



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Maestría en Diseño Industrial
Posgrado en Diseño Industrial
Teoría

Biomimética. Relaciones invisibles en la naturaleza

Tesis que para optar por el grado de Maestra en Diseño industrial presenta:

Dannae Lisette Cortés Martín

Directora de tesis:

MDI. Ana María Losada Alfaro
(Facultad de Arquitectura UNAM)

Comité tutor:

Dr. Janitzio Égido Villarreal
Dr. Oscar Salinas Flores
MDI. Iroel Heredia Carrillo
MDI. Antonio Solórzano Cisneros
(Facultad de Arquitectura UNAM)

Ciudad Universitaria, Cd Mx. Enero de 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Directora de tesis:

MDI. Ana María Losada Alfaro

Sinodales:

Dr. Janitzio Égido Villarreal

Dr. Oscar Salinas Flores

MDI. Iroel Heredia Carrillo

MDI. Antonio Solórzano Cisneros

Agradecimientos

A Francisco por su amor, apoyo, confianza y por creer en mí cada día.

A Ricardo, Carmen, Ricardo, Dafne y la hermosa familia Córdova Cortés, por todo el amor y por ser un apoyo incondicional a pesar de las distancias.

A todos mis amigos por su motivación.

Gracias a Ara, Job y Catalina por los ánimos y por siempre estar cerca.

A la familia Fraga Villanueva por su apoyo y cariño.

A mis profesores y compañeros del PDI y del CIAD, por todo el aprendizaje, las sonrisas, felicidad, diversión y por todas las experiencias irrepetibles.

A la MDI Ana María Losada Alfaro y al Dr. Janitzio Égido Villareal les agradezco especialmente su dedicación y paciencia a lo largo de todo este proceso. Al Dr Oscar Salinas Flores, al MDI Iroel Heredia y al MDI Antonio Solórzano Cisneros, gracias por su tiempo y orientación.

Finalmente quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme nuevamente ser parte de ella, y a CONACYT, por sustentar mi estancia.

Índice

Introducción.....	7
Capítulo 1. Inspiración en la naturaleza.....	9
1.1 Inspiración y pensamiento acerca de la naturaleza aplicados al arte y al diseño.....	10
1.1.1 La naturaleza en Mesoamérica.....	16
1.2 Pensamiento científico.....	18
1.3 Pensamiento sistémico.....	22
Capítulo 2. Biología aplicada.....	25
2.1 Biomimética.....	27
2.1.1 Proceso de diseño en la biomimética.....	28
2.1.2 Campo de aplicación de la biomimética.....	29
2.2 Natural y artificial.....	34
Capítulo 3. Pensando a partir de sistemas.....	37
3.1 Diseño frente a los sistemas.....	37
3.1.1 Contexto del diseño.....	37
3.1.2 Campo de acción del diseño.....	39
3.2 Porqué pensar en sistemas.....	41
3.3 Funcionamiento de los sistemas.....	42
Capítulo 4. Los sistemas en la naturaleza.....	51
4.1 La biología.....	51
4.1.1 Sistemas vivos.....	54
4.1.2 Estudio de los sistemas en la biología.....	57
Capítulo 5. Biomimética. Diseñando a partir de sistemas.....	65
5.1 Magnitud de aplicación del pensamiento sistémico en la biomimética.....	66
5.2 Modelos y redes.....	67
5.3 Traducción a sistemas.....	68
Capítulo 6. Ejercicio práctico: la estrella de mar.....	75
6.1 El campo de trabajo de la biología.....	75
6.1.1 Experiencia en la práctica de campo.....	76

6.2 Relación Diseño-Biología.....	79
6.3 Ejercicio práctico sobre la estrella de mar.....	80
6.3.1 Descripción del proceso de diseño biomimético.....	81
Conclusiones.....	95
Bibliografía.....	99
Glosario.....	103
Índice de ilustraciones.....	107
Índice de tablas.....	113

Introducción

La búsqueda de relación entre el diseño y la naturaleza, aunque sigue vigente, no es un tema nuevo. Es difícil identificar el origen histórico de la relación entre ambos, pero basta con dar una mirada somera a algunos de los objetos que han rodeado la vida de cada uno de nosotros, para darnos cuenta de que, en mayor o menor medida, podemos identificar en ellos inspiración en la naturaleza.

Podemos decir entonces que la naturaleza y los seres vivos han representado una referencia para el diseño, no obstante, al adentrarse en temas cuyo significado es en apariencia tan conocido, es común asumir los paradigmas y afirmaciones que de ellos se hacen sin detenernos a reflexionar en su significado y en la profundidad de comprensión que sobre ellos se tiene.

En el caso específico de la biomimética (imitación de la vida), las reflexiones sobre la naturaleza y los seres vivos resultan fundamentales, pues éstos representan el origen de la inspiración para el desarrollo de trabajo en diferentes campos, incluyendo al diseño.

Al iniciar la investigación del presente documento, mis ideas se fundamentaban en la concepción de la naturaleza como una fuente de inspiración y conocimiento, cuyas respuestas serían determinantes y contundentes, y que además, sentarían en los proyectos de diseño una base inherentemente científica. Sin embargo, al transcurrir la investigación, entendí que la naturaleza sucede bajo una lógica perfecta, pero que de forma paradójica, los humanos no hemos desentrañado y comprendido en su totalidad.

Considerando que el concepto de naturaleza se reinventa con el paso del tiempo, entendí que el diseño basado en la imitación de la naturaleza no puede concebir proyectos con cualidades totalmente ideales y definitivas, pues además, el diseño es una disciplina viva y en constante transformación, al igual que la sociedad en la cual sucede. Tanto la percepción que se tiene de la naturaleza, como el concepto de diseño parecieran reinventarse constantemente.

Si bien comprender en su totalidad a la naturaleza está más allá de nuestras posibilidades racionales humanas e imitarla representa un reto, no por ello debemos abandonar su estudio y referencia en nuestro quehacer. En ella hemos reconocido patrones y mecanismos, también hemos comprendido la forma sostenible en que todo ocurre, y la coherencia que hay en la existencia de cada uno de los organismos y elementos que la conforman. Nuestra percepción e interpretación sobre la naturaleza, se convierten entonces en una de las principales herramientas mediante las cuales podemos desarrollar la biomimética.

Existe una infinidad de interpretaciones sobre la naturaleza y los seres vivos; la biología es el resultado de una comprensión desde un pensamiento científico, el cual no es estático y en cuya historia el pensamiento sistémico ha estado latente y ha complementado el desarrollo de la ciencia, principalmente a partir del siglo XX. El pensamiento sistémico tiene como objetivo visualizar y explicar los fenómenos, a partir de las interacciones que ocurren entre los elementos que lo conforman, es decir, como sistemas. Propone también una base teórica que puede ser aplicable a la comprensión de sistemas independientemente de su origen; es esa versatilidad la que permite encontrar las coincidencias por las cuales, la aplicación de una referencia en la naturaleza, puede ser coherente en un proyecto de diseño.

En el presente documento, el pensamiento sistémico representa la posibilidad de comprender, de forma análoga, tanto a las demandas de los proyectos de diseño, como a las entidades o seres vivos estudiados en la naturaleza, con el propósito de establecer con mayor claridad los alcances y las cualidades de una solución biomimética en un proyecto. El plantear al pensamiento sistémico como puente entre el diseño y la biología, es solo una pequeña contribución para fomentar la participación e integración del diseño en campos que están más allá de su dominio tradicional.

Me parece importante mencionar que la oportunidad de reflexionar acerca de la naturaleza y los seres vivos, permite darse cuenta de que, al intentar acotar el concepto de naturaleza, cualquier definición queda corta, pues ésta no conoce límites y se reinventa a partir de sus propios pasos, sin intentar llegar a un lugar predeterminado, se transforma, existe a plenitud. Podemos razonar e intentar comprender y explicar cada uno de los eventos particulares que suceden de forma natural, interpretar los hechos desde varias posturas o pensamientos pero, más allá de lo que la razón nos permite comprender, la naturaleza sucede en cada instante y rebasa cualquier explicación que de ella podamos dar.

Capítulo 1 Inspiración en la naturaleza

¿Qué importancia puede tener la naturaleza en nuestro día a día? En un primer acercamiento resulta lógico asumir que la humanidad simplemente no existiría sin un entorno natural. Sin embargo, comprender esta afirmación resulta un tanto complejo en nuestros días ya que, a lo largo de su evolución la humanidad ha transformado el mundo en función a sus nuevas, crecientes y cambiantes necesidades. Como consecuencia, la relación que un gran sector de la población mundial establecemos con la naturaleza nos resulta bastante difusa.

Si bien la naturaleza fue una de nuestras primeras referencias para la generación del contexto “artificial” que los seres humanos nos hemos encargado de construir para vivir, también tenemos que considerar que, a pesar de encontrarnos en un momento histórico en el que la información, conocimiento y los datos que hemos recopilado a través del tiempo están al alcance de cada vez más personas, requerimos de la interpretación de dichos datos e información. Por lo anterior, resulta básico para disciplinas como el diseño, contar con herramientas que le permitan colaborar con otras disciplinas y ciencias.

La biomimética es una disciplina que se compone de diferentes campos del conocimiento, por lo que en la práctica resulta especialmente relevante lograr el entendimiento entre disciplinas. Como un primer acercamiento al tema de la biomimética, podemos partir de la definición contemporánea de Vincent⁴: “Es el resultado tecnológico de tomar ideas de la naturaleza”.⁵ Lo primero que podemos observar en esta definición es que no deposita en una disciplina en particular la capacidad de extraer ideas de la naturaleza.

La observación de los fenómenos naturales para la creación de objetos que sirvan a nuestros sistemas artificiales es muy antigua y, aún en nuestros días, a medida que adquirimos mayor conocimiento, la intención con que acudimos a la inspiración o referencia en la naturaleza se diversifica.

Quizás en el inicio de la civilización resultaba más obvio tomar a la naturaleza como referencia para desarrollar artefactos y objetos que cambiaran el contexto de los humanos; pues la presencia de la naturaleza en la vida de las personas era más clara. Resulta paradójico que, a pesar de que en la actualidad la mayor parte de la población no experimentamos en nuestro día a día un ambiente natural de manera directa, las herramientas con que contamos para conocer nuestro planeta son mucho más sofisticadas.

La inspiración para diseñar puede provenir de cualquier lugar, es un proceso natural de abstracción inherente a los seres humanos. La capacidad de observar y aprender es una de las cualidades que para el diseñador resulta ser especialmente útil y que desarrolla a lo largo de su vida profesional, mas no es el único profesionalista que se vale de dichas cualidades para el ejercicio de su labor.

4 Julian Vincent es biólogo investigador en la Universidad de Oxford, profesor en la Universidad Clemson y en HS Rhein Waal, además de ser presidente de la Sociedad Internacional de Ingeniería Biónica.

5 Vincent, J.F., 2001. *Stealing ideas from nature. Deployable Structures.*, CISM International Centre for Mechanical Sciences 412, 51–58 , p. 51

Gracias al desarrollo de la capacidad de observación, la humanidad ha encontrado en la naturaleza una fuente de inspiración de la cual tomar referencias distintos niveles, a veces con respecto a su forma, otras a sus mecanismos, función, etc.

