, ni se entiende suficientemente el significado del rigor de las demostraciones.
- **El Nivel 5.** Es el del rigor; es cuando el razonamiento se hace rigurosamente deductivo. En este nivel se razona formalmente sobre sistemas matemáticos, pueden estudiar geometría sin modelos de referencia y razonar formalmente manipulando enunciados geométricos tales como axiomas, definiciones y teoremas.

Las investigaciones de Van Hiele muestran que el paso de un nivel a otro no es automático y es independiente de la edad. Muchos adultos se encuentran en un nivel 1 porque no han tenido oportunidad de enfrentarse con experiencias que les ayuden a pasar al nivel 2. (Universidad de Antioquia, s.f.)

2.11 Geometría Descriptiva:

Desde que surgió la necesidad de crear y construir cosas, desde un alfiler, hasta la más grande industria o maquinaria, surgió también la necesidad de realizar una descripción de las ideas en el espacio, a partir de aquí nace la geometría descriptiva como herramienta que proporciona los fundamentos para describir, interpretar y resolver la comunicación gráfica de un espacio tridimensional sobre un espacio bidimensional, representada por una proyección ortogonal.

La geometría Descriptiva hace uso importante de todas las herramientas que brinda la geometría básica: puntos, rectas, superficies planas o curvas, sólidos o volúmenes, que fueron definidas en la página 59.

De esta manera la Geometría descriptiva es el conjunto de técnicas que permite describir de manera exacta la forma de los cuerpos, desde la creación natural, hasta lo físicamente construido por el humano.

2.11.1 Sistemas de proyección

Una proyección es la imagen que se obtiene en una superficie plana, que resulta de la intersección con el plano de proyección de las vistas que van desde el ojo del observador a los diferentes puntos del objeto observado.

En el sistema de proyección intervienen cuatro elementos: objeto, punto de observación, superficie de proyección y proyectantes.

- El objeto es aquello que se desea representar, es decir, aquello que se va a observar.
- El punto de observación, es el punto desde el cual se observa el objeto que se va a representar.
- La superficie de proyección, es la superficie sobre la cual se proyectará el objeto.
- Proyectantes, son rectas imaginarias que unen los puntos del objeto con el punto de observación.

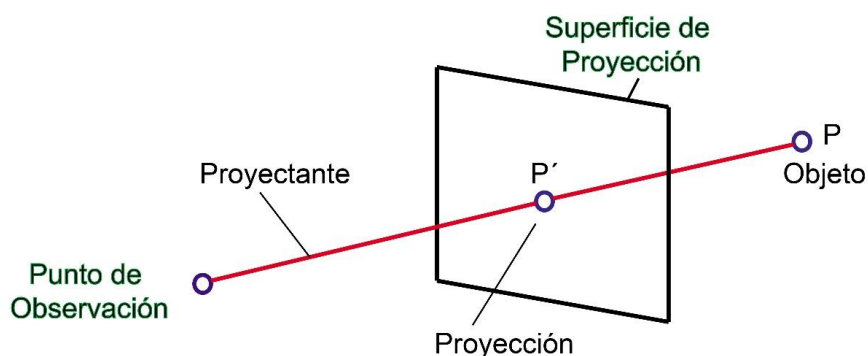


Figura 37. Sistema de proyección

En el sistema de proyección se definen los tipos de proyección que existen y que dependen de los ángulos de las proyectantes:

2.11.2 Proyección cilíndrica:

Cuando los rayos proyectantes son paralelos entre sí. Los principales tipos son:

Proyección ortogonal

Se obtiene cuando las proyectantes son perpendiculares al plano de proyección.

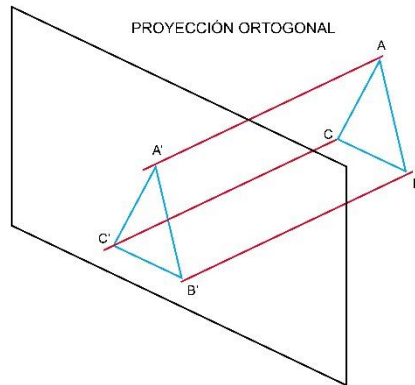


Figura 38. Plano de Proyección Ortogonal

Proyección oblicua

Se obtiene cuando las proyectantes no son perpendiculares al plano de proyección:

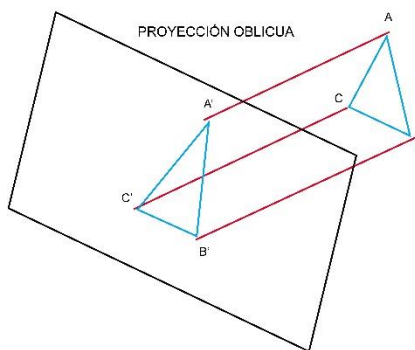


Figura 39. Plano de Proyección Oblicua

Proyección cónica: Cuando el punto de observación y el objeto se encuentran relativamente cercanos.

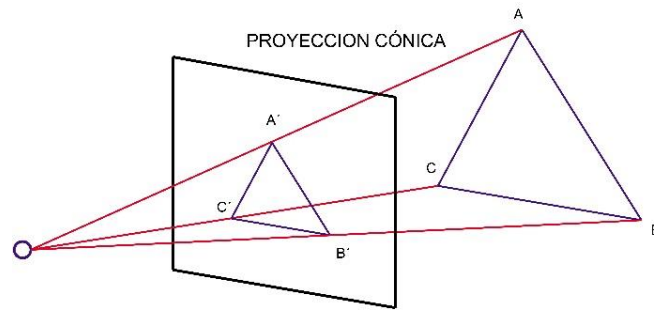


Figura 40. Plano Proyección Cónica

Punto de fuga: es aquel punto imaginario donde se encuentran las líneas paralelas que se unen o interceptan en el infinito, vista desde una perspectiva.

Perspectiva de un punto de fuga:

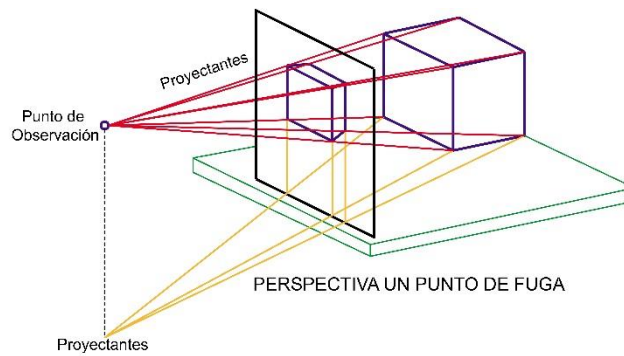


Figura 41. Perspectiva un punto de fuga

Perspectiva dos puntos de fuga:

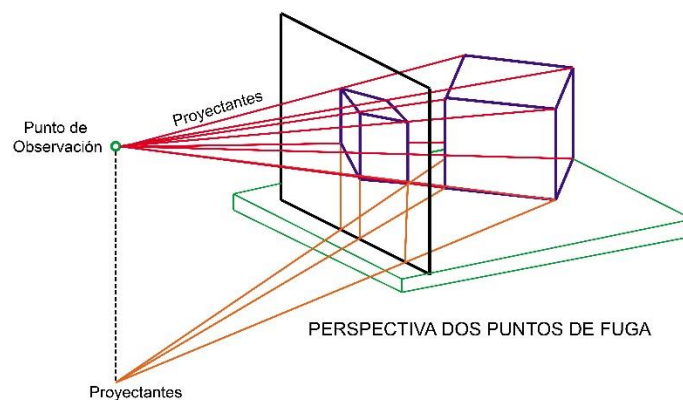


Figura 42. Perspectiva dos puntos de fuga

Perspectiva tres puntos de fuga:

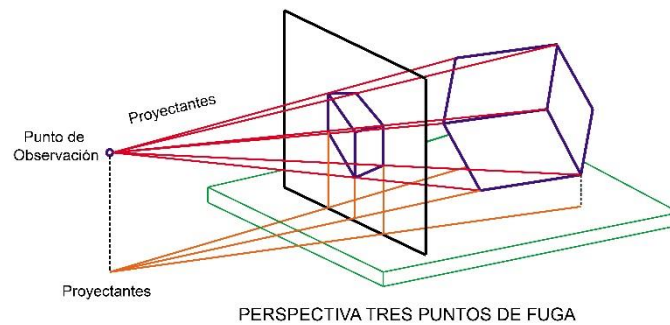


Figura 43. Perspectiva tres puntos de fuga

Proyección diédrica: se emplean dos planos de proyección: vertical y horizontal.

Se definen:

PV (plano vertical de proyección),

PH (plano horizontal de proyección): forma 90° con el PV,

LT (línea de tierra): es la intersección entre los planos vertical y horizontal de proyección,

O (origen): punto común a los tres ejes de coordenadas, a partir del cual se miden las coordenadas de los puntos,

X (eje de coordenadas x): eje sobre el cual se miden las coordenadas (x) de los puntos; coincide con la línea de tierra,

Y (eje de coordenadas y): eje sobre el cual se miden las coordenadas (y) de los puntos,

Z (eje de coordenadas z): eje sobre el cual se miden las coordenadas (z) de los puntos, (Perez García, 2006)

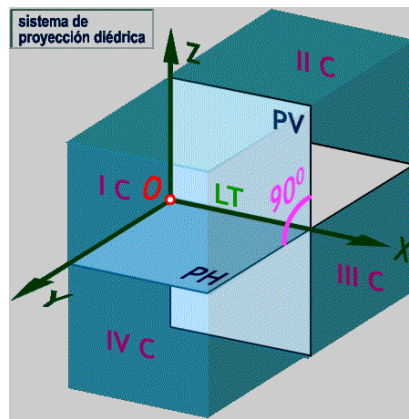


Figura 44. Proyección Diédrica

Imagen tomada de: <http://www.geometriadescriptiva.com/teoria/aperez/>

Con este sistema se obtiene la proyección ortogonal del objeto sobre dos planos de manera simultánea, buscando registrar un calco tridimensional del objeto de estudio, este registro es importante en una investigación en biónica, por fortuna en estos tiempos la tecnología brinda las herramientas necesarias e indispensables para realizar dicho análisis, herramientas como fotografías, videos, modelación 3d, etc.

2.12 Matemáticas en la Naturaleza:

“Uno de los aspectos más conocidos de la utilidad práctica de las matemáticas es su gran capacidad para la modelización de fenómenos naturales, ya que el estudio de estos modelos permite entender mejor, explicar e incluso predecir nuestro comportamiento.” (Peral Alonso, pág. 161)

Los Pitagóricos, *(Aquellaos seguidores de la escuela de Pitágoras, que creían que todas las cosas son, en esencia, números)*, consideraban que:

1. *La matemática es clave de la realidad, la naturaleza es un libro escrito con signos matemáticos y solamente quien sepa matemática podrá interpretarla.*
 2. *La Matemática es el lenguaje necesario para expresar las interpretaciones de la naturaleza, instrumento para el cálculo y la predicción instrumentalista.*
- (Coronado G. , pág. 14)

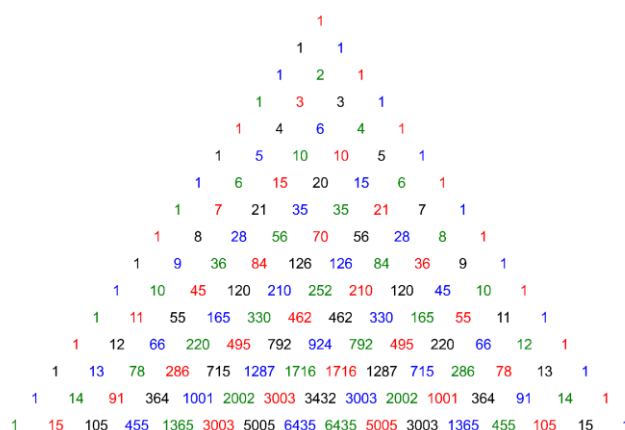
Dentro de los modelos matemáticos más maravillosos y uno de los más estudiados se encuentra la serie Fibonacci, que consiste en una sucesión infinita de números naturales:

0; 1; 1; 2; 5; 8; 13; 21; 34; 55; 89; 144;...

Leonardo de Pisa (1170 - 1250) fue un matemático italiano muy reconocido, entre otras cosas, por descubrir la serie *Fibonacci*, al resolver un problema con la cría de conejos: “el crecimiento en número de una colonia de conejos de los que se supone que se reproducen a partir del segundo mes de vida y de forma que cada pareja genera una nueva pareja cada mes” (Peral Alonso, pág. 166) “una pareja de conejos tarda un mes en alcanzar la edad fértil, a partir de ese momento cada vez engendra una pareja de conejos, que a su vez, tras ser fértiles engendrarán cada mes una pareja de conejos. ¿Cuántos conejos habrá al cabo de un determinado número de meses?” (intef)

Con esto surge la ecuación $F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$ para todo $n > 1$. De aquí es fácil entender que cada término es la suma de los dos anteriores, pero existe una relación muy curiosa entre estos valores: el cociente entre cada término y el anterior se va acercando cada vez más a un número muy especial: el número áureo

$$\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,618033988749...$$



alrededor del tallo de la planta se produce siguiendo secuencias basadas exclusivamente en esta relación de números.

Clasificación:

- Hojas alternas: Son aquellas hojas que están dispuestas espacialmente sobre un eje (rama) de tal forma que NO coinciden en un mismo punto de inserción (nudo).

Helicoidal: las hojas están dispuestas sobre un eje (rama) formando un espiral (*Figura 51(a.)*)

Disticas: Son aquellas hojas que están dispuestas espacialmente sobre un eje (rama) en un solo plano y formando dos filas verticales; en las cuales las hojas pueden disponerse en forma alterna (*Figura 51(b.)*) u opuesta (*Figura 51(c.)*)

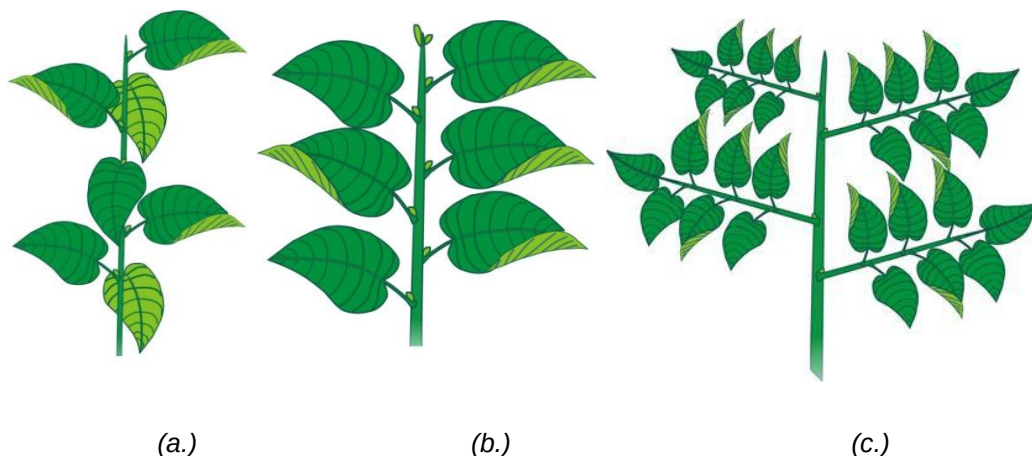


Figura 46. Hojas Alternas: (a.) Helicoidal, (b.) Dística Alterna y (c.) Dística Compuesta.

Imágenes tomadas de:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303036/ver16sept_cursos_tres_creditos/leccin_7_filotaxia.html

- Hojas opuestas: Son aquellas hojas que están dispuestas espacialmente sobre un eje (rama) de tal forma que de dos en dos, coinciden en cada punto de inserción (nudo), es decir, una hoja se sitúa al frente de la otra. Existe una variación con respecto a la forma como se ubican los pares de hojas sobre la rama:

Decusadas: los pares de hojas están dispuestos en cruz uno con respecto al siguiente. (*Figura 52 (a.)*)

Disticas: los pares de hojas están dispuestos sobre el mismo plano con respecto al siguiente. (Figura 52(b.))

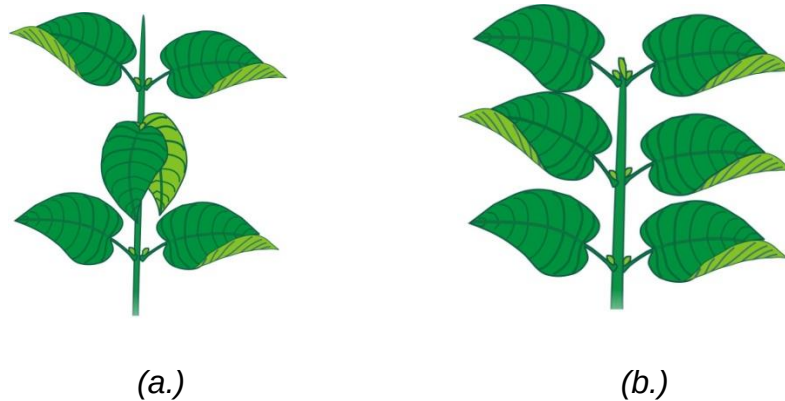


Figura 47. Hojas Opuestas: (a.) Decusada, (b.) Dística

Imágenes tomadas de:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303036/ver16sept_cursos_tres_creditos/leccin_7_filotaxia.html

- Hojas compuestas opuestas: (Figura 9.5)

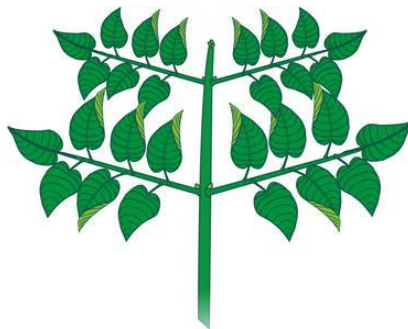


Figura 48. Hojas Compuestas opuestas.

Imagen tomada de:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303036/ver16sept_cursos_tres_creditos/leccin_7_filotaxia.html

Verticiladas: Son aquellas hojas que conforman verticilos, es decir, existen 3 o más hojas dispuestas sobre un mismo nudo. (Figura 54) (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, s.f.)

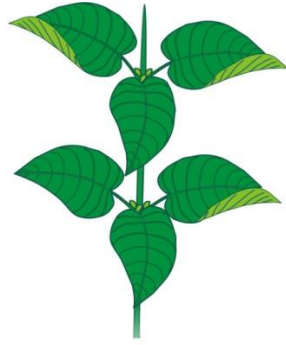


Figura 49. Verticiladas

Imagen tomada de:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303036/ver16sept_cursos_tres_creditos/leccin_7_filotaxia.html

De la misma manera se distribuyen las espirales en flores y frutos: los girasoles tienen 55 espirales en un sentido y 89 en el otro, o bien 89 y 144. Cualquier variedad de piña presenta siempre un número de espirales que coincide con dos términos de la sucesión de los conejos de Fibonacci: 8 y 13 o 5 y 8. (*Figura 55*)

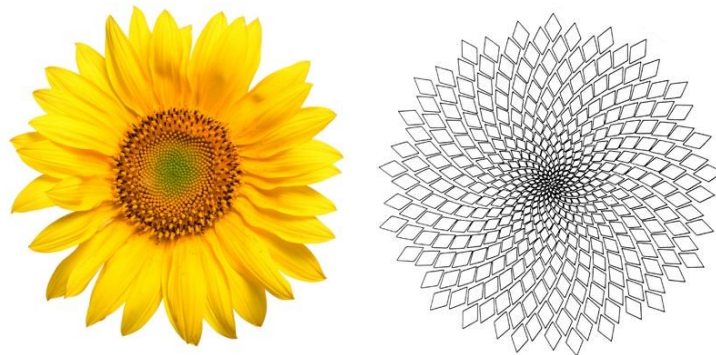


Figura 50. Sucesión Fibonacci en Girasol

Imágenes tomadas de: <http://www.ufseeds.com/Sunflower-Growing-Tips-Gardener1.html> - http://www.jainmathemagics.com/newsletter_lookup_embed.asp?newsletter_id=59

De esta forma se constituye las formas proporcionales de algunos elementos naturales, con la que muchos artistas, estudiosos de la estética y filósofos han soñado, la sección áurea, también llamada proporción divina o número áureo.

Se trata de un principio algo simple, cuando se ve el resultado, y muy curioso, que se repite hasta el infinito en la naturaleza, el arte y la ciencia. Esta sección áurea se

puede encontrar en las semillas de ciertas plantas, en el árbol genealógico de las abejas, catedrales antiguas, en obras de artistas del Renacimiento o hasta en el cuerpo humano, entre muchas otras partes y lugares:

Corporales: humanos y animales:

- *Relación entre la altura de un ser humano y la altura de su ombligo*
- *La relación entre la distancia del hombro a los dedos y la distancia del codo a los dedos.*
- *La relación entre divisiones vertebrales*
- *La relación entre las articulaciones de las manos y de los pies*

En el Arte:

- *La relación entre las partes, el techo y las columnas del Partenón, en Atenas.*
- *La ubicación de las efes, “óídos” u orificios en la tapa de los violines se relacionan con el número áureo.*
- *El número áureo aparece en las relaciones entre altura y ancho de los objetos y personas que aparecen en las obras de Miguel Ángel, durero y Da Vinci, entre otros.*

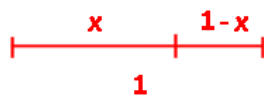


Figura 51. Proporción aurea Partenón Atenas.

Imagen tomada de: http://evasocialesarte.blogspot.com/2011_09_01_archive.html

El número Phi o sección áurea es la división armónica de un segmento en media y extrema razón, es decir, que el segmento menor es al segmento mayor, como este es a su totalidad. De esta manera se establece una relación de tamaños con la misma proporcionalidad entre el todo, el mayor y el menor.

Esta proporción o forma de seccionar una línea se llama proporción áurea.



Aplicando la proporción áurea obtenemos la siguiente ecuación que tendremos que resolver:

$$\frac{1-x}{x} = \frac{x}{1} \Rightarrow 1-x = x^2 \Rightarrow x^2 + x - 1 = 0$$

Una de las soluciones de esta ecuación (la solución positiva) es:

$$x = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}$$

Lo sorprendente ahora es calcular el valor que se obtiene al dividir el segmento mayor entre el menor,

$$\begin{aligned} \frac{x}{1-x} &= \frac{1}{x} = \frac{2}{-1 + \sqrt{5}} = \\ \frac{2(1 + \sqrt{5})}{(-1 + \sqrt{5})(1 + \sqrt{5})} &= \frac{2(1 + \sqrt{5})}{5 - 1} = \\ \frac{2(1 + \sqrt{5})}{4} &= \frac{2(1 + \sqrt{5})}{4} = \Phi \end{aligned}$$

Es decir, la relación entre las dos partes en que dividimos el segmento es el número de oro. (<http://www.dim.uchile.cl/>, s.f.)

2.13 Patrones geométricos de la Naturaleza:

Ya se ha hablado de los patrones geométricos que rigen la naturaleza y de igual manera se han realizado algunas definiciones de las formas geométricas que serán de vital importancia para el desarrollo de la presente herramienta. Por esto es necesario profundizar un poco más sobre los patrones que rigen la naturaleza desde un punto de vista geométrico y de esta manera hacerlos más evidentes. Para esto se tomará como referencia el libro *Generación y transformación de la forma*, del

diseñador industrial Ever Patiño Mazo y la diseñadora gráfica Elsie María Arbeláez, profesores e investigadores de diseño de la Pontificia Universidad Bolivariana de la ciudad de Medellín en Colombia.

2.13.1 Línea Recta:

A diferencia que en las construcciones geométricas, las líneas rectas en la naturaleza no se presentan de manera exacta o de manera regular. Aun así encontramos una relación entre la definición geométrica y la formación de la naturaleza, si recordamos la definición sobre línea y recta en la página 59, en pocas palabras: la línea es la unión de dos puntos y la recta es la línea que marca la menor distancia entre dos puntos, se logra entender que la naturaleza la usa para llevar material directamente de un punto a otro, es decir, desde un punto “A” a un punto “B”. Por ejemplo las ramas de las plantas, que generan un desplazamiento desde el punto de surgimiento desde el tallo hasta el crecimiento de las hojas, otro ejemplo pueden ser las espinas que crecen en el tronco de un árbol o arbusto (Figura 57), estas cumplen con la función de proteger. Patiño y Arbeláez se cuestionan: ¿por qué la naturaleza no utiliza solo líneas rectas si es un modo directo de construir?, la respuesta es muy acertada: la naturaleza no siempre necesita lo mismo, otras veces necesita soportar, abarcar, minimizar, y otras funciones más, lo que va adicionándole más requerimientos a la forma. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 87)

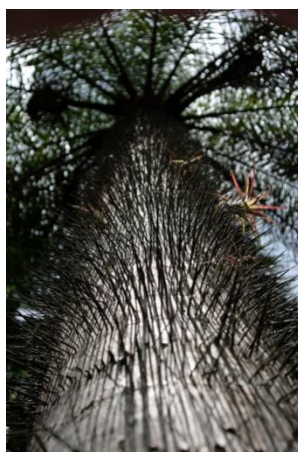


Figura 52. Palma de corozo

Imagen tomada de: <http://www.fotografia101.com/forum/index.php?topic=3384.0>

2.13.2 Polígonos:

Los polígonos se ven en muchas de las flores, la pentámera (Figura 58) es la forma geométrica que más predomina como configuración, esto le permite, en la mayoría de los casos, generar una simetría y proporción en el crecimiento de los pétalos. Otro caso es el hexágono, su configuración permite un ahorro del espacio, proporción y a la vez ayuda a obtener una estructura mucho más rígida si se agrupan de una manera seguida, como ejemplo el panal de las abejas.



Figura 53. Pentámera

Imagen tomada de: <http://floradesdehuelva.com/herramientas/diccionario/objetos/pentamera.jpg>

Los pentágonos son muy vistos en las formaciones de la naturaleza, como lo vemos en el caso anterior, el hexágono es quien más se encuentra dentro del reino mineral, siendo muy importante dentro de las formaciones naturales como es el caso de los cristales. No es posible encontrar cristales de la nieve exactamente iguales pero su composición simétrica es la misma. Son de aspecto hexagonal por la estructura cristalina del hielo que se muestra en el centro de la imagen. (Figura 59)

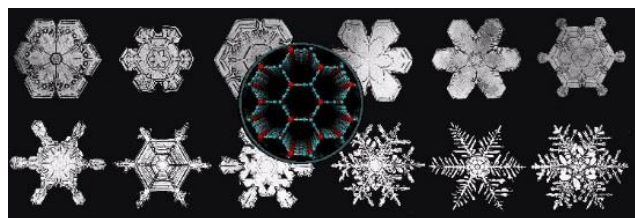


Figura 54. Cristales del hielo

Imagen tomada de: <http://www.cienciateca.com/simnieve.html>

“El hexágono es el polígono que representa más área con menos periferia, es decir, es más óptima la relación de área periferia en comparación con otros

polígonos. Esto hace que sea eficiente ocupando el espacio bidimensional, por ese mismo apilamiento de moléculas que obedece simplemente a la acción de las fuerzas actuando sobre la materia.” (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 90) Es el caso de los panales que construyen las abejas, su composición consta de hexágonos ubicados en forma seguida uno de otro, pero hay estudios que han comprobado que las abejas no saben construir hexágonos, solamente vierten un volumen de miel uno sobre otro, esto conlleva a generar la configuración hexagonal al no tener un espacio en el cual reposar las paredes y al unirse con la superficie de enseguida, genera un ángulo de 120° .

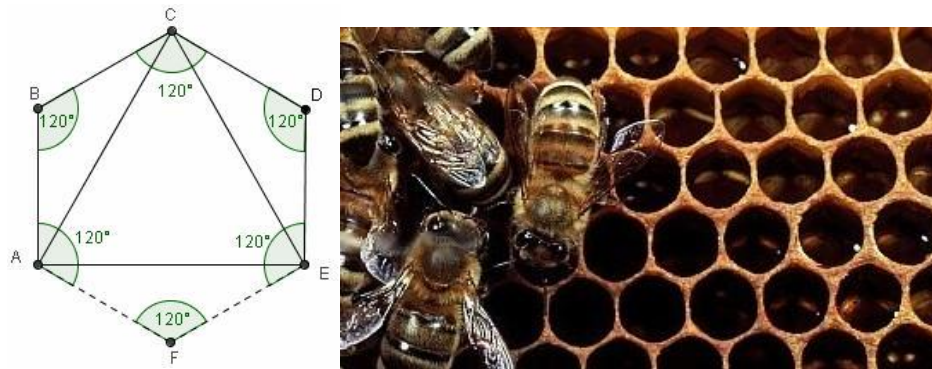


Figura 55. Ángulos del Hexágono y configuración hexagonal en un panel de abejas.