El pensamiento de cada época ha marcado la pauta y ha determinado la manera en que se estudia, observa, comprende e interpreta la naturaleza. En los siguientes segmentos de éste capítulo profundizaremos en este tema. En el área del diseño es importante considerar que las interpretaciones que se han hecho de la naturaleza a través del tiempo, se ven reflejadas en los objetos que han sido contruidos con la intención de imitar a la naturaleza.

1.1 Inspiración y pensamiento acerca de la naturaleza aplicados al arte y al diseño

Para la humanidad, la naturaleza es un ente impactante e imponente, al igual que todo el cosmos, no hemos logrado vislumbrarlo en su totalidad. Sin embargo, poco a poco, los pasos que nos acercan a comprender nuestro mundo van siendo más significativos y nos permiten ser más conscientes del mismo. Paradójicamente mientras más sabemos, surgen también preguntas mayores y más complejas; la duda y la incertidumbre son tan constantes como el desarrollo del conocimiento, el registro histórico ha sido clave para tener conocimiento de ello.

Uno de los más primitivos vestigios que dan prueba de la conciencia del hombre con respecto a su entorno son las pinturas rupestres. Hasta hoy, se calcula que las más antiguas que se han registrado fueron hechas hace 32,000 años a.C. Dichas pinturas fueron descubiertas el 19 de diciembre de 1994, se conocen como "Pinturas de Chauvet" en honor a Jean Marie Chauvet (quien en compañía de dos espeleólogos más realizara el descubrimiento) y se ubican en la región de Ardèche, en Francia. Constan de una serie de representaciones de animales, en total 425 dibujos, principalmente osos de las cavernas, panteras, mamuts, leones, rinocerontes lanudos, etc.⁶



Ilustración 1: Fragmento de pinturas rupestres en la Cueva de Chauvet

Este hallazgo representa sólo una ínfima parte de todo el contexto en el que seguramente se desarrolló la vida de las primeras comunidades humanas, y nos permite entender que la observación de la naturaleza tuvo una importancia fundamental para ellas.

La percepción que tenemos de la naturaleza se transformó junto con la sociedad, llegando a niveles de sofisticación que han sido posibles con el desarrollo de la ciencia.

A principios del siglo XVII surge el pensamiento mecanicista, derivado de la "Nueva ciencia" o "Ciencia moderna". La naturaleza se concibe como un mecanismo, es decir, algo cuyo movimiento se origina por fuerzas externas. Si bien este pensamiento se caracterizó por ser esencialmente racionalista, para los filósofos de la época

⁶ "La cueva Chauvet, última revelación del arte de la prehistoria". *National Geographic, España*.

también obedecía a una intención teológica, pues planteaban que “un mundo material carente de voluntad, requiere de un dios sobrenatural”.⁷

René Descartes introdujo la visión del animal-maquina, bajo la premisa de que tanto los animales, como el cuerpo humano son esencialmente máquinas vivientes. “Basta mirar a los relojes, fuentes y molinos. Si las personas pueden construir semejante maquinaria, Dios debe ser capaz de hacerlo mejor.”⁸. El principal propósito de Descartes era cambiar la forma en que la humanidad comprendía el mundo natural.

Mucho antes, en el siglo IV a.C, Aristóteles explicaba la existencia de vida en los organismos vivos, según tres tipos de “almas”:

- *Intelectiva*- Solo se encuentra en el hombre, gracias a ella tiene intelecto y entendimiento.
- *Vegetativa*- Se encuentra en todos los seres vivos, de ella se generan las actividades vitales de crecimiento, desarrollo, reproducción, nutrición
- *Sensitiva* – Permite la percepción y los deseos.

Descartes redujo al alma Intelectiva la esencia de la vida.

Posteriormente, en el siglo XVIII, uno de los filósofos cuya influencia tuvo mayor repercusión en los arquitectos, diseñadores y artistas fue Johannes Wolfgang Goethe quien, además de ser poeta realizó estudios e investigaciones sobre morfología, especialmente de las plantas. Para Goethe, la forma era generativa, no estática, donde existe un patrón en el desarrollo de los organismos, visible en todo momento de su desarrollo.⁹

A la filosofía de Goethe precedieron e influenciaron filósofos como Moses Mendelsson, una de las figuras sobresalientes durante la Ilustración Alemana, su pensamiento ecléctico lo llevó a escribir sobre metafísica y estética. Uno de los cuestionamientos estéticos de Mendelsson, era ¿Que tienen en común la belleza natural y la belleza artística?

Las exploraciones de Goethe sobre morfología, junto con las influencias que en él tuvieron personajes como Mendelsson, lo llevaron a desarrollar teorías que eventualmente fueron determinantes para transformar el método con que se proyectaba en arquitectura y en las artes decorativas, principalmente. La semilla y su proceso de germinación fue una de las fuentes de inspiración para la arquitectura.

Goethe comprendió a la naturaleza de una manera particular, sobre lo cual escribió:

Ha sido y continúa siendo un gran trabajo original. No pertenece exclusivamente ni a la antigüedad, ni a la edad media, o al Renacimiento. Revela la trascendencia de cualquier estrecho vínculo a través de la historia. Es como una semilla, que promueve el futuro desenvolvimiento orgánico.¹⁰



Ilustración 2: Johann Wolfgang von Goethe, *Durchgewachsene Nelke (Clavel prolífico)*

7 Riskin, J., 2016. *The restless clock : a history of the centuries-long argument over what makes living things tick*, 1st ed. University of Chicago press, Chicago. p.4

8 Ibid p.46

9 Sachs et al. *Nature design : from inspiration to innovation*, 1ra, Lars Müller Publishers. p. 51

10 Ibid p.47.

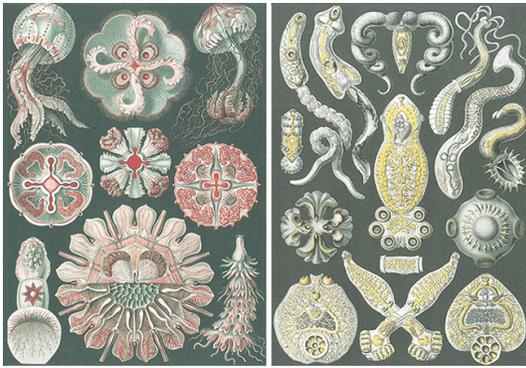


Ilustración 3: Ernst Haeckel, *Discomedusae/Plattentiere*

Uno de sus discípulos fue Alexander Von Humboldt, quien diera a conocer gran parte del conocimiento e ideas que obtuvo de su maestro gracias a una serie de conferencias llamadas “Cosmos”, las cuales impartió en Berlín de 1827 a 1828. Su popularización provocó que dichas ideas permearan y se adoptaran posteriormente en la arquitectura y las artes decorativas.

Este “encuentro” con la naturaleza detonó cambios en la manera en que se pensaba y teorizaba dentro de la academia sobre Arquitectura durante el Siglo XVIII. En Francia, Eugène Viollet-le-Duc fue un personaje en su momento controvertido y poco reconocido, pues sostuvo una postura opuesta al Academicismo Francés o Escuela de Bellas Artes¹¹, cuya ideología era la aceptada y

respetada en aquel entonces. Viollet-le Duc pensaba que la arquitectura debía proceder de la misma manera que la naturaleza:

La arquitectura, como arte es una creación humana. Tal es nuestra inferioridad que, con el propósito de lograr este tipo de creación, estamos obligados a proceder como la naturaleza procede en las cosas que crea. Estamos obligados a emplear los mismos elementos y el mismo método lógico; estamos obligados a observar las mismas transiciones¹²

Surgieron varias corrientes y discusiones sobre la interpretación de la naturaleza que, a su vez, convivían con los ideales propios de la época, así como también se encontraban convergencias entre la forma de comprender la naturaleza, el propósito del arte y la divinidad. Victor-Marie Robert-Ruprich fue instructor de dibujo y sostuvo un especial interés en la investigación científica. Su trabajo como profesor de dibujo le permitió formar cierta comprensión de la naturaleza y escribir sobre ella:

Pareciera que no nos percatamos de dominios superiores a los cuales llamamos amablemente geometría divina, la cual es también una geometría de utilidad, a la vez que es una geometría de la belleza y cuyos elementos se hallan en las mismas flores que diariamente pisamos¹³

Las ideas surgidas en Europa a partir de los descubrimientos sobre la naturaleza, causaron eco en el continente americano. Proveniente de Chicago, Louis Sullivan llegó a estudiar a París en 1874, en busca de un vínculo ideológico entre su país y las enseñanzas de la Escuela de Bellas Artes. Sullivan no adoptó el Academicismo francés, su búsqueda en Francia y, en general en Europa, lo llevó a la concluir que la ornamentación debía estar en perfecta coordinación con la estructura. Terminados sus estudios en París y de regreso en Chicago, llevó consigo la metodología racionalista aprendida en Francia y contribuyó a sentar las bases del movimiento moderno en Estados Unidos. Sullivan se convirtió en uno de los principales representantes de la Escuela de Chicago, misma que posteriormente sería reconocida por su tradición funcionalista, apoyada en tecnologías y materiales.

11 Se conoce también como Escuela de Bellas Artes o Beaux Arts, no se refiere a la Institución “**Escuela Nacional Superior de Bellas Artes de París**”

12 Sachs et al., 2007. *Nature design : from inspiration to innovation*, 1ra, Lars Müller Publishers. Envía a Viollet-le-Duc, E., 1858. *Dictionaire Raisonné d'architecture*. París.
Architecture as an art is a human creation. Such is our inferiority that, in order to achieve this type of creation, we are obliged to proceed as nature proceeds in the things she creates. We are obliged to employ the same elements and the same logical method as nature; we are obliged to observe the same transitions”

13 Sachs et al., 2007. *Nature design : from inspiration to innovation*, 1ra, Lars Müller Publishers. Envía a Victor Ruprich-Robert, 1876. *Flore ornamentale: Essai sur la composition de l'ornement, éléments, tires de la nature et leurs application*. París.
We seem to be unaware that above us reigns what we might call an amiably divine geometry which is also a geometry of utility, but at the same time a geometry of beauty, and whose elements are in the very flowers wich every day we mindlessly tample upon”

En 1870, se llevó a cabo una expedición a bordo del HSM Challenger con propósitos de investigación científica en el océano, promovida por la "Royal Academy of London" y con recursos del gobierno Británico. Ernst Haeckel, un filósofo y científico alemán, era uno de los tripulantes. Este viaje le permitió conocer y, como parte de su trabajo, realizar ilustraciones de Radiolarios. Sus impresiones sobre estos pequeños organismos protistas que viven dentro de conchas de silicio, fueron descritos por Haeckel de la siguiente forma:

Cada mañana me asombro nuevamente por la interminable riqueza de esas pequeñas y delicadas estructuras, que me confío a mismo con absoluta pasión a estos tesoros científicos, que son a la vez placenteros para el ojo estético.¹⁴

Mientras que para el ámbito científico su trabajo e ideas resultaban "Románticos", en el campo de la arquitectura fueron apreciados y difundidos.