Imágenes tomadas de: Hexágono: <http://www.oma.org.ar/cabri/enu/18va1ramaysol.htm>

Panel: http://www.oac.uncor.edu/sci_01.html

2.13.3 Poliedros:

Los poliedros son difíciles de encontrar en la naturaleza viva, solo es posible encontrarlo sumado a otras configuraciones como los polígonos pentagonales. Es el caso de los Radiolarios, organismos microscópicos que viven en humedales o en agua, como los océanos.

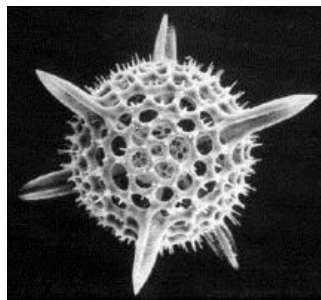


Figura 56. Exoesqueleto Radiolarios

Imagen: <http://labitacoradehumboldt.blogspot.com/2010/11/radiolarios-la-vida-convertida-en-arte.html>

2.13.4 Círculos:

Es conocido como la figura geométrica perfecta, debido a que está presente con regularidad en la naturaleza, sobre todo en la composición de las formas. La base fundamental de las construcciones morfológicas de las geometrías curvas, es el círculo. En la naturaleza aparece cuando la forma necesita suplir la necesidad de abarcar la mayor superficie con el mínimo material; al ser una figura que proporciona la menor periferia abarcando la mayor área, puede satisfacer este requisito eficientemente. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 95) Los círculos se pueden evidenciar en los anillos de los árboles (Figura 62), lo que indica su crecimiento desde un centro hacia la parte exterior, generando capas del mismo material.



Figura 57. Anillos que marcan el crecimiento de un árbol

Imagen tomada de: <http://scienceline.org/2007/03/ipcc-driscoll-treerings/>

2.13.5 Secciones de círculo, ondas y formas sinuosas:

El círculo es el encargado de formar las formas sinuosas, un ejemplo claro es en el crecimiento de las ramas de un árbol, que a simple vista parecen formas orgánicas sin un orden, pero si se observa geométricamente este tiene una composición de ondas, es decir una sección de círculos que se trasladan para formar la composición irregular. El serpenteo se evidencia en muchas plantas que al crecer van tomando esta característica con el fin de fortalecer su estructura y así mantenerse erguidas para recibir los rayos del sol. Este elemento se puede ver también en el desplazamiento de las serpientes, sus músculos se contraen y se relajan en ciclos a lo largo de cada uno de los costados del animal. Esas contracciones y extensiones

hacen que la serpiente ondule de un lado a otro. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 97)



Figura 58. Desplazamiento de una serpiente.

Imagen tomada de: <http://hiiragihq.blogspot.com/2011/07/terrain-training-tuesday-desert-part-5.html>

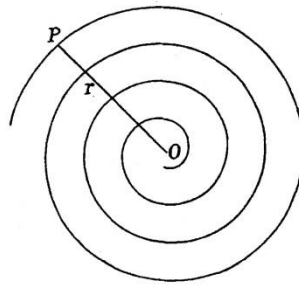
2.13.6 Espirales:

Las espirales son curvas que parten desde un punto de origen y reducen su curvatura a medida que se aleja de ese punto. En matemáticas existen dos tipos de espirales, la espiral de Arquímedes y la espiral logarítmica⁷ descrita por Descartes, estas dos espirales se encuentran presentes en la construcción de la naturaleza:

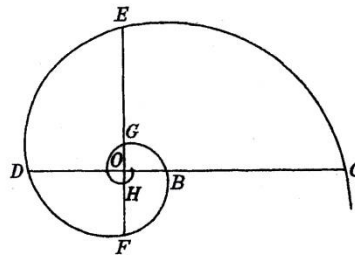
La espiral de Arquímedes presenta una distancia constante a medida que crece y la espiral logarítmica, a diferencia, aumenta exponencialmente la separación entre sus partes.

⁷ *Espiral de Arquímedes:* Esta curva es generada por la combinación de dos movimientos uniformes: uno rectilíneo y otro rotacional, simultáneamente. Es la curva que describiría un escarabajo que camina sobre una regla que rota al mismo tiempo. http://arquimedes.matem.unam.mx/PUEMAC/PUEMAC_2008/rincon/curvas/html/esparq.html

Espiral Logarítmica: Fue descrita, por primera vez, por René Descartes(1596-1648), quien un año después de la publicación de "La Géométrie", se va encontrar con la curva mecánica que responde al problema planteado por Galileo sobre la trayectoria de la caída de un cuerpo atraído por la tierra en rotación. Esta trayectoria llevó a Descartes hasta la espiral equiangular o logarítmica quien en 1638 comunicó a Mersenne sus investigaciones sobre esta curva. <http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo221.html>



Espiral de Arquímedes.



Espiral logarítmica.

Figura 59. Tipos de espirales

Imagen: "Sobre el crecimiento y la forma" (pág. 176).

Las espirales de Arquímedes se presentan cuando hay un crecimiento diferencial, pero la distancia entre sus radios está supeditada al grosor de su configuración, que resulta particularmente difícil encontrarlo en la naturaleza también regular, pero se puede ilustrar de forma más evidente en la manera como un marinero enrolla una cuerda; como la cuerda tiene un grosor homogéneo, en todos los giros de la espiral cada vuelta conserva el mismo ancho.

Las espirales logarítmicas, presentan crecimiento diferencial regular entre sus partes, pero a diferencia de la de Arquímedes, ocasiona una progresión geométrica por efecto del tipo de crecimiento exponencial.

Cada segmento de círculo es semejante a los demás y está inscrito en cuadrados que van aumentando su longitud en proporción áurea. (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 99)



Figura 60. Espiral de Arquímedes y Espiral Logarítmica

Imagen: Espiral de Arquímedes tomada de: http://es.123rf.com/photo_9615199_rollo-de-cuerda-rugosa-sobre-fondo-de-madera.html

Espiral logarítmica: Fotografía “La galaxia en la tierra” de Taariq Haneef.

2.13.7 Segmentos de espiral:

Las espirales se seccionan y de esto se generan nuevas formas que se dan en la naturaleza, como lo son los segmentos de espiral, conservan su radio de crecimiento y ayudan a crear una nueva forma y generar la de algunas en la naturaleza. Pondremos como ejemplo el pico de la guacamaya, planteado en el libro generación y transformación de la forma, “la selección natural le ha dotado de esa forma curva y de punta (al pico de la guacamaya), que le permite defenderse y alimentarse. Si por algún motivo el medio le obligara a cumplir la función de guardar, solo tendría que seguir creciendo ya que el pico es en realidad un segmento de una espiral logarítmica que ha suspendido su crecimiento.” (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, pág. 101)



Figura 61. Guacamaya.

La curvatura de su pico, si sigue creciendo podría formar una espiral

Imagen tomada de: <http://www.ojodigital.com/foro/flora-y-fauna/47087-perico.html>

2.13.8 Espirales tridimensionales:

Estas espirales son también conocidas como hélices, estas espirales cumplen en la naturaleza dos funciones básicas: la primera tiene que ver con composición de las configuraciones locales en una configuración global, es decir, si la forma del ente natural necesita una organización ascendente o descendente para cumplir una función, ya sea el recibir la luz de los rayos solares o demás, esta configuración en hélice le permite organizarse de tal manera que se cumpla suplir esta necesidad; y la segunda es con la capacidad de agarrar o atrapar.



Figura 62. Heliconias.

Su configuración local le permite recibir los rayos solares sin que cada pétalo obstaculice a otro, esto debido a su crecimiento por medio de la espiral helicoidal.

Imagen tomada de: <http://www.flickr.com/photos/mscopernic/3139070222/>

2.13.9 Cuerpos y superficies con una curvatura:

Estas formas son básicamente figuras o estructuras cilíndricas, cada una varía dependiendo de la necesidad que necesite en la naturaleza, el ejemplo más claro es el de los árboles, su tronco es cilíndrico, y a medida que va creciendo va re estructurándose, es decir, tomando otras formas que le permitan alcanzar la altura necesaria, esto es tomando otras formas, ya sea desengrosando el radio de su tronco a medida que va creciendo o buscar otra alternativa, como crecer de manera helicoidal.



Figura 63. Baobab Grandidieri:

Muy conocidos por su forma cilíndrica que le permite crecer hasta 40 metros aproximadamente.

Imagen tomada de: <http://larocaraja.blogspot.com/2012/10/baobab-grandidieri.html>

2.13.10 Dobles curvaturas positivas:

Las esferas son el ejemplo perfecto para este tipo de curvaturas, se genera por una uniformidad de las fuerzas e influencias externas. En el mundo natural se pueden ver en las burbujas de aire generadas bajo una superficie líquida o se pueden evidenciar en las gotas de rocío sobre una hoja, en la cual la gravedad no tiene mayor influencia ya que por su pequeña escala la que predomina es la fuerza de tensión superficial, la cual genera una presión hacia todas las direcciones conformando una esfera.

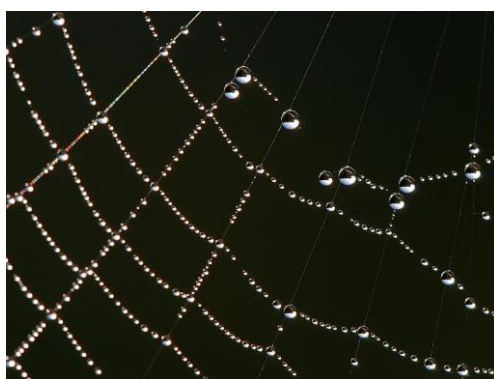
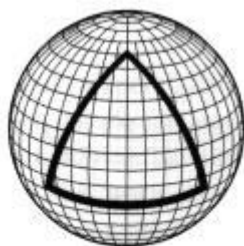


Figura 64. Gotas de rocío sobre una telaraña

Imagen tomada de: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_web_Luc_Viatour.jpg

Este principio se repite en muchos frutos, como por ejemplo la naranja, las uvas, el melón, donde su crecimiento se genera desde el interior hacia el exterior de una manera uniforme.



Curvatura positiva

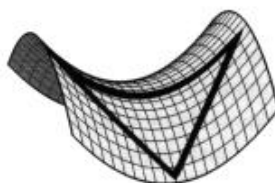
Figura 65. Curva Positiva

Imagen tomada de: <http://profeblog.es/blog/jfguirado/files/2010/11/curvatura.png>

2.13.11 Dobles curvaturas negativas:

Si recordamos bien la naturaleza, la estructura y la forma buscando el ahorro de material, la curva le brinda esta posibilidad. “La naturaleza estructura de varias maneras las superficies; una manera óptima que ha elegido la selección natural es construir sus formas con dobles curvaturas negativas. En este caso particular, no usa las curvaturas positivas porque la influencia que tiene a la mano no le permite construir fácilmente un cuenco, pero en cambio sí le permite construir este tipo de superficies curvas.” (Patiño Mazo & Arbeláez Ochoa, págs. 107 - 108)

Este tipo de curvaturas se evidencian en la forma de las hojas de las plantas que tienen una inclinación en los bordes, la gravedad obliga a la estructura a condicionar el crecimiento ya no solo con una curvatura en el plano X, Y, si no también en el plano Z.



Curvatura negativa

Figura 66. Curva negativa

Imagen tomada de: <http://profeblog.es/blog/jfguirado/files/2010/11/curvatura.png>



Figura 67. Ejemplo doble curvatura: Flor de Hibiscos

Imagen tomada de: <http://flores.culturamix.com/flores/naturais/cuidados-com-hibiscos-flores-grandes-e-coloridas>

Con estas definiciones sobre los patrones geométricos de la naturaleza, se resalta la importancia que toma la matemática dentro de la observación y el análisis de la naturaleza, con el cuál se demuestra que cada ser vivo en su composición estructural, formal y funcional es posible realizar un estudio a través de la geometría para estudios en Biónica y para ello se ha tomado la geometría descriptiva como herramienta clave en esta investigación.

3 Instrumento de Análisis Geométrico para estudios en Biónica.

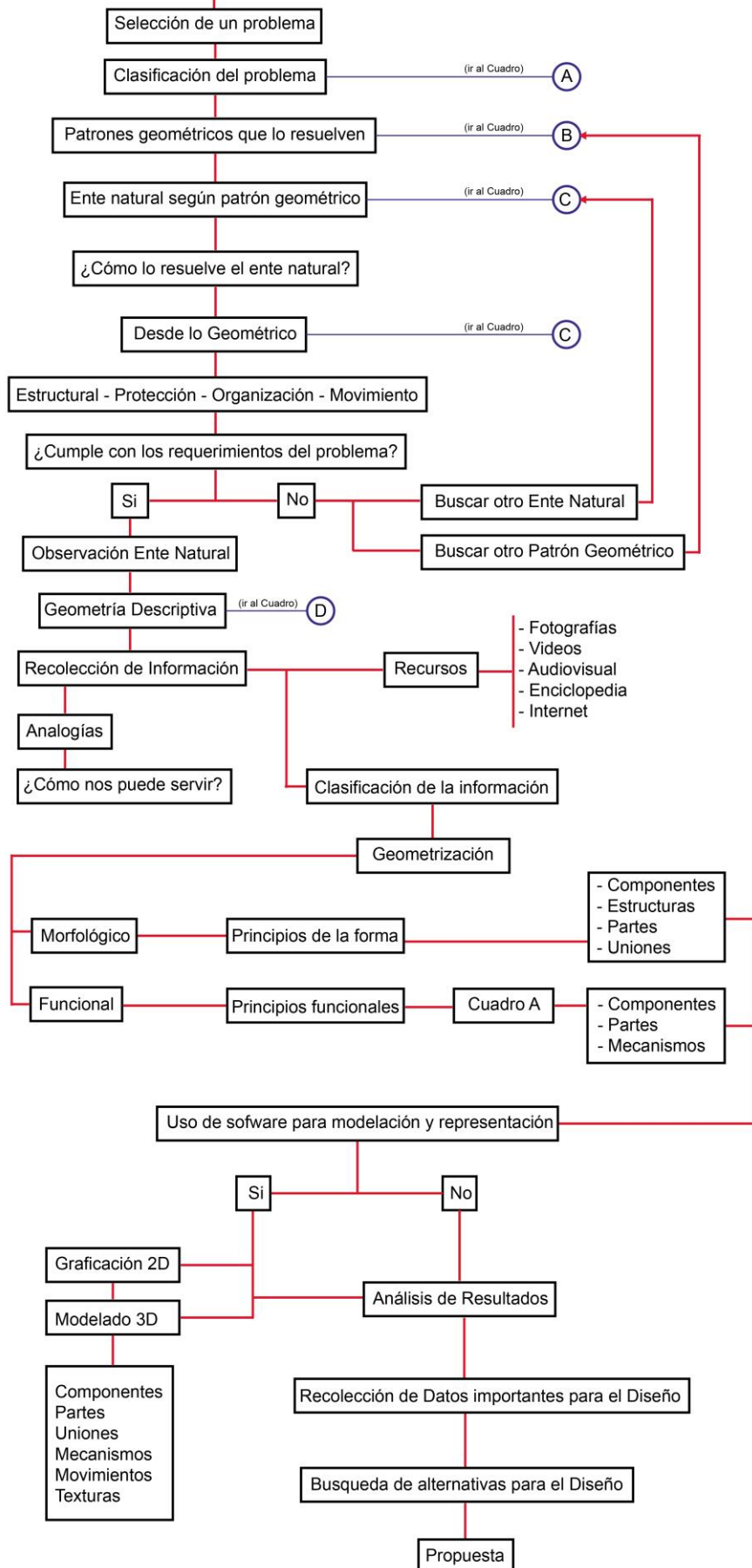
Al realizar estudios desde la Biónica es necesario establecer una serie de pasos que ayuden a determinar un orden metodológico a la investigación para resolver problemas de Diseño. Un estudio desde la biónica consiste en cuatro etapas básicas que son fundamentales:

- Primero: se debe identificar el ente natural.
- Segundo: se realiza la observación del ente para recolectar datos que aporten al resultado de la investigación.
- Tercero: se hace la respectiva descripción del ente observado.
- Y cuarto: se realiza el análisis de datos para llegar a los resultados.