Para René Binet, el "Report on the Radiolaria" publicado en 1887 por Haeckel, fue la inspiración para diseñar un "portal monumental" de la "Exposición Universal" en 1900, una estructura de cuarenta y cinco metros de alto basado en *phormocytida*. Binet no tenía la intención de crear un nuevo estilo con base en dichas formas, sino "forjar una filosofía de diseño en conexión con las leyes de generación de formas en la naturaleza".¹⁵

El Art Nouveau es una manifestación artística, cuyos autores han logrado plasmar en sus obras, con gran intensidad, el pensamiento sobre la naturaleza. Tuvo antecedentes en el movimiento de "Artes y oficios", cuyos principales gestores fueron John Ruskin y William Morris. Ambos tenían un profundo interés en retomar la unidad en la producción de los objetos y en la arquitectura, para conservar en ellos sus cualidades artísticas, pues la era industrial trajo consigo la división del trabajo en partes cada vez más especializadas. John Ruskin proponía que el arte no podía ser enseñado en las escuelas, era necesario hacerlo en los talleres¹⁶, pues así los objetos recuperaban su calidad de obras artísticas.

Este movimiento resultó, en parte, de la renuencia a adoptar un estilo de vida en un momento histórico en el que la industrialización forzó a la humanidad a concentrarse en las grandes ciudades. Por lo anterior, era importante mantener una relación con la naturaleza, plasmándolo en los objetos y demás elementos decorativos de la época. Como ejemplo podemos citar a los tapices diseñados por William Morris.

Durante la última década del siglo XIX, el Art Nouveau hereda los principios de unidad y armonía del movimiento de Artes y oficios, persigue también el traslado de las formas y procesos naturales a la

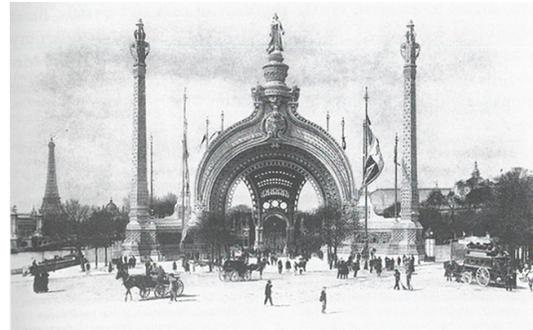


Ilustración 4: René Binet, **Porte Monumentale, Exposición Universal de Paris, 1900**



Ilustración 5: Detalle de tela decorada con inspiración floral de William Morris



Ilustración 6: Detalle de herrería en "La pedrera" o "Casa Milà" de Antoni Gaudí

14 Frazer, J., 2012. *Proteus: How Radiolarians Saved Ernst Haeckel*. Scientific American.

15 Sachs et al., 2007. *Nature design: from inspiration to innovation*, 1ra, Lars Müller Publishers. p. 57

16 Rodríguez, L.A., 2000. *El tiempo del Diseño. Después de la Modernidad*, 1ra ed. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. p.14.



Ilustración 8: Johannes Itten. **Form des feuers**. 1920. Reconstruido en 1995-1996



Ilustración 7: László Moholy-Nagy. **Nickel-Konstruktion**. 1921.

arquitectura, diseño y artes decorativas. Hubo un profundo interés por respetar a los materiales y procesos de producción, mostrando las “leyes naturales” que los rigen. Bajo esta premisa, los artistas dejaban que los procesos de producción fueran evidentes en sus obras. Un ejemplo son los detalles de hierro forjado hechos por Josep María Jujol para “La Pedrera” de Gaudí.

La ornamentación fue un tema en constante cuestionamiento, pues la estética en las diversas obras con carácter utilitario, más allá de ser una cualidad decorativa, se consideraba arte. Las formas externas expresaban la inspiración en las formas orgánicas encontradas en la naturaleza, pero se buscaba que también quedara manifestada la estructura interna, pretendiendo eliminar la distinción entre superficie y estructura¹⁷. La inspiración en la naturaleza iba más allá de la estética.

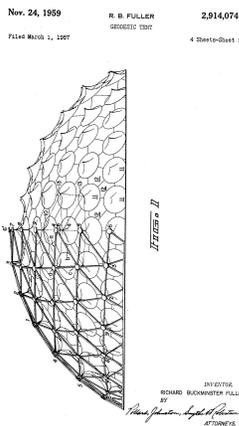


Ilustración 9: **Esquema de Geodésica**. Buckminster Fuller



Ilustración 10: Interior del museo Guggenheim, proyectado por Frank Lloyd Wright

En el siglo XIX, ocurrieron grandes descubrimientos que llevaron a replantear paradigmas científicos y sociales, quizás el más emblemático fue la aparición de *La teoría de la evolución de las especies* de Charles Darwin. El impacto de esta nueva forma de comprender la naturaleza del hombre, a través de un proceso evolutivo causó eco en el arte, la arquitectura y las artes decorativas. El organicismo inherente al nuevo paradigma biológico se manifestó en varios niveles, desde la concepción artística de las obras, el modelado de objetos, e incluso en la comprensión de procesos como la evolución de las ciudades¹⁸.

El movimiento de “Artes y oficios” tuvo un impacto e influencia considerables en la forma de enseñanza de las artes y el diseño. En 1919, después de concluida la primera guerra mundial, surge en Weimar la escuela Staatliches Bauhaus bajo la dirección de Walter Gropius, quien escribió un primer manifiesto,

con base en el cual creó el primer plan de estudios de la escuela. Dicho manifiesto tenía raíces y se basó en el movimiento de “Artes y oficios”.

Si bien durante la primera etapa de la Bauhaus, debido a la influencia de Johannes Itten, predominó en la escuela un ambiente en el que se fomentaba la creatividad a través de la experimentación y ejercicios reflexivos (influidos fuertemente por las prácticas espirituales de Itten¹⁹), en 1922 el interés de Gropius por relacionarse con la industria, lo llevó a romper con el movimiento de “Artes y oficios”, con las ideas de Itten, y a interactuar con otras corrientes, como el movimiento De Stijl, en cuya teoría encontraría nuevas bases que le fueron útiles para vincular a la Bauhaus con el contexto cada vez más industrializado. Para lograrlo, recurrió a artistas como Lazlo Moholy-Nagy, cuyo trabajo se desenvolvía principalmente en los talleres de máquinas.

El estilo De Stijl tuvo gran influencia en esta transformación de la Bauhaus, y estaba representado por artistas como Piet Mondrian, cuyas ideas se sostenían en que “para llegar a la auténtica verdad,

¹⁷ Sachs et al., 2007. *Nature design : from inspiration to innovation*, 1ra, Lars Müller Publishers. p.104.

¹⁸ Ibid. p.106.

¹⁹ Rodríguez, L.A., 2000. *El tiempo del Diseño. Después de la Modernidad*, 1ra ed. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. p.17.

el arte debía dejar de copiar la realidad para penetrar en su verdadera estructura, que se comprendía gracias a la geometría y al uso de los colores primarios²⁰.

La ruptura de la Bauhaus con el movimiento de “Artes y oficios” tuvo efectos en el cambio de valor de la naturaleza en el arte, la arquitectura y el diseño, pues las condiciones de guerra e industrialización imperantes en el mundo se regían principalmente por la racionalidad y la funcionalidad, éste fue el principio del movimiento Moderno.

Esta nueva visión de la Bauhaus permitió una apertura e intercambio con las ideas en desarrollo en Estados Unidos, donde arquitectos como Frank Lloyd Wright trataban de integrar su visión de la naturaleza a su obra, pero desde un enfoque funcional y económico.

La existencia de grandes ciudades y en general el contexto creado dentro del cual desarrollamos nuestras vidas la mayor parte de los seres humanos, son cambios que se evidenciaron en el siglo XX, durante el cual, eventualmente la naturaleza se comenzó a interpretar como algo abstracto, si bien ésta no se percibe como nuestro contexto cotidiano, si se le considera como algo que puede ser modificado y alterado a conveniencia.

La capacidad de observar y comprender a los fenómenos naturales en todas sus escalas (desde una molécula hasta el universo entero) fue posible debido a los avances tecnológicos en la ciencia, y representaron un factor clave que significó la observación del universo como un gran sistema.

Como ejemplo de la importancia que tomaron los sistemas en el siglo XX, encontramos el trabajo de Buckminster Fuller, quien comprendía que la naturaleza como un sistema finito que proporcionaba recursos básicos para la subsistencia de la humanidad. Su trabajo más reconocido es la cúpula geodésica, la cual se construye con un sistema estructural compuesto por módulos que se repiten e interactúan de cierta manera.

En el arte, la arquitectura, las artes decorativas y el diseño, la naturaleza no solo se comprendió como un a entidad cuyos principios rigen una teoría que sirve de referencia para sentar las bases del trabajo, sino como una referencia que se puede imitar de una manera abstracta, donde el concepto de lo orgánico toma una connotación distinta.

Lo anterior se ve reflejado en las piezas diseñadas por Alva Aalto, en las cuales lo orgánico no se refiere a la reproducción de formas observadas en la naturaleza, es una abstracción de los rasgos que le dan esencia a dichas formas.

El trabajo de Ross Lovegrove es una muestra de las tendencias de algunos diseñadores con respecto a la abstracción de la naturaleza. Su concepto de “esencialismo orgánico” se basa en que la forma corresponde sólo a lo necesario y se inspira “en la lógica y la belleza de la naturaleza, su



Ilustración 11: Alvar Aalto. Savoy vase. 1936



Ilustración 12: Ross Lovegrove. Silla para exteriores Biophilia. Plástico rotomoldeado. 2013

20 Rodríguez, L.A., 2000. *El tiempo del Diseño. Después de la Modernidad*, 1ra ed. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. p.25.

diseño se compone de una tirada entre tecnología, ciencia de materiales y forma orgánica inteligente²¹.

El siglo XXI comienza con la consolidación de un orden mundial en el cual la globalización es ya un hecho. La idea de que cualquier individuo en el planeta pueda tener acceso a la información mediante un dispositivo conectado a la Internet, contrasta con la gran disparidad en cuanto a la repartición de los recursos en el mundo.

Entendemos que la naturaleza debiera ser una prioridad en la agenda de la humanidad, pues es nuestra principal fuente de recursos vitales, sin embargo la escala de valores en nuestro sistema social y económico no es del todo coherente con éste hecho.

El movimiento moderno planteaba que la humanidad debía dominar a la naturaleza²², pareciera tener una inercia difícil de romper y transformarse por una comprensión de equilibrio entre humanidad y naturaleza. Por lo anterior, algunos discursos contemporáneos desde el diseño han tratado de mediar entre los sistemas de producción actuales y la necesidad de reducir el impacto de la humanidad en el ambiente natural, el diseño sustentable es un ejemplo de ello.

La importancia de la naturaleza en nuestros días se ve reflejada en la intención de aprender de la naturaleza para crear nuestro mundo. Así es cómo han surgido disciplinas que, en conjunto con la biología, proponen acercarse a la naturaleza y aplicar la enseñanza obtenida en diversos campos, tal es el caso de la biónica, la biomimética, la biofilia, entre otros, de lo cual hablaremos en el siguiente capítulo.

1.1.1 La naturaleza en Mesoamérica

La llegada de los europeos a América también representó un cambio en la manera en que, desde la mirada de Europa, se concebía a la naturaleza. Uno de los ejemplos más claros es la “Teoría de la evolución”, misma que Darwin desarrolló a partir de la investigación que realizó entre 1831 y 1833 en las islas Galápagos en Ecuador, dicha investigación perseguía también mantener una postura crítica ante el deterioro ecológico causado por el hombre. Además de la aportación que implicó para la ciencia, la aparición de la teoría de la evolución desencadenó una revolución en las creencias religiosas, pues no era compatible con la explicación que desde la religión se daba al origen de la vida.

La mayoría de las referencias que tenemos se caracterizan por presentar una visión europea, sin embargo, es importante mencionar que, antes de que Europa tuviera conciencia de la existencia del territorio al que posteriormente llamaron América, las civilizaciones en nuestro continente ya contaban con una cosmogonía e interpretación de la naturaleza propias.

Mesoamérica es una región que abarca gran parte del territorio que actualmente es México y parte de Centroamérica. Se considera que inicia su historia hacia el 2500 a.C. y sufre importantes transformaciones y conquistas a partir de la llegada de los europeos en 1492 y la posterior conquista del continente. En esta región nacieron, se desarrollaron y en ocasiones desaparecieron los pueblos que formaron la civilización mesoamericana, “la cual fue el resultado de un proceso histórico que empieza con la domesticación del maíz y otras plantas e incluye el desarrollo de técnicas agrícolas

21 Lovegrove, R. Ross Lovegrove. Recuperado el 19 de julio de 2017 de <http://www.rosslovegrove.com>.

22 Rodríguez, L.A., 2000. *El tiempo del Diseño. Después de la Modernidad*, 1ra ed. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. p.40.

intensivas, la división de la sociedad en clases, el despliegue de redes de intercambio de cientos de kilómetros y la invención de dispositivos ceremoniales²³, sólo por mencionar las más importantes.

El estudio de los conceptos de ciencia y naturaleza desde la perspectiva mesoamericana ha tenido cierta complejidad, pues durante la conquista fueron destruidos muchos documentos que contenían gran parte del conocimiento científico de los pueblos mesoamericanos. Además, dicho conocimiento era parte de la tradición cultural de las élites, mismas que desaparecieron también durante esa época. Sobreviven muy pocos documentos y registros cuya información es especialmente relevante para entender la visión de la ciencia y la observación de la naturaleza en las culturas mesoamericanas. Un ejemplo son los códices Madrid, Dresde y Grolier, junto con las estelas y monumentos del periodo clásico (300-900 a.C.), que preservan información sobre la cultura maya.



Ilustración 13: Mapa de Mesoamérica y Aridoamérica

Si bien la élite ilustrada fue exterminada en gran parte al ocurrir la conquista, sobrevivió parte del conocimiento gracias a la población campesina, la cual ha preservado sus tradiciones, mismas que están ligadas a los conocimientos sobre la tierra y el calendario. Para la antropología y la arqueología han representado una fuente trascendental para el estudio sobre la percepción de la naturaleza de los pueblos mesoamericanos.

Los pueblos mesoamericanos adoptaron una estructura social basada en un sistema de clases sociales, en el cual los sacerdotes ejercían parte del poder político, pero su labor no se limitaba a dictar la guía moral e ideológica de la sociedad, también eran personas estudiosas de la astronomía y la ciencia en general, especialmente las ciencias naturales. Gran parte del desarrollo científico se concentraba en los templos. Las instituciones mesoamericanas eran funcionalmente polivalentes y los conocimientos científicos se empleaban para mantener un vínculo entre la vida religiosa y la vida social.

Las sociedades mesoamericanas integraron una visión **holística**²⁴ a su cultura. El entendimiento de la naturaleza y de sus ciclos propició la comprensión de la dependencia que la agricultura tiene de ella. Además, permitió que las sociedades se asumieran y visualizaran a sí mismas como parte de la naturaleza, por lo cual su vida, costumbres, prácticas cotidianas y ritos religiosos guardaban una especial coherencia con la concepción que tenían de ella. Es decir, que a partir del conocimiento se estructuró una “cosmovisión” la cual resulta de “una combinación coherente de las nociones del medio en que vivían y del cosmos en que situaban la vida del hombre”²⁵. Dicha cosmovisión sentó las bases de una ideología que legitimó y justificó el orden establecido.

Quizá la evidencia más clara de la manera en que se determinaba la vida de la sociedad fue el calendario, pues “imponía una medida del tiempo socialmente definida que regulaba las actividades políticas y religiosas”²⁶, además simbolizaba la intención de los sabios por controlar los fenómenos naturales. La aparición de ritos y ceremonias tuvo una lógica estrechamente relacionada con la necesidad de garantizar la repetición de ciclos naturales vitales para la agricultura y para la supervivencia de las comunidades mesoamericanas.

Al norte de Mesoamérica se encuentra ubicada una región denominada Aridoamérica, debido a las condiciones climáticas extremas de esta región, las comunidades que se desarrollaron en ella fueron

23 Escalante Gonzalbo, P., 2004. *El México antiguo*. En: Nueva Historia mínima de México, El Colegio de México, Ciudad de México.

24 Holístico. Enfoque desde la antropología que relaciona a los campos de la vida social: organización social, política, religiosa y ciencia.

Broda, J., 2012. *Observación de la naturaleza y ciencia en el México prehispánico*. En: Brígida von Mentz, La relación hombre-naturaleza : reflexiones desde distintas perspectivas disciplinarias, Siglo Veintiuno, Ciudad de México. p104

25 Ibid. p 107.

26 Ibid. p. 119.

nómadas. La subsistencia de estos pueblos no hubiera sido posible sin la cuidadosa observación de los ciclos animales y vegetales. El aprovechamiento de los recursos naturales fue básico para sustentar sus necesidades, por lo cual crearon todo un sistema de organización social en el que existía la división y reparto interno del trabajo. "Eran pueblos móviles, vegetarianos y tejedores adaptados al desierto"²⁷.

Prácticamente todas las civilizaciones que habitaron Aridoamérica y en general al norte de Mesoamérica se caracterizaron por ser nómadas y, tanto estas civilizaciones, como las Mesoamericanas, obtuvieron de la observación y conocimiento de naturaleza la base de su supervivencia. Sin embargo, los factores en su contexto geográfico e histórico fueron definiendo las diferencias y similitudes en la interpretación que hicieron de ella.

Si abrimos el panorama a una escala global, encontraremos que la misma situación sobre la interpretación de la naturaleza ocurrió con las demás civilizaciones en el resto de los continentes. Podemos concluir que la capacidad de observación de la naturaleza ha significado para las sociedades humanas no sólo un recurso vital en el proceso de adaptación al medio y su posterior desarrollo y crecimiento. La naturaleza es también uno de los conceptos que se construyen en función a las características regionales del lugar en que se desarrolla cada cultura y se presenta de manera única dependiendo del momento histórico en que ocurre. Sin embargo, los conceptos e interpretaciones aceptados socialmente no suelen ser estáticos, el intercambio de conocimiento e ideas entre culturas es también un factor de evolución en el pensamiento global y de cada región. Si bien para América la llegada de Cristóbal Colón fue un evento determinante que promovió un drástico cambio cultural, a nivel mundial siempre ha existido la lucha por la dominación de unas civilizaciones sobre otras, provocando un constante cambio en la forma en que se percibe el mundo.

La influencia del pensamiento bajo el cual se desarrolla la cultura de cada época se refleja en las interpretaciones que de la naturaleza elabora, por lo que dicha interpretación se transformará y enriquecerá mientras la humanidad continúe en su infinita búsqueda de conocimiento.

1.2 Pensamiento científico

El universo de conocimientos, de experiencias, de percepciones del ser humano, no es posible explicarlo desde una perspectiva independiente de ese mismo universo. El conocimiento humano (experiencias, percepciones) sólo podemos conocerlo desde sí mismo²⁸

Una de las formas racionales mediante la cual la humanidad hemos comprendido y estudiado el mundo, la vida y su relación con el contexto y en general con la naturaleza es la ciencia, cuya raíz etimológica se encuentra en el latín *scientia* y significa conocimiento.

27 von Mentz, B., 2012. *La relación hombre-naturaleza vista desde la historia económica y social*. En: Brígida von Mentz. *La relación hombre-naturaleza : reflexiones desde distintas perspectivas disciplinarias*. Siglo Veintiuno Editores, Ciudad de México.. p. 78.

28 Maturana, H., Varela, F., 1984. *El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. p.11

El objetivo principal de la ciencia es conocer el mundo, a través de la generación del conocimiento y se distingue porque la validez de sus ideas debe ser verificable. Por lo anterior, requiere de metodología, tanto para la observación, como para la realización de experimentos que permitan comprobar las hipótesis que se hacen con base en la búsqueda de explicación de un fenómeno.

La biología (junto con sus diversas ramas) es la ciencia que trata de los seres vivos, su relación con otras ciencias ha sido fundamentales para comprender la relación entre naturaleza y vida. Este es un tema esencial para la biomimética, por lo cual, además del breve repaso hecho anteriormente sobre los antecedentes del concepto de naturaleza, contar con un marco general del desarrollo de la ciencia nos permitirá adquirir una visión más completa sobre la biomimética, el pensamiento científico y lo que actualmente entendemos por estos conceptos.

La ciencia tiene raíces tan antiguas como la historia de la humanidad, aun cuando no existía el término, la búsqueda de explicación de la humanidad sobre los fenómenos a su alrededor ha estado presente. Después de miles de años desde la aparición de las primeras sociedades nómadas, la observación astronómica permitió conocer los ciclos naturales y dominar la agricultura, dando paso al establecimiento de las primeras ciudades y eventualmente a los grandes imperios. El conocimiento de la geografía y el impacto de sus ciclos naturales dio pauta para la elección y formación de un vínculo con el territorio en que se asentaban; por ejemplo, los egipcios conocían y podían prever el flujo del río Nilo durante el año gracias a un calendario²⁹, siendo posible para ellos construir su vida a su alrededor.

La estructura social cambió, y se diversificaron tanto los estratos sociales como las ocupaciones de sus habitantes. Tuvieron la capacidad de crear y desarrollar nuevas tareas, dentro de las cuales se encontraba también el trabajo intelectual, permitiendo avanzar en ciencia, tecnología, el arte y la filosofía, entre otros.

Existe un sesgo en el registro histórico al que tenemos acceso actualmente, ya que las bibliotecas y recintos que resguardaban la información derivada de la investigación han estado expuestas a invasiones, incendios y demás eventos destructivos. Además, antes de existir el registro gráfico, el conocimiento se transmitía de manera oral, por lo que la invención de la escritura fue un hecho fundamental en el progreso de la ciencia.

La aparición del comercio entre ciudades propició, tanto el intercambio de mercancía, como el intercambio cultural y de conocimiento. Así por ejemplo la escritura originada en Mesopotamia, y la numeración arábiga originada en India, se difundieron a muchos otros lugares contribuyendo al desarrollo de las demás culturas.

En Grecia se desarrolló una de las civilizaciones con mayor reconocimiento en la historia de la ciencia. Tales de Mileto (624 a.C. a 428 a.C.) es considerado el padre de la ciencia, ya que fue el primero en intentar explicar los fenómenos naturales sin recurrir a la mitología. El grado de desarrollo que tuvo la filosofía en la Grecia Antigua, propuso una base para el pensamiento científico, gracias a filósofos como Aristóteles y Platón, quienes plantearon el razonamiento deductivo, el cual es un método que postula que las conclusiones están implícitas en las premisas. No existía conceptualmente una separación entre la filosofía y la ciencia. Durante esta época se generaron hipótesis que serían retomadas posteriormente, por ejemplo, la idea de la esfericidad de la tierra ya había sido afirmada por Pitágoras

En el siglo V a.C. el filósofo Anaxágoras explicaba la constitución de los seres como un conjunto de partículas indivisibles e inalterables que podrían ser de una infinita variedad. Según él, dichas partículas se ordenaban y conformaban por una fuerza a la que llamó *Nous* (del griego *νοῦς* que se traduce como mente o intelecto). De alguna manera estaba presente la idea de que debía existir “algo” que mantenía unidas dichas partículas y que la esencia de los seres dependía tanto de las partículas que lo conformaban, como de ese “algo” que las cohesionaba.