Estas etapas son las bases fundamentales para el desarrollo de la propuesta de investigación, pero para realizarla es necesario vincular una especie de pasos conectores que ayudan a complementar y profundizar cada etapa con el fin de obtener unos resultados más precisos.

3.1 Esquema general de la herramienta:

BIÓNICA



El esquema general de la herramienta es un diagrama de flujo que muestra el recorrido que se debe hacer para la investigación, iniciando por la selección de un problema para el cuál se darán algunos criterios de selección, luego se clasificarán los problemas más comunes y representativos en el diseño en un cuadro (A); Luego de tener clara la problemática a intervenir, se debe remitir a un cuadro (B) en el que están configurados todos los patrones geométricos que resuelven los problemas expuestos en el cuadro (A). En el cuadro (C) se muestran todos los entes naturales a partir de los patrones y configuraciones geométricas; en el punto (D) se dan las pautas para una observación desde la geometría descriptiva para la recolección y análisis de resultados. Al clasificar la información se realiza un análisis desde lo formal o desde lo funcional, para luego tener claridad al momento llegar a las conclusiones para resolver el problema planteado.

3.1.1 Selección de un problema:

Para seleccionar un problema o problemática se debe tener claridad sobre lo que se va a investigar, es necesario tener en cuenta unos criterios de selección partiendo desde el planteamiento de lo que se va a resolver.

Los problemas en diseño frecuentemente tienen que ver con la forma, funcionalidad y con la estructura, partiendo de ello se harán algunos planteamientos para identificarlos y poder tomarlos en cuenta.

Al intervenir un problema desde el Diseño Industrial es necesario que el Diseñador busque el enfoque que requiere para su intervención, ya sea si va a desarrollar un producto a partir de una problemática, rediseñar a partir de algo ya establecido o buscar un problema y posterior solución a partir de un concepto. Para esto es necesario se tengan algunas nociones básicas como:

El análisis funcional: se debe realizar una investigación sobre cómo operativamente debe funcionar, qué es lo que tiene en mente y tener algunas nociones de lo que busca.

El análisis morfológico: Debe tener en cuenta cuáles son las relaciones que se intervienen desde la estética, el uso, el contexto y la forma de lo que va a construir.

El análisis de uso: Debe realizar un acercamiento a él o los usuarios y la interrelación con el objeto. Este punto se resuelve en conjunto con la parte operativa del objeto.

El análisis estructural: depende de la funcionalidad y el uso que se va a dar.

Para resolver un poco mejor y tener mejores nociones sobre lo que se va a intervenir, se recomienda visitar la página www.triz40.com en la cual encontrará información sobre distintos problemas a resolver a partir de unas necesidades y la página www.asknature.org en la que se encuentra información importante a cerca de la Biónica en la resolución de problemas.

- A. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON LA NECESIDAD: Los problemas se clasificarán en 4 tipos frecuentes encontrados durante la investigación: Estructura, Protección, organización o de movimiento; con esta clasificación se tienen en cuenta lo que se abarca en cuanto a forma, función y estructura:
- *Estructural:* Esta clasificación se desarrolló de acuerdo a patrones que responden a la solución de estos problemas, cuando se habla de estructura se refiere a algo que cumple la función de: Protección – Contención – Guardar – Defender – Agarrar – Atacar – Estabilizar – Autodefender – Concentrar.
 - *Protección:* Si bien esta clasificación aparece como un problema estructural, también tiene una funciones que cumplir: Contención – Guardar – Defender – Agarrar – Atacar – Dispersar – Textura – Autodefender – Empacar – Penetrar.
 - *Organización:* Dentro de esta clasificación se cumplen las funciones de: ahorro de material – Ahorro de espacio – Concentrar - Defender – Desplazar – Transportar – Aprovechar espacio – Dispersar – Estabilizar – Empacar – Ocupar Espacio.
 - *Movimiento:* Dentro de esta clasificación se cumplen las funciones de: Permitir movilidad – Desplazar – Dispersar – Agarrar — Aumentar fricción – Colonizar – Ocupar espacio – Crecimiento – Incrementar – Comunicar – Textura.

Existen algunas funciones que se repiten en una o más clasificaciones, como es el caso de “defender” que aparece en estructural, en protección y en organización, aquí el defender responde al tipo de necesidad que se requiera. Como por ejemplo, en el caso de necesitar una estructura que defienda cierto elemento de una caída; o en caso de necesitar proteger algún elemento de otro; o en caso de necesitarse un ordenamiento para poder defender algún elemento, etc.

B. PATRONES GEOMETRICOS: La definición de los patrones geométricos está vinculada con el tipo de problema anteriormente clasificado. El siguiente listado muestra que para cada problema planteado, existe un patrón geométrico que lo resuelve:

- *Esferas y formas esferoides*: su función dentro de la naturaleza es proteger – contener – estabilizar – desplazar – autodefender.
- *Hexágonos y Pentágonos*: Su función dentro de la naturaleza es auto organizar – ocupar espacio – ahorrar material – proteger.
- *Espiral*: su función dentro de la naturaleza es: empacar – guardar – ahorro de espacio – permitir movilidad – crecimiento - incremento.
- *Hélice*: Su función dentro de la naturaleza es: Agarrar – aumentar fricción – mover – crecimiento.
- *Puntas y Conos*: Su función dentro de la naturaleza es: Penetrar – concentrar – permitir movilidad – dispersar – defender – atacar.
- *Ondas - formas sinuosas y serpenteantes*: Su función dentro de la naturaleza es: Comunicar – desplazar – mover – ocupar espacio.
- *Fractales, Ramificaciones y explosiones*: Su función dentro de la naturaleza es: Colonizar – transportar – ocupar espacio – orden – crecimiento.

De igual manera hay funciones que se repiten en varios patrones geométricos, esto da opciones en cuanto al criterio de selección, partiendo de la idea que una problemática puede ser resuelta desde una o más patrones geométricos.

C. RESPUESTA DE ENTE NATURAL SEGÚN PATRÓN GEOMÉTRICO: Para cada necesidad la naturaleza tiene una respuesta vinculada con la geometría.

Al clasificar los tipos de geometrías presentes en la naturaleza de acuerdo a su curvatura (página 52), recta y plana, se tiene que:

En las geometrías rectas se encuentran: Puntas y Conos; Fractales y Ramificaciones; Hexágonos y Pentágonos. Estas construcciones geométricas están determinadas por líneas, polígonos, cuerpos y poliedros.

En las geometrías curvas están: Esferas y formas esferoides; Hexágonos y Pentágonos; Espirales; Hélices; Ondas y formas sinuosas y serpenteantes y sus construcciones geométricas están determinadas por círculos, óvalos y elipses, espirales, cuerpos o superficies con una curvatura, dobles curvaturas y poliedros irregulares.

En este punto se mostrarán nociones básicas de identificación de los posibles entes naturales, para ello se tendrá en cuenta lo expuesto en la página 74 sobre los patrones geométricos de la naturaleza.

D. ANÁLISIS DESDE LO GEOMÉTRICO: Para llevar a cabo este análisis es necesario saber cómo se realiza la función, es decir, dependiendo de la clasificación del problema (si es estructural, de protección, de organización o de movimiento), se debe indagar ¿Cómo lo hace? Este punto nos remite de nuevo a las opciones del punto A. en el que se clasifican las funciones que en este punto son necesidades por resolver.

E. GEOMETRÍA DESCRIPTIVA: Como ya se vio en la página 64 sobre su importancia, para este trabajo de investigación se tomará la geometría descriptiva como herramienta de observación para lograr percibir en detalle cada uno de los componentes, estructuras, partes del ente investigado. Se tomarán en cuenta los sistemas de proyección (ortogonal, oblicua, cónica), la proyección diédrica y las perspectivas de observación desde 1, 2 y 3 puntos de fuga.

4 Formato de investigación

4.1 FORMATO I

SELECCIÓN DEL PROBLEMA

1. Descripción del problema

Seleccione un problema de acuerdo a:

- ☐ Realizar un producto a partir de una problemática o necesidad planteada.
- ☐ Rediseño de un objeto o producto ya establecido.

Se recomienda visitar la página www.triz40.com en la que encontrará información sobre distintos problemas para resolver a partir de necesidades/contradicciones determinadas.

Descripción detallada del problema:

Descripción de los alcances del problema. Describa cuáles son los alcances que se plantean en el problema o problemática:

Requerimientos y determinantes

Describa cuáles son los requerimientos y cuáles son las determinantes del problema:

REQUERIMIENTOS	DETERMINANTES

4.2 FORMATO II

2. CLASIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE ACUERDO A LA NECESIDAD

Clasifique la problemática de acuerdo a la necesidad establecida en el cuadro (A)

Seleccione una o más opciones y especifique cuál es la necesidad:

- Estructural: ___ ¿Cuál es la necesidad?

- Protección: ___ ¿Cuál es la necesidad?

- Organización: ___ ¿Cuál es la necesidad?

- Movimiento: ___ ¿Cuál es la necesidad?

3. PATRÓN GEOMÉTRICO

Relacione el patrón geométrico que lo resuelve de acuerdo a la necesidad del punto 2. Buscar y relacionar de acuerdo al cuadro (B).

Seleccione una o más opciones:

- ___ Esferas y formas esferoides.
- ___ Hexágonos.
- ___ Espiral.
- ___ Hélice.
- ___ Puntas y Conos.
- ___ Ondas – Formas sinuosas y serpenteantes.
- ___ Fractales.
-

Cuadro (A) Clasificación del problema de acuerdo a la necesidad: Listado de problemas resueltos por medio de la Naturaleza. (Selecciones la o las problemáticas de acuerdo a la necesidad)

Cuadro (B) Patrones geométricos que resuelven: Patrones geométricos de acuerdo a su función. (Seleccione una o más opciones de acuerdo a la necesidad)

A		B	
PROBLEMÁTICA	NECESIDAD	PATRÓN GEOMÉTRICO	FUNCIÓN
Estructural	- Agarrar - Atacar - Autodefender - Concentrar - Contener - Defender - Estabilizar - Guardar - Proteger	Esferas - formas esferoides	- Autodefender - Contener - Desplazar - Estabilizar - Proteger - Empacar
Protección	- Agarrar - Atacar - Autodefender - Contener - Defender - Dispersar - Empacar - Guardar - Textura - Penetrar	Hexágonos - Pentágonos	- Ahorro de material - Auto organizar - Ocupar Espacio - Proteger
Organización	- Ahorro de espacio - Ahorro de material - Aprovechar espacio - Concentrar - Defender - Desplazar - Dispersar - Empacar - Estabilizar - Ocupar espacio - Transportar	Espiral	- Ahorro espacio - Crecimiento - Empacar - Guardar - Permitir movilidad
Movimiento	- Agarrar - Aumentar fricción - Colonizar - Comunicar - Crecimiento - Desplazar - Dispersar - Incremento - Ocupar espacio - Permitir movilidad - Textura	Hélice	- Agarrar - Aumentar fricción - Crecimiento - Mover
		Puntas - Conos	- Atacar - Concentrar - Defender - Dispersar - Penetrar - Permitir movilidad
		Ondas - Formas sinuosas y sespenteantes	- Comunicar - Crecimiento - Ocupar Espacio - Orden - Transportar

4.3 FORMATO III

4. SEGÚN PATRÓN GEOMÉTRICO:

Describa la necesidad y el patrón o patrones geométricos que lo resuelven, de acuerdo a los puntos 2 y 3 del formato II:

- Necesidad: _____ Patrón Geométrico: _____
- Necesidad: _____ Patrón Geométrico: _____
- Necesidad: _____ Patrón Geométrico: _____
- Necesidad: _____ Patrón Geométrico: _____

Seleccione la o las características principales para identificar el Ente Natural, de acuerdo al cuadro (C)

--

5. ¿CÓMO LO RESUELVE EL ENTE NATURAL?

Seleccione el tipo de Geometría a estudiar, según el cuadro (C)

- Geometría Curva ____
- Geometría Recta ____

Especifique las características de acuerdo a la geometría:

Cuadro (c) Ente Natural según el patrón geométrico: Características principales de los Entes Naturales para su identificación.



GEOMETRÍAS	PATRÓN GEOMÉTRICO	CARACTERÍSTICAS
RECTA	- Puntas y Conos. - Fractales y Ramificaciones. - Hexágonos y Pentágonos.	- Líneas. - Polígonos. - Cuerpos. - Poliedros.
CURVA	- Esferas y formas Esferoides. - Hexágonos y Pentágonos. - Espiral. - Hélice. - Ondas y formas Sinuosas y Serpenteantes.	- Círculos. - Óvalos. - Espirales. - Cuerpos o superficies con una curvatura. - Dobles curvaturas. - Poliedros Irregulares.

¿Según el patrón geométrico, cómo lo podría resolver?

Realice un listado de posibles soluciones que encuentre desde el patrón geométrico:

- Estructural:

- Protección:

- Organización:

- Movimiento:

4.4 FORMATO IV

6. BÚSQUEDA DEL ENTE NATURAL

Búsqueda del Ente Natural según su Geometría

Seleccione un Reino Natural a observar:

☐ Animal

☐ Vegetal

☐ Monera y Protista

☐ Fungi (hongos)

Listado de posibles Entes Naturales:

Realice una lista de los entes naturales seleccionados de acuerdo a la geometría explorada y destaque las características vistas que puedan aportar a la investigación. Se recomienda consultar listados de posibles entes en material bibliográfico o en páginas web como: www.asknature.org y www.triz40.com

Ente Natural	Característica

Seleccione el Ente Natural con mayor probabilidad de aproximación a solucionar lo requerido:

(Si ningún ente seleccionado cumple con los requerimientos de la investigación, por favor volver a los pasos (2) Selección de un Ente Natural, o (3) Patrón Geométrico)

7. SELECCIÓN DEL ENTE NATURAL

Especifique a mayor profundidad posible el ente natural seleccionado:

Nombre común: _____

Phylum: _____

Clase: _____

Orden: _____

Familia: _____

Genero: _____

Especie: _____

Rango altitudinal: _____

Tipo de reproducción: _____

Tipo de alimentación: _____

4.5 FORMATO V

8. OBSERVACIÓN

Para realizar la observación tener en cuenta las recomendaciones del cuadro (D)

Descripción formal del ente:

Vista Superior:	Vista Inferior:
Vista Frontal:	Vista Atrás:
Vista Lateral Derecha:	Vista Lateral Izquierda:

Isometría:	Explosión:
Componentes y Partes:	Texturas:
Colores:	Dimensiones:

4.6 FORMATO VI

9. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Responda lo siguiente de acuerdo a la(s) problemática(s) o necesidad(es). Para ello, además de la observación es necesario contar con otros recursos como: fotografías, videos, audiovisuales, enciclopedias o cualquier medio manual o electrónico.

Estructura: Identifique los elementos estructurales de importancia del Ente para el desarrollo de la investigación de acuerdo a la necesidad (paso 2).

Protección: Identifique los elementos de protección de importancia del Ente para el desarrollo de la investigación de acuerdo a la necesidad (paso 2).

Organización: Identifique los elementos de organización de importancia del Ente para el desarrollo de la investigación de acuerdo a la necesidad (paso 2).

Movimiento: Identifique los elementos de movimiento de importancia del Ente para el desarrollo de la investigación de acuerdo a la necesidad (paso 2).

10. ANALOGÍAS

De acuerdo a la recolección de información relacione los elementos observados con los objetivos de la investigación para tener un primer acercamiento a los resultados.

Estructura: relacione un elemento estructural de la observación realizada al Ente Natural con una respuesta a una problemática de la investigación y describa cuál es su función.

Protección: Relacione un elemento de protección de la observación realizada al Ente Natural con una respuesta a una problemática de la investigación y describa cuál es su función.

Organización: Relacione un elemento de organización de la observación realizada al Ente Natural con una respuesta a una problemática de la investigación y describa cuál es su función.

Movimiento: Relacione un elemento de movimiento de la observación realizada al Ente Natural con una respuesta a una problemática de la investigación y describa cuál es su función.

4.7 FORMATO VII

11. CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOMETRIZACIÓN

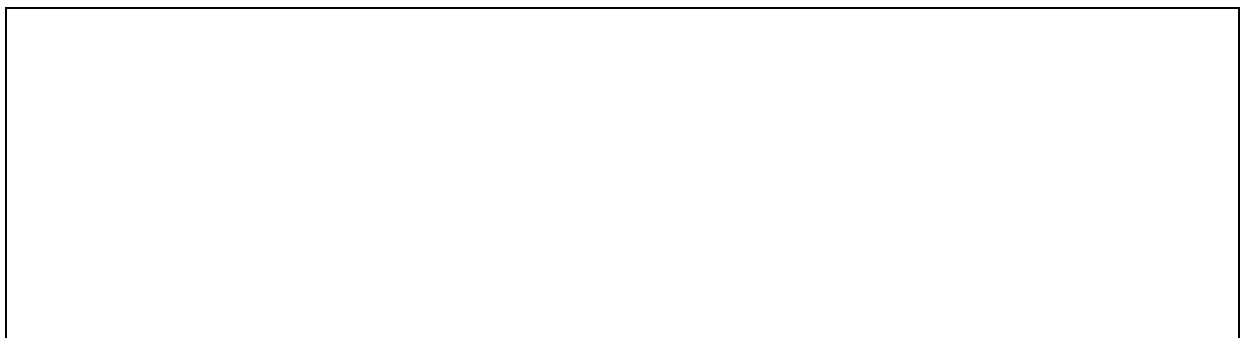
Geometrizan los componentes o partes seleccionadas del Ente observado.

Morfología: Principios de la forma.

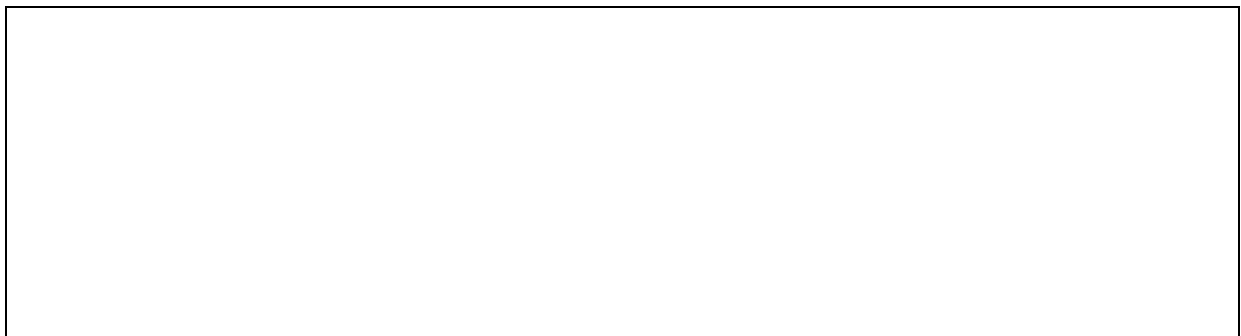
Componentes: ¿Cuáles componentes formales hacen parte de esta función?



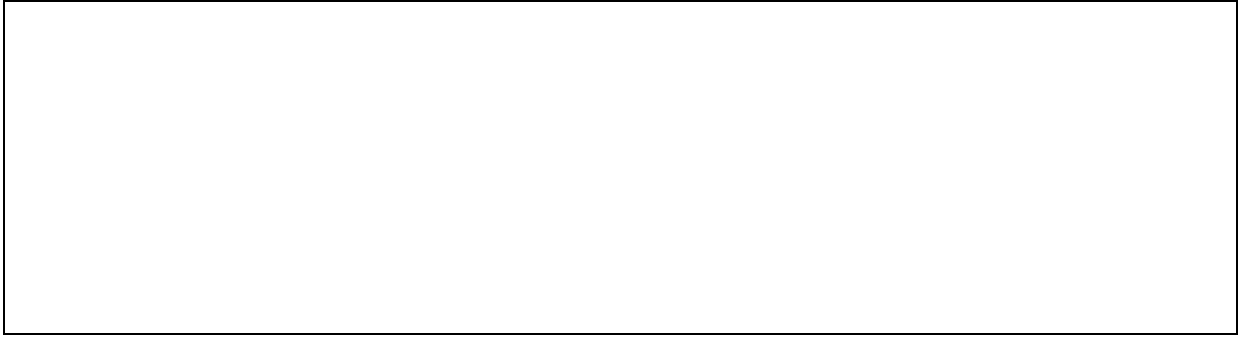
Estructura: ¿Cómo está organizada o distribuida su estructura para que cumpla la tarea requerida?



Partes: ¿Cuáles son las partes del Ente que intervienen para llevar a cabo su tarea?



Uniones: ¿Cuales son y cómo se comportan las uniones?

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for handwritten notes or diagrams related to the question about unions.

Proporciones: registrar los datos sobre las proporciones de cada uno de los componentes.

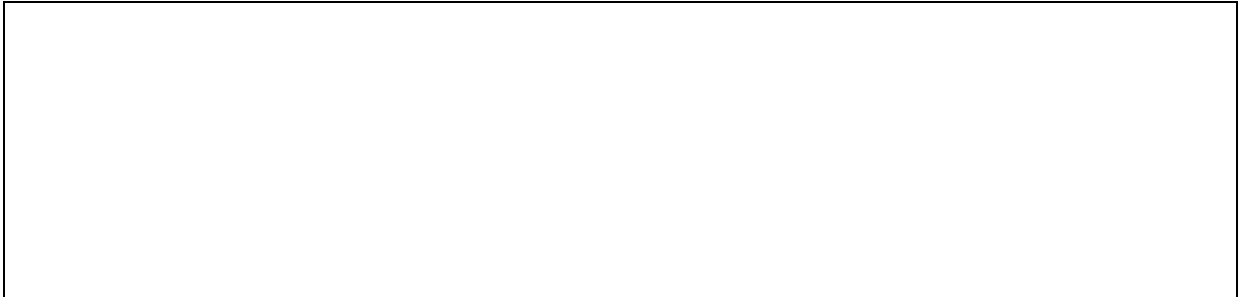
A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for handwritten notes or diagrams related to the question about proportions.

GEOMETRIZACIÓN:

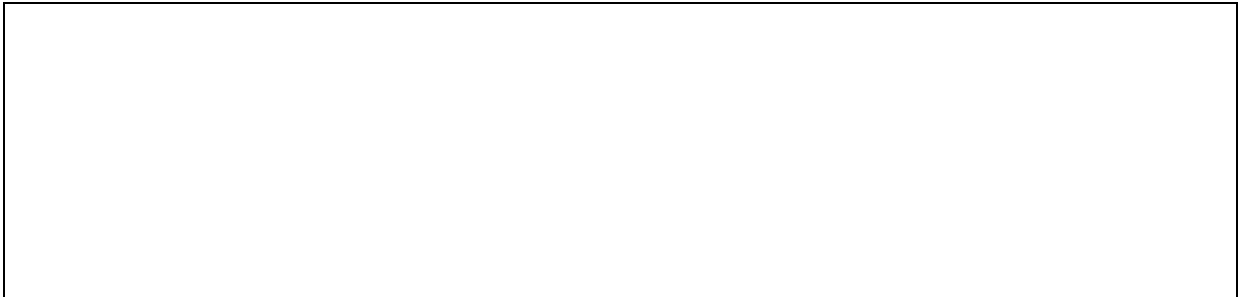
Geometrizan los componentes o partes seleccionadas del Ente observado.

Función: Principios funcionales.

Componentes:



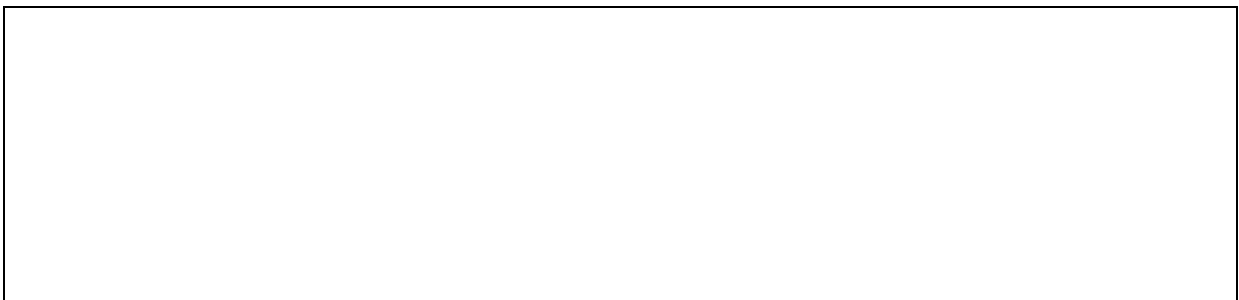
Partes:



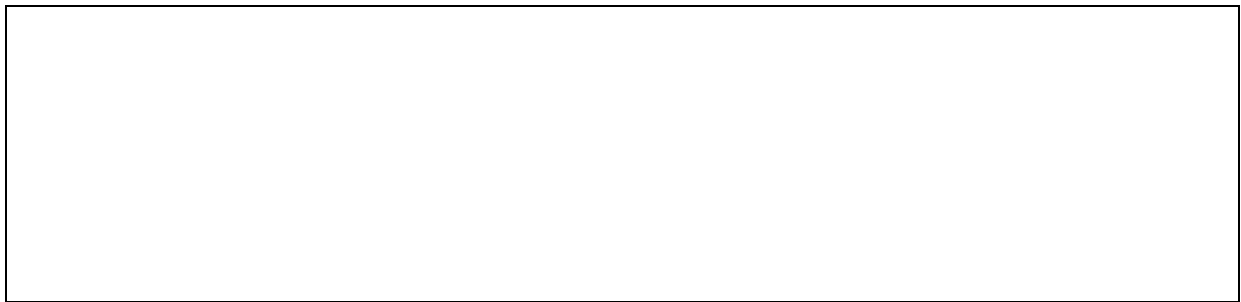
Mecanismos:



Proporciones:



Ángulos de movimiento:

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for drawing or writing related to movement angles.

Ángulos de rotación:

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for drawing or writing related to rotation angles.

4.8 FORMATO VIII (opcional)

12. MODELACION

Realizar modelación para simular el movimiento, probar la resistencia, comparar proporciones, etc.

GRAFICACIÓN 2D: Partes – Componentes – Estructuras – Proporciones – Texturas – Simetrías.

MODELADO 3D: Componentes – Partes – Uniones – Mecanismos – Texturas – Proporciones

Comprobación de mecanismos: Funcionamiento – Ángulos – Estructuras – Movimientos – Prolongación de movimiento.