29 Wise Bauer, S., 2015. *The Story of Western Science: From the Writings of Aristotle to the Big Bang Theory*, 1ra ed. W.W Norton & Company, Nueva York. p. 30

Destacan otras dos estrategias de estudio ontológico. Demócrito con el **Atomismo**, buscaba partir de los elementos al todo y, desde una visión inversa, Arstóteles con el **Holismo** afirmaba que “el todo es más que la suma de las partes”³⁰, proponía un acercamiento del todo hacia sus elementos. Sobre estas dos visiones, en la actualidad, Mario Bunge propone que ambos tipos de aproximación son complementarios entre sí, pues la complejidad de la realidad trasciende a ambos acercamientos y es necesario reconocer que ambos son válidos y útiles.³¹

Durante la edad antigua, en América ocurrió de manera simultánea pero aislada, el desarrollo de las civilizaciones y la ciencia. La civilización más antigua conocida en Mesoamérica es la Olmeca (1200a.C. a 400 a.C.) y contaba con escritura, calendario y vastos conocimientos en matemáticas.

El fin de la edad antigua termina con la caída del Imperio Romano, el cual durante su mayor auge utilizó los conocimientos adquiridos durante sus invasiones para mejorar la tecnología que aplicó en el desarrollo urbano y para la guerra.

La guerra, durante la historia de la humanidad, ha tenido diversos orígenes dependiendo de la época en que se desarrolla. La religión y la política fueron grandes motores de la guerra durante la Edad Media en Europa occidental, misma que provocó el estancamiento de la investigación científica.

En Asia, el imperio Mongol llegó a ser el más extenso en territorio geográficamente contiguo en la historia. Si bien por un lado implicó el sometimiento de grandes civilizaciones como las que vivían en India, China y Persia, también incentivó el comercio e intercambio de conocimiento a lo largo de su imperio.

Durante la Edad Media (Siglo V d.C. - Siglo XV d.C.) los más grandes avances científicos sucedieron en el imperio Árabe, el cual se extendió hasta gran parte del norte de África, parte de Europa (principalmente España) y parte de Asia. Muchos de sus avances estaban estrechamente ligados al desarrollo de tecnología para la guerra, pues la investigación giró en torno a lograr la dominación territorial. Para el pensamiento científico destaca el análisis sobre el razonamiento que llevó a formular una forma primitiva de lo que derivó en el método científico.

Posterior a la Edad Media, llega la Edad Moderna junto con el Renacimiento, mismo que cambió el paradigma del pensamiento científico, pues sus ideales se basaban en retomar el espíritu de la cultura grecorromana. Éste fue sólo uno de muchos eventos que transformaron el mundo medieval, quizás uno de los más significativos fue la llegada de Cristóbal Colón a América, pues abrió las puertas no sólo al comercio a escala global, sino a la modificación del orden mundial en muchos aspectos: económico, cultural, político, etc.

Durante esta época, bajo constante amenaza, se realizaron experimentos y se enunciaron y demostraron nuevas hipótesis que fueron cuestionadas y castigadas por la Iglesia, pues desacreditaban los paradigmas aceptados por ella. Bajo estas condiciones hostiles, se realizan las primeras disecciones de cadáveres y el cuerpo humano y se comienza a conocer desde su estructura funcional. También se da a conocer el modelo heliocéntrico, opuesto al modelo anteriormente aceptado en el cual el sol y los planetas giraban alrededor de la tierra.

Ya hemos mencionado anteriormente la influencia que Descartes tuvo en la explicación de la vida desde un pensamiento mecanicista. Su filosofía fue crucial para sentar las bases de la ciencia y se caracterizó por una fuerte intención racionalista, a él se atribuye la frase *cogito ergo sum* (pienso luego existo); muestra del pensamiento desde el cual desarrolló su obra. El reduccionismo es uno de los rasgos más claros en el trabajo de Descartes, con el cual la ciencia pudo llegar a análisis muy específicos y segmentar al conocimiento.

En 1687 se publica la *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, donde Newton enuncia la Ley de la gravitación universal. El objetivo de la ciencia se asumía como la “búsqueda de leyes en la

30 Gershenson García, C., 2011. *The Implications of Interactions for Science and Philosophy*. Foundations of Science. 4 (18) pp.781–790.

31 Bunge, M., 2014. *Big Questions Come In Bundles, Hence They Should Be Tackled Systemically*. Systema: connecting matter, life, culture and technology. 2, p.6

naturaleza para describirla en términos matemáticos”.³² La ciencia se define como una institución y se separa de la filosofía y la religión, dando paso a que, figuras como Descartes, Galileo, Newton y Laplace definan los primeros métodos científicos.

De la influencia de Descartes surge la “ciencia moderna” y establece intenciones muy particulares en el desarrollo y trabajo científicos. Por ejemplo, desde el ideal de personajes como el científico Pierre Simon Laplace, “la meta de la física clásica era resolver fenómenos naturales en un juego de unidades elementales gobernadas por leyes “ciegas” de la naturaleza”.³³

La filosofía es un actor fundamental en la generación de las hipótesis, las cuales resultan del intento de comprender el mundo y los fenómenos. La explicación de la vida a través de la biología bajo la luz de la filosofía mecanicista, se reducía a que “el organismo vivo era descompuesto en células, sus actividades en procesos fisiológicos y por último fisicoquímicos, el comportamiento en reflejos condicionados y no condicionados, el sustrato de la herencia en genes discretos y así sucesivamente”.³⁴ Esta explicación de la vida, desde una perspectiva mecánica y bajo un pensamiento reduccionista, resultaba coherente en ese momento histórico. Sin embargo no llegó a una explicación contundente que aclarara ¿qué es la vida?, pregunta que aun actualmente se debate.

Si bien el pensamiento mecanicista y reduccionista sustentaba el desarrollo de la ciencia clásica, surgieron algunas teorías como respuesta a las interrogantes que, desde dicho pensamiento no se podían resolver. El vitalismo pretende explicar que la vida no se reduce a sistemas de mecanismos naturales, sino que existe una “fuerza vital” que distingue a los organismos vivos de la materia inerte. Durante el siglo XVIII el médico Paul Joseph Bartz fue uno de sus principales exponentes pero su ideas no fueron acogidas por la comunidad científica al no ser posible la demostración de su hipótesis.

El reduccionismo permeó las distintas capas de la historia de la ciencia, éste se centra en una sola parte de todo el universo que compone al conocimiento. Éste método fue clave en el avance y desarrollo del método científico, ya que la investigación de un tema de manera individual y aislada permitió avanzar a grandes pasos en cada uno de los campos del conocimiento de manera independiente. Sin embargo, siempre existían “huecos” en el cuerpo del conocimiento generado por la ciencia, pues el método reduccionista no visualizaba a los fenómenos en su totalidad.

El siglo XIX se caracteriza por ser una época de grandes cambios para la humanidad. La revolución industrial, que había comenzado en el siglo XVIII implicó el replanteamiento del sistema económico en el mundo. El papel de los avances en el conocimiento científico fue una clave para el desarrollo de la tecnología que permitió la instauración de un sistema basado en la producción en serie, además hubo un auge en las comunicaciones y en el transporte gracias al desarrollo de inventos como la máquina de vapor, el ferrocarril, el telégrafo, etc. Fue también un siglo de grandes descubrimientos como la electricidad, que implicó importantes cambios en casi todos los aspectos de la sociedad en las grandes ciudades.

La sólida estructura para la investigación basada en el método científico, fomentó la formación de las universidades y sociedades científicas que impulsaron a la ciencia.

En el siglo XX ocurrieron grandes cambios en el orden mundial. La segmentación del conocimiento científico se hace especialmente evidente en el grado de especialización al que han llegado las universidades e institutos de investigación. La tecnología favoreció a la expansión del conocimiento en terrenos donde antes era imposible explorar. Einstein, Böhr y Planck han explicado cómo las leyes de Newton no se pueden aplicar en escalas muy grandes o muy pequeñas.

La aparición de las computadoras ha revolucionado la forma en que se desarrolla la ciencia, permitiendo el análisis de grandes cantidades de datos a una escala mayor, dando paso a la investigación de fenómenos desde perspectivas más complejas.

32 Gershenson García, “Pensamiento científico”.

33 von Bertalanffy, L., 1976. *Teoría general de los sistemas*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. p.33.

34 Ibid. p.31.

Si bien el pensamiento que fundamenta al ejercicio científico a través de los años cambia constantemente, la ciencia ha representado para la humanidad un constante acercamiento y una búsqueda de la verdad, estructurada por un método, la observación y mediciones. Para poder progresar, la ciencia debe primero asumir una serie de paradigmas, a los cuales Thomas Khun definió como *“una constelación de logros, conceptos, valores, técnicas, etc, compartidos por una comunidad científica y usados por ésta para definir problemas y soluciones legítimas”*³⁵. La existencia de paradigmas permite que la ciencia continúe avanzando y se construya conocimiento, sin embargo, los paradigmas no son irrefutables ni eternos, y justamente en éste hecho radica la naturaleza cambiante y en constante desarrollo de la ciencia.

La ciencia sin duda nos ha permitido conocer el universo en sus diferentes escalas, y cada día con mayor claridad, no obstante, no es la única vía mediante la cual interpretamos nuestro contexto, existe todo un sistema de creencias que asumimos y que nos dan la pauta para relacionarnos tanto con nuestras sociedades, como con nuestro mundo. A través de la historia, también dicho sistema de creencias se ha transformado, teniendo influencia en la manera de interactuar a nivel individual, como sociedad y con nuestro contexto.

1.3 Pensamiento sistémico

En el breve repaso sobre el pensamiento científico, podemos entender que, a través de la historia, la ciencia se ha visto influenciada fuertemente por un acercamiento reduccionista, mismo que permitió un gran desarrollo en algunos campos del conocimiento. Sin embargo, los avances en tecnología e investigación y los cambios en la forma de percibir el mundo, han derivado en nuevas maneras de buscar conocimiento, tal es el caso del pensamiento sistémico.

El reduccionismo se basa en el análisis para explicar un fenómeno, segmentándolo en partes para estudiar y entender cada una y posteriormente reintegrarlo todo. En este tipo de estudio, se busca aislar cada uno de los elementos para tener una profunda comprensión de sus propiedades aisladas. Podemos comprender mejor este concepto si al investigar nos hacemos la pregunta ¿Cómo funciona algo?

Los cambios de paradigma en la ciencia, han dado pie a que el reduccionismo conviva con otras formas de estudio. El pensamiento sistémico se basa en la síntesis para la explicación de un fenómeno, partiendo de la comprensión de la relación que hay entre las partes que lo componen, con lo cual se busca comprender las propiedades que surgen en las interacciones entre los componentes y el contexto. Este concepto se basa en la pregunta ¿Porqué funciona algo?