4.9 FORMATO IX

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Sintetizar los datos recolectados importantes para el diseño. Escribir los resultados encontrados en la investigación y describir cómo lo resuelve el Ente Natural:

Estructural:

--

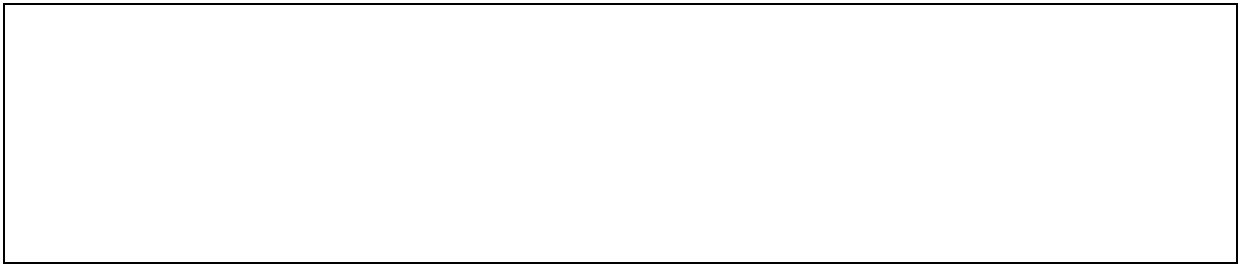
Protección:

--

Organización:

--

Movimiento:



14. Realice una pequeña síntesis general sobre el paso a paso de cómo el ente Natural resuelve la problemática planteada:

4.10 FORMATO X

15. BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO

Interpretación de la información recolectada:

¿Qué aportes deja la investigación del Ente Natural a la problemática planteada?



Describe las ideas para aplicar los datos recolectados en la investigación a la resolución del problema planteado:



ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO:

Describe las alternativas de diseño teniendo en cuenta los requerimientos y determinantes planteados al inicio de la investigación.

Alternativa N° ____

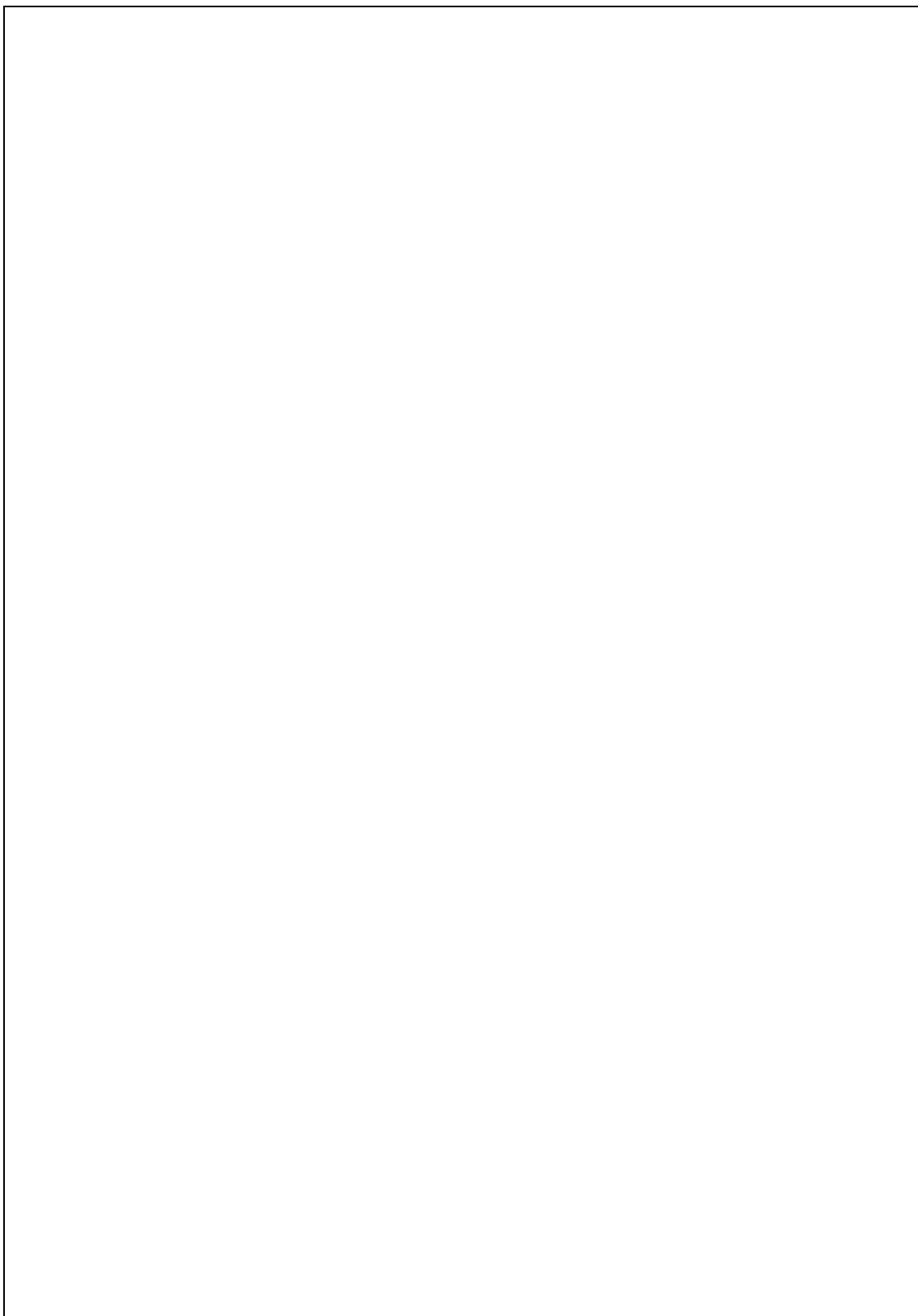
Descripción Estructural (partes, componentes, tipo de estructura):

Descripción Funcional (componentes, mecanismos, ángulos de movimiento, frecuencias de movimiento):

Descripción del Uso (formas de uso, metodologías de uso):

Descripción Morfológica (partes, componentes, color, textura, material):

16. BOCETACIÓN



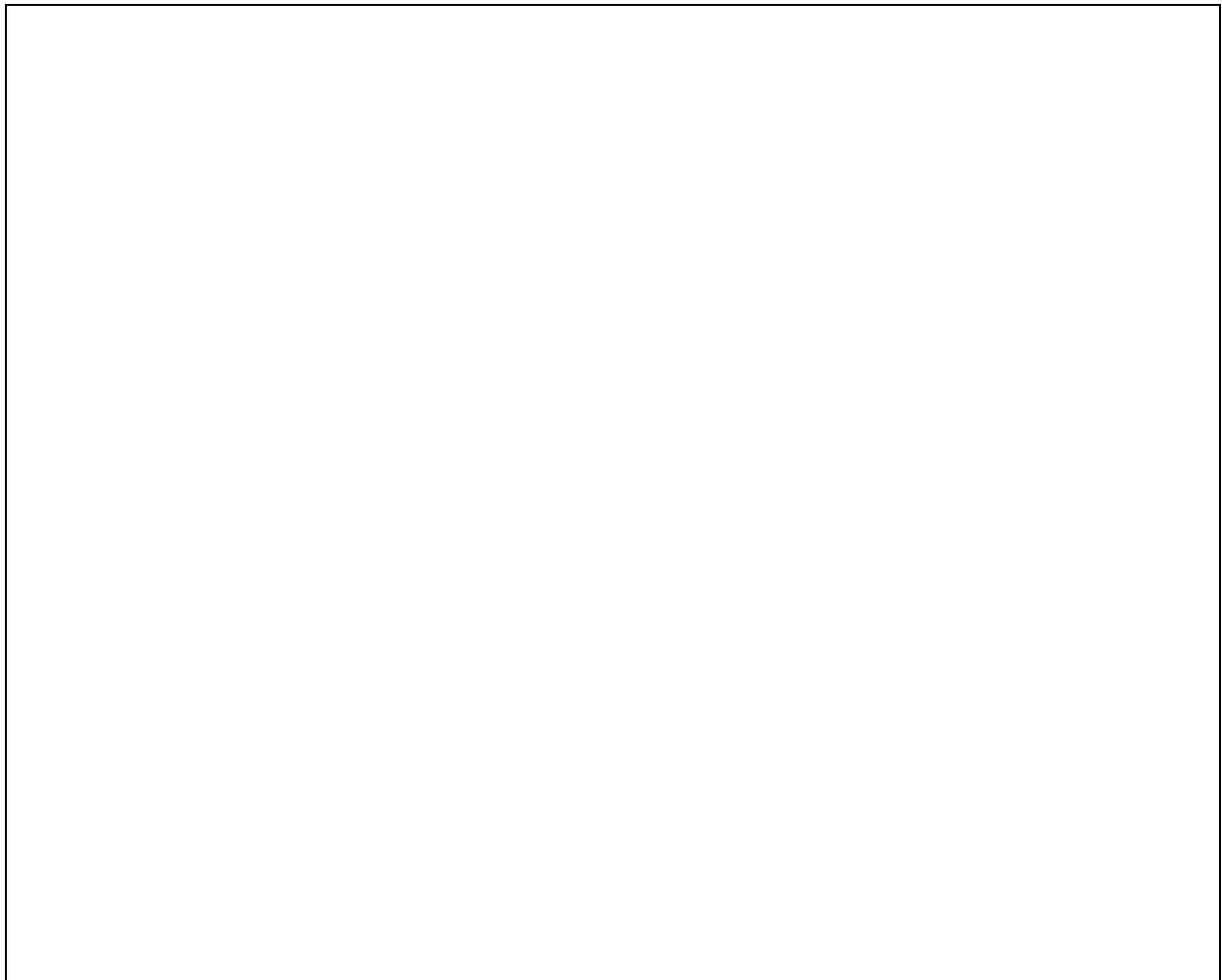
4.11 FORMATO XI

17. PROPUESTA

Presentación de la propuesta:

- Representación 2D: Colores, texturas, infografías.
- Modelación 3D: Partes, componentes, funcionamiento, mecanismos.
- Maquetación: Escala, materiales, mecanismos, proporciones.
- Prototipo: Escala, materiales, mecanismos, proporciones.
- Comprobación: Estructuras, mecanismos, niveles.

Alcances de la propuesta:

A large empty rectangular box with a thin black border, intended for a drawing or detailed description of the proposal's scope.

5 Manual de uso

El Instrumento de Análisis Geométrico para Estudios en Biónica es una herramienta que permite la recolección de datos importantes y en mayor detalle de Entes Naturales a través de la geometría para dar soluciones de diseño.

La geometría ha sido tomada como herramienta de importancia dentro de este Instrumento debido a que su acercamiento a la descripción del mundo tangible es más exacta y entendible para quien haga uso de dicha herramienta.

Para la investigación se han clasificado una serie de problemáticas que convergen en el diseño, cuya respuesta se ha encontrado por medio de patrones geométricos en la naturaleza.

El presente Instrumento contiene guías, las cuales van de manera secuencial para poder facilitar el modo de uso y cuentan con unas tablas o cuadros que aportan información con la que se validan y soportan los pasos a seguir.

El Instrumento viene distribuido por formatos, del I al XI, clasificado de la siguiente manera:

- Formato I: Selección del problema.
- Formato II: Clasificación del problema de acuerdo a la necesidad.
- Formato III: Según el patrón geométrico.
- Formato IV: Búsqueda del Ente Natural.
- Formato V: Observación
- Formato VI: Recolección de información.
- Formato VII: Clasificación de la información.
- Formato VIII: Modelación.
- Formato IX: Análisis de resultados.
- Formato X: Búsqueda de alternativas para el diseño.
- Formato XI: Propuesta.

Las 5 tablas o cuadros de apoyo para el desarrollo de la investigación por medio de la herramienta son:

- A- Listado de problemas resueltos a través de la naturaleza.
- B- Patrones geométricos de acuerdo a su función.
- C- Ente natural según patrón geométrico.
- D- Geometría Descriptiva.

5.1 FORMATO I

Selección del problema

1. Descripción del problema:

En este primer punto se establecen los criterios de selección relacionada con la descripción e identificación de la problemática. Establecer aquellos requerimientos importantes dentro de la investigación y las determinantes correspondientes, para ello se debe tener en cuenta qué tipo de intervención se va a realizar:

Realizar un producto a partir de una problemática o necesidad planteada.

Rediseñar un objeto o producto ya establecido.

Para esto se recomienda visitar la página www.triz40.com, en donde encontrará información sobre distintos problemas a resolver a partir de necesidades/contradicciones determinadas.

5.2 FORMATO II

Clasificación del problema de acuerdo a la necesidad

2. LISTADO DE PROBLEMAS RESUELTOS POR MEDIO DE LA NATURALEZA.

En la problemática se contempla lo relacionado a la estructura, forma y función, en cuatro definiciones: Estructura – Protección – Organización – Movimiento.

De cada problemática se desglosan algunas necesidades que van de acuerdo a lo que se necesite resolver.

Escoja la problemática que le corresponde a su investigación y seleccione una o más necesidades que se contemplen en su problemática. *Ver Cuadro (A)*

Patrón Geométrico

CUADRO B

3. PATRONES GEOMÉTRICOS DE ACUERDO A SU FUNCIÓN.

La clasificación de la función se da según la necesidad que se va a resolver de acuerdo a la tabla (A). Cada función está contemplada en uno o más patrones o formas geométricas.

Seleccione una o más opciones de acuerdo a la necesidad. *Ver cuadro (B)*

A		B	
PROBLEMÁTICA	NECESIDAD	PATRÓN GEOMÉTRICO	FUNCIÓN
Estructural	- Agarrar - Atacar - Autodefender - Concentrar - Contener - Defender - Estabilizar - Guardar - Proteger	Esferas - formas esferoides	- Autodefender - Contener - Desplazar - Estabilizar - Proteger - Empacar
Protección	- Agarrar - Atacar - Autodefender - Contener - Defender - Dispersar - Empacar - Guardar - Textura - Penetrar	Hexágonos - Pentágonos	- Ahorro de material - Auto organizar - Ocupar Espacio - Proteger
Organización	- Ahorro de espacio - Ahorro de material - Aprovechar espacio - Concentrar - Defender - Desplazar - Dispersar - Empacar - Estabilizar - Ocupar espacio - Transportar	Espiral	- Ahorro espacio - Crecimiento - Empacar - Guardar - Permitir movilidad
Movimiento	- Agarrar - Aumentar fricción - Colonizar - Comunicar - Crecimiento - Desplazar - Dispersar - Incremento - Ocupar espacio - Permitir movilidad - Textura	Hélice	- Agarrar - Aumentar fricción - Crecimiento - Mover
		Puntas - Conos	- Atacar - Concentrar - Defender - Dispersar - Penetrar - Permitir movilidad
		Ondas - Formas sinuosas y sespenteantes	- Comunicar - Crecimiento - Ocupar Espacio - Orden - Transportar

Tabla 5 Cuadro A –Cuadro B

5.3 FORMATO III

Según patrón Geométrico

4. ENTE NATURAL SEGÚN EL PATRÓN GEOMÉTRICO

Características principales de los Entes Naturales para su identificación:

En la primera columna se identifica el tipo de geometría a estudiar, en la segunda columna están clasificados los patrones geométricos del cuadro (B) y en la tercera columna están las características de cada patrón geométrico a estudiar.

En este punto se debe describir la necesidad y el patrón o los patrones geométricos que lo resuelven, de acuerdo a los puntos 2 y 3 del Formato II.

De igual manera para el punto 5 es necesario mirar el tipo de geometría que se va a seleccionar, de acuerdo al punto 4. Geometría Recta o Geometría Curva. Ver *cuadro (C)*

C

GEOMETRÍAS	PATRÓN GEOMÉTRICO	CARACTERÍSTICAS
RECTA	- Puntas y Conos. - Fractales y Ramificaciones. - Hexágonos y Pentágonos.	- Líneas. - Polígonos. - Cuerpos. - Poliedros.
CURVA	- Esferas y formas Esferoides. - Hexágonos y Pentágonos. - Espiral. - Hélice. - Ondas y formas Sinuosas y Serpenteantes.	- Círculos. - Óvalos. - Espirales. - Cuerpos o superficies con una curvatura. - Dobles curvaturas. - Poliedros Irregulares.

Tabla 6 Cuadro C

IDENTIFICACIÓN DE LAS GEOMETRÍAS

A continuación se expondrán algunas ideas y formas para tener nociones para lograr identificar las geometrías en la naturaleza:

GEOMETRIAS RECTAS

- Líneas: En la naturaleza su configuración no es literalmente una línea, solo toma las propiedades para construir una forma; trazan una longitud, una distancia, una estructura o componen cualquier forma cerrada o abierta de la naturaleza. La línea se encuentra casi en todas las formas no curvas, por ejemplo, se pueden encontrar en las espinas, en las ramas y raíces de los árboles o plantas, en las venas de las hojas, en las formaciones esqueléticas de los animales y humanos, etc.
- Polígonos: Estas formas pueden ser cerradas o abiertas y se encuentran en construcciones tanto planas como tridimensionales, se pueden ver en mayor parte como formaciones triangulares, pentagonales o hexagonales, como por ejemplo en las formaciones de las flores, en el caparazón de las tortugas, en los paneles de abejas, etc.
- Cuerpos: Todas las construcciones poligonales que forman la naturaleza, ejemplo de ello es el caparazón de las tortugas.
- Poliedros: la mayoría de las formaciones poliédricas de la naturaleza se encuentran en entes microscópicos no siendo posible su identificación sin ayuda técnica (microscopio).

Configuración de la geometría recta propuesta por el tesista:

GEOMETRÍA RECTA

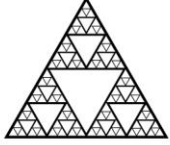
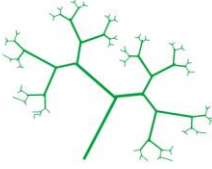
Patrón Geométrico	Configuración Geométrica	Configuración Natural
<i>Puntas y Conos</i>		
<i>Fractales y Ramificaciones</i>		
<i>Hexágonos y Pentágonos</i>		

Tabla 7 Geometría Recta

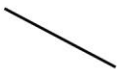
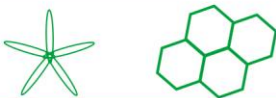
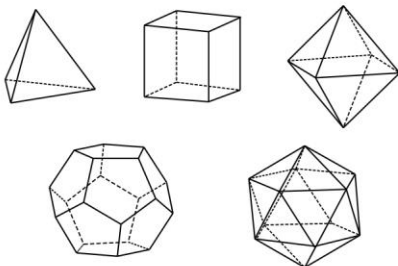
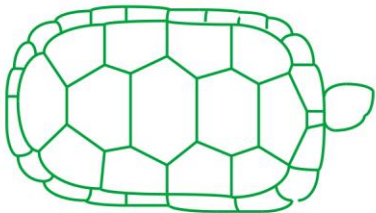
Características	Configuración Geométrica	Configuración Natural
<i>Líneas</i>		
<i>Polígonos</i>		
<i>Poliedros</i>		

Tabla 8 Geometría Recta

GEOMETRIAS CURVAS:

- Círculos: Presentes en muchas formaciones de la naturaleza, se pueden ver en formas cilíndricas de los troncos de las plantas y árboles, hasta en composiciones circulares de flores u hojas como el girasol, etc.
- Óvalos: Similares a las formaciones circulares, también se pueden ver en la forma de los huevos, en las formaciones de hojas, etc.
- Espirales: Geométricamente existen dos tipos, la logarítmica que tiene un crecimiento exponencial, incrementa el radio a medida que forma la curva, se puede ver en las conchas de caracol, en la flor del girasol, en las formaciones de la cascara de la piña, etc.; y la de Arquímedes, que en su crecimiento aumenta el radio de una manera más cerrada y se puede encontrar en algunas enredaderas y bejucos.
- Cuerpos o superficies con una curvatura: Formaciones que se pueden ver con curvas en un solo sentido, un ejemplo de ellos son las hojas de las plantas.
- Dobles curvaturas: Cuerpos que tienen dobles curvaturas, por ejemplo los pétalos de las flores, las formas esferoides, etc.

Poliedros irregulares: Tienen una irregularidad en las formas, similares a los cuerpos o superficies con una curvatura.

Configuración de la geometría curva según el tesista:

GEOMETRÍA CURVA

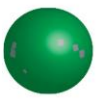
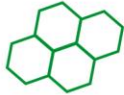
Patron Geometrico	Configuracion Geométrica	Configuracion Natural
<i>Esferas y formas esferoides</i>		 
<i>Hexágonos y Pentágonos</i>	 	 
<i>Espiral</i>	 	  
<i>Hélice</i>		 
<i>Ondas y formas sinuosas y serpenteantes</i>	 	  

Tabla 9 Geometría Curva

GEOMETRÍA CURVA

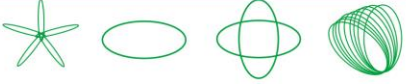
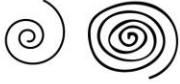
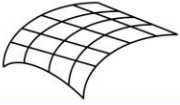
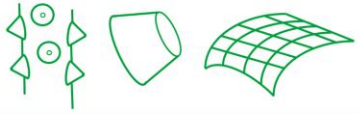
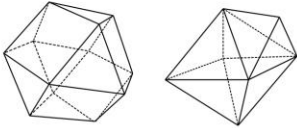
Características	Configuración Geométrica	Configuración Natural
<i>Círculos</i>		
<i>Óvalos</i>		
<i>Espirales</i>		
<i>Cuerpos o superficies con una curvatura</i>		
<i>Dobles curvaturas</i>		
<i>Poliedros irregulares</i>		

Tabla 10 Geometría Curva

5.4 FORMATO IV

6. BÚSQUEDA DEL ENTE NATURAL.

En este punto se debe seleccionar un Reino natural para realizar la observación: Animal, Vegetal, Monera y Protista, Fungi, que equivale a los Hongos.

Para este punto se recomienda visitar las páginas www.triz40.com y www.asknature.org, además de todo material bibliográfico que se tenga al alcance para poder realizar la selección.

7. SELECCIÓN DEL ENTE NATURAL.

Ya establecida la búsqueda, es necesario poner la información a mayor profundidad del Ente Natural seleccionado.

5.5 FORMATO V

8. OBSERVACIÓN.

Graficar en cada una de las casillas correspondientes las respectivas vistas del ente observado,

Vistas: Superior, inferior, frontal, atrás, lateral derecha, lateral izquierda, isometría, explosión, componentes de las partes, las texturas, colores y tomar datos de las respectivas dimensiones.

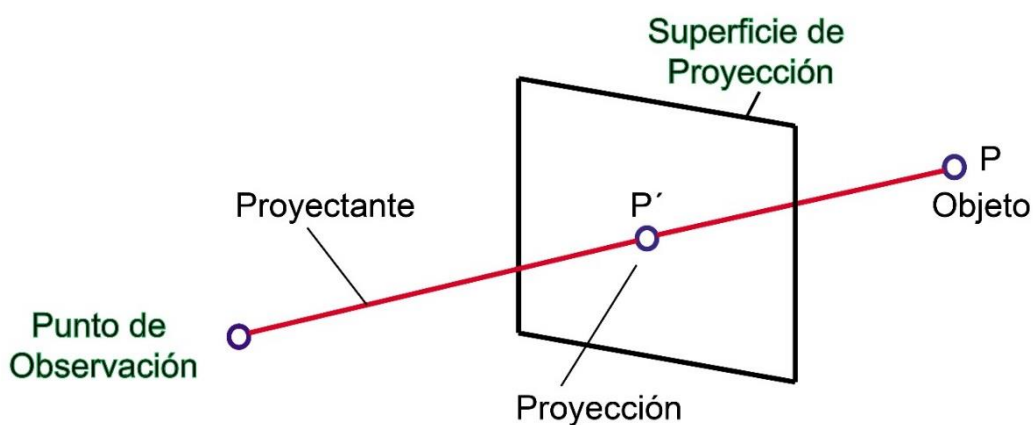
MODELO DE OBSERVACIÓN (*Cuadro D.*)

Para este modelo de observación se recomienda tener en cuenta nociones básicas sobre la geometría descriptiva para lograr entender los pasos a seguir.

En la geometría descriptiva se comprenden algunas definiciones o referencias que ayudan a identificar el modelo de observación.

La geometría descriptiva consta de: punto de observación, una superficie de proyección, un objeto, una proyectante y una proyección.

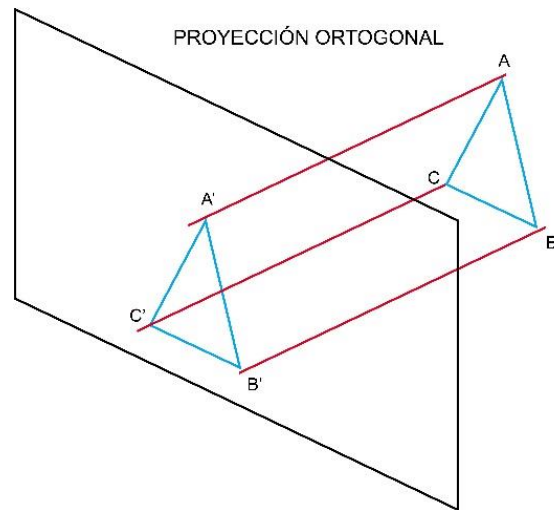
- Punto de observación: es el punto desde donde se va a observar.
- Superficie de proyección: es el ángulo y distancia desde donde se va a realizar la proyección.
- Objeto: el objeto que va a ser observado.
- Proyectante: es el ángulo de visión y trayectoria desde el punto de observación y el objeto.
- Proyección: son los datos obtenidos del objeto mediante la proyectante.



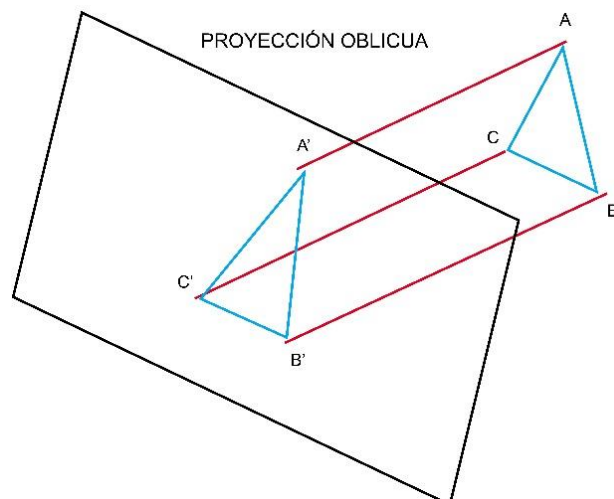
Partes de la Proyección

1- Seleccione un modelo de proyección de acuerdo al punto o ángulo de observación directa del Ente Natural:

A-

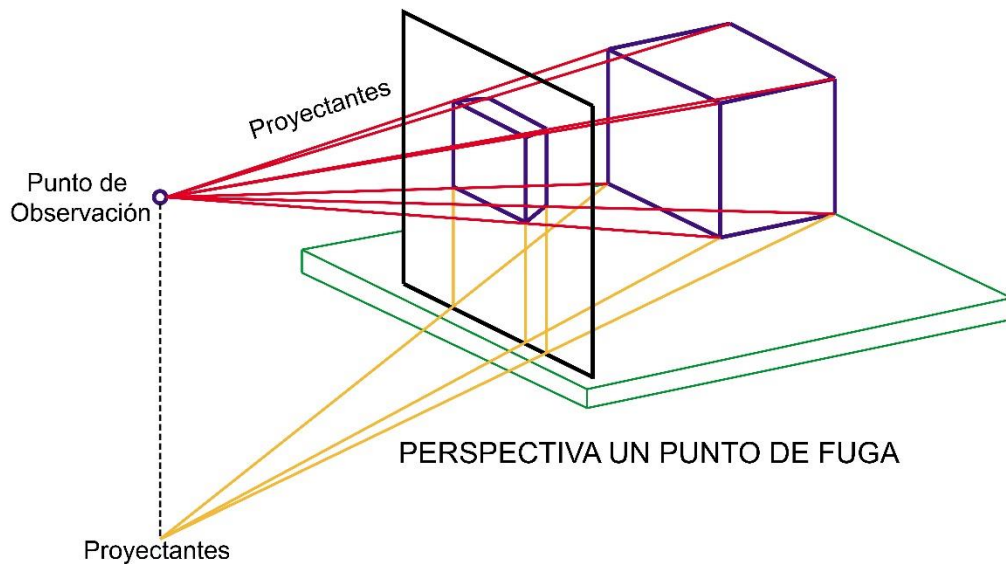


B-

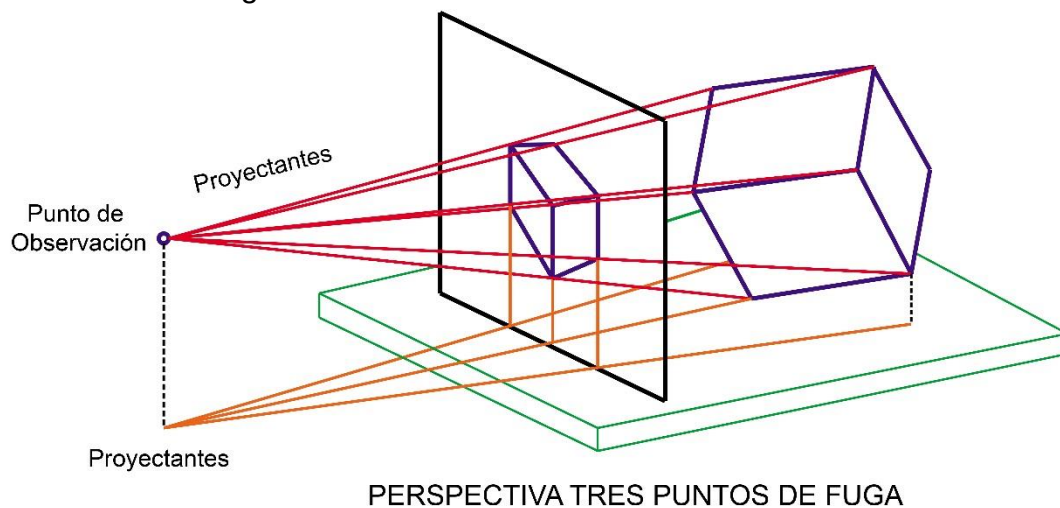


2- Seleccione un punto fijo desde donde va a realizar la observación.