En términos científicos, podemos decir que, las dos preguntas descritas en los párrafos anteriores, plantean acercamientos que se conocen como cualitativos y cuantitativos, mismos que no son excluyentes entre sí y que pueden complementarse. Ambos son útiles e importantes en el desarrollo, tanto de las ciencias sociales como las ciencias exactas, su importancia radica principalmente en que permiten la integración entre ellas y dan una base a la interdisciplina.

En 1954 aparece el libro “Teoría general de los sistemas”, fue escrito por el biólogo Ludwig von Bertalanffy, con la cual postula que se pueden estudiar los sistemas independientemente de su sustrato y que existen leyes que se pueden aplicar a los mismos no importando cual sea su

35 Khun, T., 2006. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

naturaleza o temática³⁶. Este trabajo está basado en el surgimiento de teorías científicas enfocadas en la comprensión de fenómenos desde distintas áreas del conocimiento. Dichas teorías provienen principalmente de ciencias que aparecen a partir de finales del siglo XVIII. Von Bertalanffy encontró que los científicos llegaban a conclusiones muy similares independientemente de la naturaleza de sus investigaciones, mismas que coincidían entre sí por la intención de conocer y explicar los fenómenos a una escala mayor y desde una perspectiva que trasciende al pensamiento reduccionista.

La aparición de la “Teoría general de los sistemas” tiene una especial relevancia ya que en su momento trajo a la agenda científica temas que hasta ese momento habían sido considerados como “esotéricos” o “metafísicos”, dando paso a la expansión del alcance de la ciencia.

El hecho de que se esté ampliando y diversificando el pensamiento científico, dada la complejidad de los fenómenos en general, ha demandado que la ciencia los estudie como sistemas, y no como conglomerados de partes. Se trata de no aislar a los fenómenos en contextos estrechamente confinados, sino al contrario, abrir interacciones para examinarlos y examinar segmentos de la naturaleza cada vez mayores.³⁷

Durante la segunda mitad del siglo XX, Robert Wiener, en colaboración con Arturo Rosenblueth acuñaron el concepto de cibernética, mismo que se define como el estudio científico del control y comunicación tanto en animales como en máquinas. La cibernética tuvo una gran importancia para el desarrollo del pensamiento sistémico, ya que se desarrolló a partir del estudio de analogías con entidades artificiales, como los circuitos eléctricos, con entidades naturales, como el cerebro.

El observar a los fenómenos desde una perspectiva sistémica, implica estudiarlos a partir de sus interacciones, independientemente de su naturaleza o sustrato. Mario Bunge propone que la teoría de sistemas no es propiamente una teoría, sino un punto de vista o un enfoque que permite dimensionar y contextualizar los problemas³⁸.

El pensamiento sistémico fue notorio, en la mayoría de las áreas del conocimiento, con más intensidad hacia la segunda mitad del siglo XX. Un ejemplo es, como mencionamos anteriormente, el desarrollo de una parte del trabajo de Buckminster Fuller, el cual se basa en sistemas estructurales que funcionaban dependiendo de la manera en que relacionaba a sus componentes.

En el área de la biología no fue menor el impacto que causado por el pensamiento sistémico, un personaje clave para comprender este tema fue Gregory Bateson, quien consideraba que el lenguaje de la naturaleza, era un lenguaje de relaciones, mismas que son la esencia del mundo vivo. Argumentaba que la forma biológica está constituida por relaciones, mas no por partes, y trasladó este tipo de pensamiento al trabajo que desarrolló sobre el proceso de pensamiento³⁹.

El impacto del pensamiento sistémico llegó al espacio interdisciplinar, no sólo por que ofreció un tipo de pensamiento cuyas bases fundamentaban la explicación de los fenómenos en diferentes disciplinas, también permitió unificar los temas que tradicionalmente se segmentaban según el campo de conocimiento al que pertenecían

La ecología toma su nombre desde 1866, gracias a Ernst Haeckel, quien es considerado el padre de dicha ciencia, la cual se encarga del estudio de las relaciones de los seres vivos entre ellos y el ambiente en que habitan. En la segunda mitad del siglo XX, aparece el término “Ecología profunda”, creado por el filósofo Arne Naess, con el cual denominaba a una ciencia enfocada en promover cambios culturales, políticos, sociales y económicos, con la finalidad de lograr una relación armónica entre la humanidad y el planeta. Además de la evidente preocupación por el futuro de la humanidad, la ecología profunda da muestra de la capacidad que ha adquirido la ciencia para abordar problemáticas cada vez más complejas, mismas que el pensamiento sistémico permite comprender.

36 von Bertalanffy, L., 1976. *Teoría general de los sistemas*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

37 Ibid. p.8. Envía a Ackoff, R.L., 1959. *Games Decisions and Organization*. General. Systems. 4, 145–150.

38 Bunge, M., 2014. *Big Questions Come In Bundles, Hence They Should Be Tackled Systemically*. Systema: connecting matter, life, culture and technology. 2, p.2

39 Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p.187.

La visualización de la complejidad del mundo, ha sido posible gracias a la expansión de las capacidades de observación que la tecnología permite. Así mismo, la información y los datos que se manejan en las disciplinas han tenido un crecimiento exponencial desde finales del siglo XX hasta nuestros días. El pensamiento sistémico surge como consecuencia de este desmedido crecimiento en la complejidad que representa comprender el mundo en nuestros días. Posteriormente, en el Capítulo 3, se explicarán conceptos básicos para adentrarse en el pensamiento sistémico.

Capítulo 2. Biología aplicada

En el capítulo anterior, pudimos observar que la naturaleza ha tenido diversas interpretaciones a través del tiempo. Particularmente en el arte, la arquitectura y las artes aplicadas, es evidente la recurrente aparición de temas relacionados con los organismos vivos y los entornos naturales.

Es interesante observar que durante el siglo XX ocurrió un cambio importante en cuanto al significado de la naturaleza en la sociedad, pues la aparición de las grandes ciudades provocó que una significativa parte de la población mundial adoptara una forma de vida desconectada casi en su totalidad de los ambientes naturales. Los ideales románticos sobre la naturaleza, que con el Art Nouveau llegaron a su máxima expresión, fueron reemplazados por una tendencia a dominar y explotar a la naturaleza, además de observarla con el propósito de saber cómo funciona para replicar ese aprendizaje en un mundo regido por la racionalidad. Es dentro de este contexto que aparecen los primeros registros de disciplinas como la *biomimética* y la *biónica*.

A modo de paréntesis, cabe mencionar que, en la actualidad, la biomimética y la biónica se consideran disciplinas estrechamente relacionadas con la innovación, el cual es un tema estratégico en el diseño, especialmente el industrial. La creciente competencia entre marcas ha generado la necesidad de crear productos que ofrezcan actualizaciones que los coloquen en los primeros lugares de preferencia entre los consumidores.

El sistema económico en el que nos encontramos inmersos ha promovido la búsqueda de innovación, para la cual, la naturaleza ha significado en muchas ocasiones una fuente de referencias. La innovación basada en la naturaleza ha sido posible gracias a la ciencia, especialmente la biología. Resulta entonces lógico que las primeras definiciones registradas, tanto de biónica, como de biomimética, hayan aparecido en el campo científico.

Otto Schmitt fue un científico cuya labor estuvo relacionada con varios campos del conocimiento, como la física, la biología y la medicina, entre otros, lo cual le permitió entender el trabajo interdisciplinario y llegar a conclusiones como:

La biofísica no es tanto un tema de interés sino un punto de vista. Es un enfoque sobre los problemas de la ciencia biológica utilizando la teoría y tecnología de las ciencias físicas. En sentido inverso, la biofísica es también un enfoque del biólogo sobre problemas de física e ingeniería, sin embargo, este aspecto ha sido descuidado.⁴⁰

Su comprensión sobre las analogías entre los fenómenos naturales, estudiados desde la biología, aplicados al desarrollo de la tecnología, lo llevaron a utilizar el término biomimética, de los cual se tiene registro desde 1969, cuando lo utilizó en un artículo que se publicó en el "Tercer congreso Internacional de Biofísica".

Pocos años después, En 1974 el diccionario Webster's, presentó la siguiente definición para la palabra Biomimética:

40 Harkness, Jon M. 2002. In *Appreciation: A lifetime of connections Otto Herbert Schmitt, 1913-1998. Physics in Perspective* 4 p. 481

Es el estudio de la formación, estructura o función de sustancias y materiales producidos biológicamente (como las enzimas y la seda) así como de mecanismos y procesos biológicos (como la síntesis de proteínas y la fotosíntesis), especialmente con el propósito de sintetizar productos similares mediante mecanismos artificiales que imiten a los naturales.

Anteriormente, en 1957 ya se conocía el concepto de biónica, el cual fue presentado por Jack Steele, quien la definió de la siguiente manera:

Es la ciencia de sistemas que tienen alguna función copiada de la naturaleza, o que representa características de sistemas naturales o sus analogías.

Tanto la perspectiva de Schmitt, como la de Steele, parten de las ciencias, y el trabajo de ambos se relaciona con la aplicación del conocimiento científico en el desarrollo de la tecnología. Profesionalmente ambos se desarrollaron dentro de las fuerzas armadas, y en el caso de Otto Schmitt hay también un desarrollo de investigación en universidades e instituciones independientes a la milicia. Esta mención es importante, ya que nos permite reforzar la idea de que el estudio de la naturaleza en el siglo XX, obedeció en gran parte a la búsqueda de referencias para lograr aplicaciones racionales y funcionales, las cuales debían ser consistentes con el mundo moderno.

Dentro de un contexto más actual, Julian Vincent ha propuesto que hay una intención en común tanto en la biónica, la biomimética, así como en otros términos que han aparecido actualmente, como son: biomimicry, biognosis, diseño bioinspirado, etc. Para Vincent, todas las palabras anteriores son sinónimos, ya que tienen en común la copia o adaptación a partir de la biología para el uso práctico en ingeniería, diseño, química, etc. Además, plantea que el interés en las abstracciones de la naturaleza van más allá de lo que se quiere imitar, propone que también debe ser entendido el proceso mediante el cual ocurren los fenómenos en la naturaleza, pues en él se pueden observar otros factores relevantes en diversas disciplinas y ciencias, como la energía, eficiencia, materiales, estructura, etc.

Si bien para Vincent el acto de inspirarse en la naturaleza es el mismo desde cualquier disciplina, la forma en que se estudia la naturaleza depende de lo que sea relevante en cada caso:

Como biólogo, al mirar un organismo pienso "Si tú eres la respuesta al problema de la vida ¿Cuál fue la pregunta original? En el contexto de la ingeniería, donde se requiere diseñar una estructura integrada y exitosa, el ingeniero se pregunta "Si existen los diseños necesarios para vivir ¿Cómo puedo implementarlos de la mejor manera?"⁴¹

En el caso del diseño, Fabrizio Vanden Broeck, ha refinado una definición de biónica para ajustarla al perfil de la disciplina, concluyendo en lo siguiente:

"Estudio de los sistemas y organizaciones naturales, con miras a analizar y recuperar soluciones funcionales, estructurales y formales para aplicarlas a la resolución de problemas humanos, a través de la creación de tecnologías y la concepción de objetos y sistemas de objetos."⁴²

Janitzio Égido utiliza el término biodiseño para definir a la actividad soportada por la biónica y la biomimética, y lo define como "una disciplina integradora de las diferentes áreas que trabajan en la aplicación de los principios biológicos al diseño y que contengan los métodos y principios de ambas..."⁴³. Él hace una diferencia entre la biónica y la biomimética, pero indica que tienen coincidencias en sus procesos.