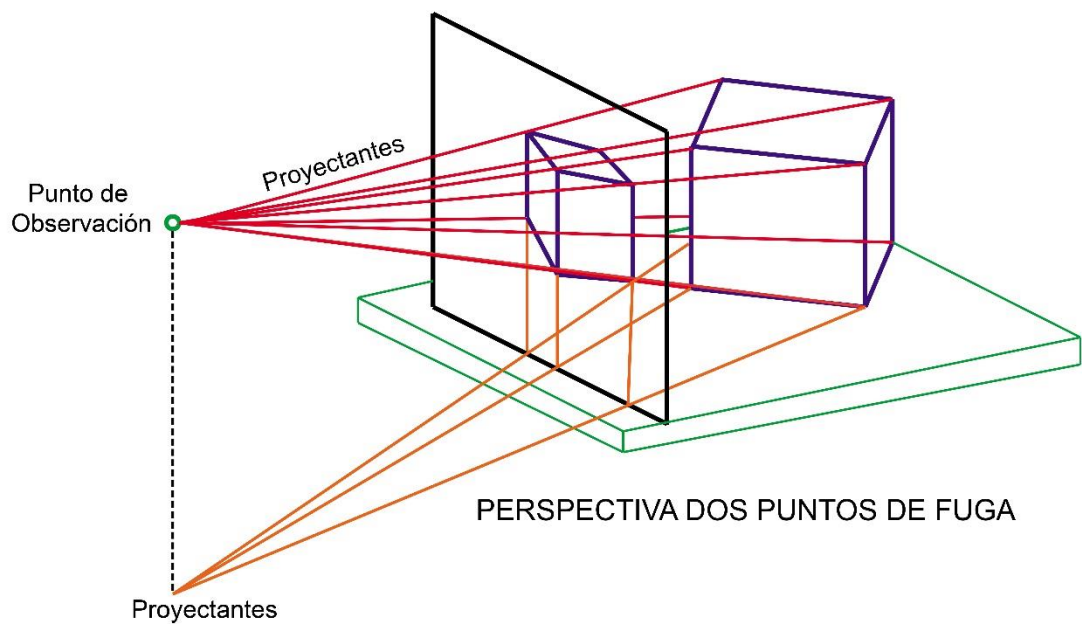
A- Para la observación de las vistas superior, inferior, frontal, atrás, lateral derecha y lateral izquierda, use solo un punto de fuga como en la gráfica:



B- Para realizar la observación de la isometría, tome tres puntos de fuga, como en la gráfica:



C- Para complementar la observación y realizar con más detalle cada uno de los pasos requeridos, se recomienda también usar la observación desde dos (2) puntos de fuga:



5.6 FORMATO VI

9. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Importante tener a la mano información externa a la propia investigación, como la enciclopédica, en internet, etc. En este punto se deben identificar los elementos importantes del ente observado para encontrar una solución al problema planteado en cuanto a lo estructural, protección, organización y movimiento.

10. ANALOGÍAS

Ya establecida la información en el punto 9, se debe relacionar, lo más aproximado posible, los datos observados con la respuesta a la necesidad planteada. Con esto se pretende tener un primer acercamiento de la problemática con la solución.

5.7 FORMATO VII

11. CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

En este punto se deben geometrizar los componentes o partes seleccionadas del Ente observado desde lo morfológico y lo funcional: componentes, estructura, partes, uniones, proporciones. Con ello se pretende reconocer y describir la información más importante para la solución a la problemática.

5.8 FORMATO VIII (opcional)

12. MODELACIÓN

Luego de haber identificado cada parte del Ente observado, es recomendado modelar las más relevantes para la investigación y con ello lograr identificar aspectos técnicos tales como estructuras, mecanismos, ángulos de rotación, dimensiones. Este punto es opcional porque solo ayuda a reforzar la información ya encontrada.

5.9 FORMATO IX

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este punto se deben sintetizar todos los datos recolectados que sean importantes a la hora de resolver el problema, se deben escribir en cada cuadro cómo resuelve el Ente Natural la problemática planeada en cuanto a lo estructural, protección, organización o movimiento. Además se recomienda realizar una síntesis sobre los pasos o tiempos en que el ente Natural lo resuelve.

5.10 FORMATO X

15. BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO.

Describir los aportes que deja la información del Ente Natural para la solución al problema, así como las ideas que deja la información a la hora de darle solución al problema.

16. ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO

En este punto se debe comenzar a aplicar una respuesta con la información encontrada para darle solución al problema planteado desde lo estructural, funcional, uso y morfología.

17. BOCETACIÓN

En este punto se comienza a explorar lo relacionado con la estructura, forma y función, en base a la información ya recolectada y relacionada.

5.11 FORMATO XI

18. PROPUESTA

Presentación de la propuesta en 2D, 3D, maquetación, prototipo y la comprobación final.

6 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se hizo énfasis en la búsqueda en las herramientas que ofrece la Biónica para establecer una investigación, se estableció que toda investigación desde esta disciplina debe constar de tres pasos fundamentales: observación, interpretación y análisis de resultados. El fin de estas etapas es brindar las nociones suficientes para que en cada una de ellas se establezcan parámetros a seguir. Para esto fue necesario ahondar en cada una de ellas con el fin que los resultados de esta investigación comenzaran a arrojar algunos resultados.

Si bien existen dentro de la bibliografía consultada para este documento modelos o métodos de investigación en los cuales se establecen pasos muy medidos, se dejan a un lado una etapa importante: las pautas para la selección de un Ente Natural, este es un punto que se estudió con bastante interés y dedicación para el desarrollo de la presente herramienta ya que dentro de las investigaciones en Biónica es fundamental. Por esto se indagó en las posibilidades, sabiéndose que es un área multidisciplinar de vincular otra disciplina como soporte investigativo.

Dentro del carácter interrogatorio se logró establecer que la geometría brinda las características precisas para realizar una identificación y estudio de entes naturales dependiendo del tipo de problemática que se tenga, ya sea de forma, función o estructura, se clasifican de acuerdo a la problemática: estructural, de protección, de organización o de Movimiento y cada uno de estos conlleva a una necesidad

específica que también tiene una respuesta por medio de un patrón geométrico comprendido en la naturaleza.

Estos patrones geométricos en la naturaleza obedecen al cumplimiento de unas funciones específicas, por ejemplo: las espirales vistas en algunas plantas ejercen recolección, ahorro de espacio o crecimiento ya el enfoque se debe dar cuando se establece el tipo de necesidad.

Con la herramienta se aborda también la observación desde la geometría descriptiva al Ente Natural seleccionado para llegar ya a la etapa de análisis de resultados, en este punto se recomienda qué tipo de proyección es debido tomar y cuántos puntos de fuga existen para realizar la recolección de datos de importancia.

De esta manera se estructuró una herramienta metodológica que permite ir paso a paso en búsqueda de una solución a la problemática planteada, contribuyendo de esta forma a la investigación a través de los tres pasos fundamentales de la Biónica: observación, interpretación y análisis de resultados, que le dan vida al Instrumento de análisis geométrico para estudios en Biónica

7 Bibliografía

- Aldama, A., Gutiérrez, J. L., Miramontes, P., & Sánchez Garduño, F. (2010). *D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948)*. Ciudad de México.
- Apolonio. (22 de 02 de 2014). *apolonio.es*. Obtenido de <http://apolonio.es/guirnalda/la-primera/>
- ARQHYS Arquitectura. (s.f.). *ARQHYS Arquitectura*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.arqhys.com/construccion/industrialdis-historia.html>
- Benyus, J. (s.f.). *Biomimicry 3.8*. Recuperado el 28 de mayo de 2013, de <http://biomimicry.net/about/biomimicry/>
- Biomímesis Colombia. (s.f.). *Biomímesis Colombia*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de [www.biomimicrycolombia.org: http://www.biomimicrycolombia.org/biomimesis.html](http://www.biomimicrycolombia.org/biomimesis.html)
- Biomímesis Colombia. (s.f.). *Biomímesis Colombia*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de <http://www.biomimicrycolombia.org/biomimesis.html>
- Català, C. A. (2005). *Los secretos geométricos en diseño y arquitectura*. Catalunya.
- chile, U. d. (s.f.). <http://www.dim.uchile.cl/>. Obtenido de <http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo612.html>
- Coronado, G. (2002). Los Pitagóricos: Las matemáticas e interpretación de la Naturaleza . *Filosofía. Universidad de Costa Rica*.
- Coronado, R. (2007). Biónica y metodología de proyecto. *II Encuentro Latinoamericano de Diseño "Diseño en Palermo"*, 97 - 100.
- Dessauer, F. (1964). *Discusión sobre la técnica* . Madrid (España): Ediciones Rialp.
- Estructur art. (s.f.). <http://www.vedoque.net>. Obtenido de Estructur art: http://www.vedoque.net/emilio/?page_id=70
- Filloy Yagüe, E. (1998). *Didáctica e historia de la geometría Euclídiana*. México, D.F. (México): Grupo Editorial Iberoamérica S.A.

<http://www.gaudiallgaudi.com/>. (s.f.). <http://www.gaudiallgaudi.com/>. Obtenido de <http://www.gaudiallgaudi.com/EA002%20G%20Tecnica%20arq.htm>

Instituto Nacional de Tecnologías y de formación del profesorado. (s.f.). *intef*. Recuperado el 29 de noviembre de 2012, de <http://www.ite.educacion.es/>: http://www.ite.educacion.es/formacion/enred/web_espiral/naturaleza/vegetal/fibonacci/fibonacci.htm

Litinetski, I. B. (1975). *Iniciación a la Biónica*. Barcelona (España): Barral Editores.

Marroquín santaña, A. (2000). *La Biónica, una nueva ciencia*. Badajoz, España.

Morales, L., Castellanos, V., & Ruiz, A. (2008). *Guía de observación analítica*. Bogotá (Colombia): Ediciones Uniandes.

Obregón, I. (2007). *Magia y belleza de las matemáticas y algo de su historia Tomo I*. Bogotá (Colombia): Intermedio.

Ortega y Gasset, J. (1982). *Meditación de la técnica y otros ensayos sobre ciencia y filosofía*. Madrid (España): Alianza Editorial.

Patiño Mazo, E., & Arbeláez Ochoa, E. M. (2009). *Generación y transformación de la forma "Morfología, geometría, naturaleza y experimentación"*. Medellín (Colombia): Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Peral Alonso, J. C. (2003). *Las matemáticas en la Naturaleza*.

Perez García, A. (2006). *PROCECAD.COM*. Obtenido de <http://www.geometriadescriptiva.com/>

Pineda, J. D. (2009). *Las matemáticas en nuestro mundo cotidiano. Revista Digital Universitaria Universidad Nacional Autónoma de México*.

Quesada, C. (s.f.). <http://www.uam.es/>. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de Universidad Autónoma de Madrid: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/barcelo/historia/Los%20solidos%20platonicos.pdf

Sánchez Valencia, M. (2009). *Morfogénesis del objeto de uso*. E-Book: Nueva Edición Digital DiseñoLA.

sarmiento, M. (2009). Relación entre la biónica y el diseño para los criterios de forma y función. *Tesis de Maestría para la obtención del título Master en Diseño Industrial*. Buenos Aires, Argentina.

Stevens, P. S. (1995). *Patrones y pautas en la naturaleza*. Salvat.

Terra.org. (s.f.). *Terra.org*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de <http://www.terra.org/categorias/articulos/que-se-entiende-por-biomimesis-una-conversacion-con-janine-benyus-24>

Thompson, D. W. (2000 16º edición). *Sobre el crecimiento y la forma*. Cambridge University Press.

Universidad Complutense . (s.f.). *Universidad Complutense* . Recuperado el 3 de junio de 2013, de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/genetica/grupod/Genetica%20evolutiva/Seleccion%20natural/Seleccion%20Natural.htm>

Universidad de Antioquia. (s.f.). Obtenido de <http://aprendeonline.udea.edu.co>: http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/418/PENSAMIENTO_ESPACIAL_Y_SISTEMAS_GEOMETRICOS.doc

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (s.f.). <http://www.unad.edu.co/>. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303036/ver16sept_cursos_tres_creditos/leccin_7_filotaxia.html

urbina Polo, I. (1997). Biónica: Rescate de los sistemas naturales. *Artículo de Revista*.

Vallejo, E., Fadón, F., & Cerón, J. (2007). *La geometría, soporte de la idea en el proceso de diseño*. Universidad de Cantabria.

Williams, C. (s.f.). *Los orígenes de la forma*. Editoria Gustavo Gilli S.A.

7.1 Otras fuentes bibliográficas

Arguedas T, Vermor. (2002). La geometría de la naturaleza: Benoit Mandelbrot. Escuela de Matemáticas, Universidad de Costa Rica.

Sánchez Guarduño, F., & Miramontes, P. (2009). Las formas en la Naturaleza: Una cosa es describirlas, otra es explicarlas. Artículo Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

tróchez Gómez. L. (2012). Instrumento para el estudio biónico en diseño industrial *Tesis de Pregrado para la obtención del título Diseñador Industria*. Santiago de Cali, Colombia.

Vanden Broeck, Fabricio. (2000). *El Diseño de la Naturaleza o la Naturaleza del diseño*. Unidad Azcapotzalco.

Blasco, Fernando. (2011). Matemáticas en Dalí. Artículo de revista: "Matematicalia" Universidad Politécnica de Madrid, España.