41 Vincent, J.F., 2001. *Stealing ideas from nature*. Deployable structures, CISM International Centre for Mechanical Sciences 412, p.2.

42 Vanden Broeck, F., 2000. *El diseño de la naturaleza o la naturaleza del diseño*, 1ra ed. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México. p.16.

43 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México..p.121.

El surgimiento de nuevos discursos en el diseño que buscan fundamentarse en la inspiración en la naturaleza, es un resultado lógico de la creciente capacidad de visualizar las posibilidades que ella ofrece, y tomar referencias en las respuestas que han encontrado los seres vivos para sobrevivir en su contexto.

Entre dichos discursos encontramos a la biofilia, cuyo objetivo es el desarrollo de espacios que logren una relación equilibrada entre el usuario y el contexto y propone que, para lograrlo, se deben agregar valores a los espacios arquitectónicos. El bienestar para el usuario y la sostenibilidad de la obra arquitectónica, mediante el aprovechamiento de los recursos naturales locales, son aspectos prioritarios en los proyectos definidos por un enfoque biofílico.

El diseño es una disciplina cuyos valores varían dependiendo de la sociedad, más adelante profundizaremos sobre este tema, pero es importante mencionarlo pues encontramos que la biomimética representa una herramienta valiosa en la búsqueda de referencias en la naturaleza en diversos niveles de aplicación, mismas que pueden trasladarse, también en distintos niveles, al campo de acción del diseño.

2.1 Biomimética

Retomemos la definición de Julian Vincent para el concepto Biomimética: “Es el resultado tecnológico de tomar ideas de la naturaleza”. Aplicando esta definición al campo del diseño, nos encontramos con que el diseñador se encuentra, por un lado, con posibilidades ilimitadas para extraer ideas de la naturaleza, por otro lado, también representa una tarea de ardua búsqueda e interpretación de conocimiento.

Por lo anterior, con el desarrollo de la Biomimética han surgido clasificaciones que representan una guía en la búsqueda de la referencia más adecuada para cada proyecto de diseño.

Una forma de aproximarse a la biomimética es la presentada por la Agencia Espacial Europea, la cual conceptualizó el “Árbol de la tecnología biomimética”, en el que propone cinco categorías o ramas como las principales áreas de acción de la biomimética⁴⁴.

- Estructuras y materiales
- Mecanismos y procesos
- Conducta y control
- Sensores y comunicación
- Biomimética generacional

En esta clasificación, existe una intención de organizar la información para orientar la investigación, y posteriormente seleccionar un organismo para usarlo como referencia.

La variedad que se muestra en la clasificación presentada por la Agencia Espacial Europea, nos permite ver que, prácticamente nos encontramos con una fuente inagotable de referencias en una amplia variedad de campos de aplicación, principalmente relacionada con la tecnología. Por lo anterior, son necesarias herramientas y guías que nos orienten y permitan navegar y comprender dicho universo de referencias.

44 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México. p.93.

Otra aproximación es la que presenta Janine Benyus, en la cual considera que la naturaleza puede ser vista desde tres niveles⁴⁵:

- Como modelo. Estudio de ejemplos de la naturaleza y posteriormente imita o se inspira en estos diseños y procesos para solucionar problemas del hombre.
- Como medida. Es el uso de un “estándar ecológico para medir las bondades de nuestras innovaciones”.
- Como mentor. Una nueva forma de observar y evaluar la naturaleza, con base en lo que podemos aprender de ella y no en lo que podemos extraer de ella.

Estos tres niveles pueden ser útiles para dar una justificación o un argumento al valor que damos al diseño cuando aplicamos la biomimética, pues más que un nivel de aplicación, representan escalas de valores que pueden ser deseables en los proyectos de diseño. Sin embargo, se requiere de mayor profundidad cuando se está en la búsqueda de una referencia en la naturaleza que resulte coherente con el proyecto.

2.1.1 Proceso de diseño en la biomimética

La biomimética es la aplicación de un principio encontrado en un organismo vivo, en un objeto, sistema o entidad hecha por el hombre. Específicamente para la labor del diseñador, la biomimética requiere que el proceso de diseño se reajuste y se incluya en el un proceso nuevo, en el cual se combinan los procesos inherentes a la disciplina del diseño, con el conocimiento obtenido a partir de la biología, resultando en una abstracción que encuentra una aplicación en el contexto humano. Para explicar dicho proceso, haremos referencia al esquema de Janitzio Égido sobre proceso de biodiseño⁴⁶.

El esquema en la Ilustración 14 nos da una idea general, pero clara de los diferentes pasos que se siguen al diseñar partiendo de una referencia en la naturaleza, es decir, la **entidad biológica**.

Cabe mencionar, que la que se expone es una secuencia “ideal” del proceso. Durante la práctica del diseño, incluso cuando no se recurre a la biomimética, constantemente se regresa a pasos anteriores. En un primer acercamiento, hay un intento por sumergirse en el tema y absorber la mayor cantidad de información, sin embargo, resulta muy difícil comprender en este punto un tema nuevo. Por lo anterior, aun cuando estemos casi en la parte final del proceso, es probable y es normal que descubramos que necesitamos regresar a las primeras etapas, o revisar algún detalle con mayor detenimiento.

Paralelamente al proceso de biodiseño, existen recursos que coadyuvan a la búsqueda de referencias adecuadas para la aplicación de diseño que buscamos.

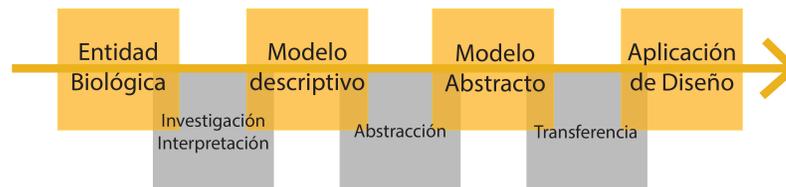


Ilustración 14: Proceso de Biodiseño de Janitzio Égido

45 Benyus, J., 2002. *Biomimicry. Innovation inspired by nature*, 1ra ed. Harper Perennial, Nueva York.

46 Para mayor profundización y detalle de dicho proceso, así como la versión original del esquema citado, se recomienda ampliamente leer el Capítulo IV de Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México. p.121.

Existen metodologías como la matriz TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving), en la cual se clasifican los problemas en 5 niveles. Está sustentado en una base de datos de innovaciones y ofrece una serie de respuestas, orientadas a perseguir la innovación en las soluciones encontradas. Genrich Altshuller identificó cinco niveles e los que se puede desarrollar TRIZ, mismos que se describen en la Tabla. 1

Esta clasificación en los niveles de alcance en las innovaciones del trabajo puede ser transferida a cualquier campo, incluyendo el diseño. Con base en la matriz TRIZ, Julian Vincent ha realizado mapas del alcance que pueden tener las innovaciones basadas en entidades biológicas⁴⁷.

El proceso mediante el cual se desarrolla la biomimética no es sencillo, pues el diseñador se enfrenta a un contexto que poca relación guarda con su formación natural, al menos en el ámbito académico. Por lo que las clasificaciones y herramientas mencionadas brevemente en el presente capítulo, nos permiten adentrarnos y comenzar a conocer el rango de alcance de la biomimética.

Nivel	Alcance	Requerimientos
1	Mejora sencilla a un sistema técnico	Conocimiento del área
2	Mejora sobre una contradicción técnica	Conocimiento de áreas relacionadas
3	Mejora que implica la resolución de una contradicción	Conocimiento de otras industrias
4	Desarrollo de una nueva tecnología que implica una mejora totalmente nueva	Conocimiento de otras áreas de conocimiento científico
5	El descubrimiento de un nuevo fenómeno	Conocimiento de diversas áreas de conocimiento científico

Tabla 1: Niveles de innovación de TRIZ de Genrich Altshuller

2.1.2 Campo de aplicación de la biomimética

Las aplicaciones de la biomimética pueden encontrarse en un amplio espectro de la actividad dentro de la sociedad. Existen instituciones y organizaciones cuyo discurso se relaciona estrechamente a la biomimética. Por otro lado, también surgen ejemplos de biomimética y de inspiración en la naturaleza que se dan de manera aislada y como respuesta a una necesidad específica.

Organizaciones

A continuación, se mencionan algunas de las organizaciones que recurren a la biomimética o la inspiración en la naturaleza para basar y dar valor a su trabajo. La lista se complementa con una breve descripción de sus objetivos, misma que fue obtenida de los sitios web de las organizaciones:

- **Swedish Biomimetics 3000®**
Toma inspiración de la naturaleza (biomimética) como recurso para sustentar nueva propiedad intelectual patentable, misma que pueda ser desarrollada en tecnología radical y disruptiva, con valor comercial en aplicaciones industriales.

Página web: <http://swedishbiomimetics.com/>

⁴⁷ Vincent, J.F., 2001. *Stealing ideas from nature*. Deployable structures, CISM International Centre for Mechanical Sciences.

- **BIOKON international**

Es una coalición de científicos e instituciones que promueven y apoyan el progreso de la biomimética, biónica y tecnología bio-inspirada. Uno de los objetivos centrales de la asociación es incrementar el impacto de la cooperación entre científicos que trabajan en el campo de la biomimética.

Página web: <http://www.biokon-international.com/>

- **FESTO**

Es una empresa dedicada a la automatización de procesos industriales. Cuenta con un área de investigación, dentro de la cual existe el "Bionic Learning Network". El cual es presentado de la siguiente manera:

En la vida cotidiana de la fábrica se llevan a cabo tareas típicas de la técnica de la automatización como el agarre, el desplazamiento y la colocación de bienes, así como el control y la regulación de procesos. Todas estas tareas las resuelve, sin duda, la naturaleza de forma sencilla y con poco gasto energético. ¿Que sería más lógico que observar sus fenómenos y aprender de ellos?

Página web: <https://www.festo.com/group/es/cms/10156.htm>

- **Biomimicry 3.8 y Biomimicry institute**

Es un enfoque para la innovación que persigue soluciones sustentables a los retos de los humanos, mediante la emulación de los patrones y estrategias probados por la naturaleza a través del tiempo. El objetivo es crear productos, procesos y políticas (nuevas formas de vivir) que se adapten adecuadamente a la vida en la tierra a largo plazo.

Página web: <https://biomimicry.net/>

- **Boston Robotics**

Desarrollan robots que se mueven y desplazan al igual que los animales. Combinan principios de dinámica, control y balance con diseños mecánicos sofisticados, electrónica innovadora y software.

Página web: <https://www.bostondynamics.com/>

Podemos observar que el común denominador en las organizaciones citadas, es el empleo de la biomimética y en ocasiones de la biónica para argumentar su trabajo. Aunque cada una de ellas se soporta en distintos valores y se relaciona con diferentes campos de la industria, es notorio el acento que ponen al relacionar a la biomimética, y en general a la inspiración en la naturaleza con la innovación.

Aun cuando se hace un énfasis en la relación entre las cualidades innovadoras de un proyecto hecho a partir de la biomimética, los diseñadores debemos tomar consciencia de las implicaciones de presentar un proyecto como una innovación, pues necesitamos contar con argumentos sólidos y confiables en nuestros proyectos. Es necesario un profundo cuestionamiento acerca de los resultados que se obtienen a partir del uso de la biomimética como parte del proceso de diseño. Deben buscarse métodos de evaluación, reflexión y comparación de los resultados que se obtienen. Una herramienta que nos puede dar una guía para evaluar el grado de innovación de los proyectos que realicemos a partir de la biomimética, la encontramos en los niveles de innovación de la matriz TRIZ, mencionada anteriormente, pues aun cuando dicha categorización está basada en innovaciones relacionadas con la ingeniería, los conceptos que presenta, son también conocidos y coherentes en el área del diseño.

La inclusión de la biomimética en organizaciones vinculadas a la consultoría en la industria, es una muestra del valor que se le da a la naturaleza en nuestros días, pues por un lado continúa siendo una

fuentes de inspiración para abstraer modelos funcionales al contexto artificial de los humanos, destacando algunos conceptos fuertemente arraigados en la industria como la eficiencia, reducción de desperdicios, variedad de propuestas, experimentación, entre otros. Por otro lado, existe el discurso en la práctica de la biomimética en el que las referencias a la naturaleza parecieran ser la clave a la problemática contemporánea. Aunque no es un asunto prioritario en el presente documento, considero importante reflexionar sobre este último tema, pues al estudiar un sistema tan complejo, como es la naturaleza y la forma en que todo está consistente y coherentemente relacionado dentro de ella, es probable que lleguemos a conclusiones idealizadas. Por lo anterior, es necesario que el diseñador sea capaz de cuestionar el impacto real de su trabajo, comenzando por ser crítico con los discursos que asume y hace parte de la fundamentación de su propio trabajo.

Coincido con la idea de que la naturaleza es un ejemplo de sostenibilidad, sin embargo, la traducción de sus principios al contexto humano se encuentra sesgado, tanto cultural como cognitivamente, por la limitada capacidad de la humanidad para comprenderla en su total magnitud. Para lo cual necesitamos realizar un trabajo comprometido que vaya más allá del diseño y se relacione con las demás áreas del conocimiento, es decir, es un trabajo interdisciplinario. Resulta relevante mencionar que no todos los proyectos basados en biomimética (quizá ninguno) tienen un alcance semejante al que logra la naturaleza en cuanto a sostenibilidad, lo que se puede lograr, es un acercamiento en diferentes niveles.

Ejemplos

Al inicio de este segmento del capítulo, mencionamos que existen ejemplos de biomimética y de inspiración en la naturaleza que surgen como respuesta a una necesidad particular, de los cuales se ha hecho la siguiente selección:

- **Bone Chair (silla hueso) - Joris Larman**

Esta silla está diseñada mediante un proceso descrito como “evolutivo”. Se construyó con el ejemplo de la estructura de los huesos, misma que tiene la cantidad de material mínima, que le permite tener un peso ligero, pero sin perder la rigidez que demanda el cuerpo al que pertenecen.

Para su realización se utilizó un software desarrollado por el Centro de Desarrollo Adam Opel AG⁴⁸, dicho software imita las dos premisas mencionadas anteriormente para diseñar partes de automóviles.

El proceso requirió de la creación de un modelo tridimensional y una simulación virtual de los puntos específicos en que se aplica estrés en una silla. Dentro de esta simulación, un algoritmo descarta el material que no se requiere en la estructura, sin debilitarla. El diseñador describe este software como una herramienta de escultura digital de alta tecnología.



Ilustración 15: Bone Chair, Joris Laarman, 2006

48 Éste centro es parte de “General Motors Engineering Europe”

La aplicación de este proceso ha sido explorada por el diseñador en otros objetos, creando toda una línea de mobiliario.

Observamos que el proceso de diseño integra la tecnología de un software que resuelve la estructura a partir de principios en la naturaleza, los cuales fueron interpretados previamente y llevaron se tradujeron a un "lenguaje digital". La naturaleza se considera, desde la perspectiva del diseñador, como un referente en el cual la producción, la estructura del objeto y su aspecto estético se encuentran unidos.

También es relevante mencionar que en este proyecto el diseñador se convierte en un personaje clave que unifica distintos campos del conocimiento. Pues materializa en un objeto la investigación y la técnica originados desde otras disciplinas.

- **Floral girators - Ross Lovegrove**



Ilustración 16: Floral girators, Ross Lovegrove, 2006-2008

Este proyecto conceptual se realizó con la intención de dar una inspiración floral a los molinos de viento que generan energía.

En este ejemplo de inspiración en la naturaleza, uno de los valores mas destacados es la estética, la cual pareciera que pretende emular un paisaje natural al conferir rasgos estéticos a los molinos, que les da una apariencia semejante a las flores y a otros elementos orgánicos como hongos.

- **Conceptos ciudad "Marine City" – Kiyonory Kikutake**

Kikutake fue un arquitecto que, a través de sus conceptos de ciudades propone un cambio de "la era de las máquinas a la era de la vida". Dada la creciente densidad de población en las ciudades de Japón, diseñó en 1958 una ciudad industrial artificial para la bahía Suruga, compuesta de plataformas flotantes en el mar.

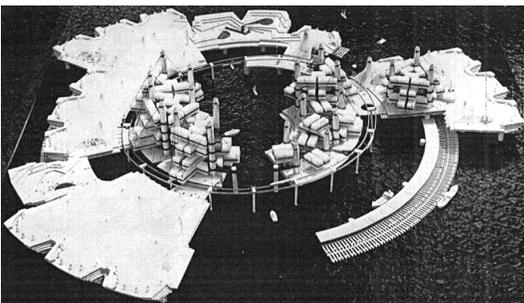


Ilustración 17: Marine City, conjunto. Kiyonory Kikutae. 1958

La relación con la naturaleza en este proyecto surge como resultado de una necesidad real, pues en aquel momento Japón estaba restableciéndose de los efectos de la posguerra, por lo que la industria experimentó un fuerte crecimiento buscando subsanar su economía. Además, la situación vulnerable del país frente a los terremotos, representa también un reto en la construcción de ciudades. La propuesta de Kikutake no se limitaba solo a ganar espacio para las ciudades, también estaba basada en la comprensión de la naturaleza para crear entornos artificiales. Para lograr lo anterior, fue necesario desarrollar

todo un sistema que resultase consistente con su contexto. Cabe mencionar que Kikutake fue uno de los principales exponentes del movimiento Metabolista, el cual buscaba emular el crecimiento orgánico de los seres vivos, principalmente en las mega estructuras.

- **Turning torso (torso girando) Santiago Calatrava**

Ubicado en Malmo, Suecia, este rascacielos que pretende remitirse a la forma de un torso girando, se compone de nueve bloques cuya planta tiene la forma de un pentágono irregular. Las nueve secciones giran consecutivamente hasta completar un ángulo de 90°.

La abstracción estética en este proyecto no es completamente evidente, los rasgos de una columna vertebral en torsión se dibujan de una manera abstracta. La forma en que se conforma la estructura, a partir de segmentos que simulan vértebras, le confiere algunas propiedades de flexibilidad. Sin embargo, la estructura no sólo se logra mediante la analogía de elementos en una columna vertebral o en un torso girando, también se recurre a otros elementos tecnológicos para que la resistencia del rascacielos sea coherente con su escala.



Ilustración 18: Turning torso.
Santiago Calatrava. 2005

- **Bionic car Mercedes benz**

Este concepto de auto fue desarrollado en 2005. En él se emula la forma del pez caja, *Ostracion cubicus*, su forma angular y cuadrada resultó conveniente para diseñar una estructura con cualidades hidrodinámicas adecuadas para el movimiento de masa con el mínimo empleo de energía. Es un modelo pionero de una generación de autos compactos con requerimientos de energía mínimos.

Este proyecto es un ejemplo en el cual podemos observar cómo un organismo, puede encontrar, además de una aplicación que responde a una necesidad específica, otras cualidades valiosas para el proyecto de diseño. El principal objetivo de emular la forma del pez caja, se encontró en la disminución de la resistencia que opone al agua, sin embargo, la razón para elegir a esta especie va más allá, pues su forma pudo ser adaptada a un automóvil con un espacio interior considerable para llevar un número de pasajeros promedio.

Los ejemplos anteriores de inspiración en la naturaleza, nos permiten detenernos a reflexionar sobre cómo pensamos, desde el diseño, en la imitación de los seres vivos y cómo hacemos uso de ello para argumentar nuestro trabajo.

Tanto en el diseño, como en las demás áreas del conocimiento la práctica no se limita a la aplicación del aprendizaje adquirido en la academia, la práctica es también una fuente de entendimiento que une a la teoría con la realidad del



Ilustración 19: Entidad biológica,
Ostracion cubicus



Ilustración 20: Abstracción



Ilustración 21: Aplicación de diseño.
Bionic car. 2005x

mundo. La práctica de una profesión, disciplina u oficio, representa también la posibilidad de expandir el conocimiento al interactuar y relacionarse con otras áreas, frente a lo cual, el diseño toma un papel importante pues, “abre un camino a disciplinas neotéricas⁴⁹ que necesitamos si pretendemos conectar e integrar el conocimiento de varias especializaciones en resultados productivos para la vida social e individual”⁵⁰.

Por lo anterior, específicamente en una disciplina como la biomimética, se debe tener una idea clara de sus alcances frente al diseño. La tabla 2 muestra una clasificación hecha por Richard Buchanan sobre los tres tipos de investigación en el diseño⁵¹:

Tipo de investigación	Descripción
Clínica	Está dirigida a un caso en particular
Aplicada	Problemas que se encuentran en un tipo general de proyectos o situaciones
Básica	Se enfoca en comprender principios básicos de problemas fundamentales

Tabla 2: Tipos de investigación Richard Buchanan

La investigación a través de la biomimética, puede relacionarse con los tres tipos de investigación mencionados, pues la naturaleza puede ser observada a diferentes escalas, encontrando referencias para cada una de ellas.

Es fundamental, hablar de la biomimética no solo como “una disciplina que imita a la vida”, sino contextualizarla con respecto a las perspectivas actuales de la biología y la ciencia en general pues, como observamos en los ejemplos, los problemas o necesidades que se pretende resolver a partir de referencias en la naturaleza, tienen índoles diversas. Es por ello que el trabajo del diseñador dentro del proceso de la biomimética, adquiere un papel de interpretación y unificación de conocimientos. Ésto no quiere decir que el diseñador deba tener dominio de todos los campos del conocimiento que

intervienen en la biomimética, se refiere a su capacidad de crear puentes que traduzcan la diversidad del conocimiento en una aplicación en el contexto humano.

2.2 Natural y artificial

Es común asumir que la vida surge en entornos naturales, si bien esto fue cierto al aparecer el primer organismo que tuvo vida, el desarrollo de la humanidad ha propiciado que ésta aparezca también en entornos de tipos muy distintos. En sus raíces más primitivas la adaptación del hombre al medio se daba en un contexto al que podríamos llamar totalmente natural, pero poco a poco se fue encargando de modelar el mundo contemporáneo. Siendo el humano una especie con capacidades de razonamiento y habilidades para modificar su entorno, le fue posible “construir” su propia realidad, esto en respuesta a sus necesidades biológicas, permitiendo su adaptación a un medio en el cual sus capacidades naturales son precarias, comparadas con las de las demás especies.

Al menos desde una perspectiva antropocéntrica, es decir, desde el punto de vista de los hombres, la realidad del mundo actual se percibe como un entorno mixto, la línea entre lo artificial, lo inventado y lo natural es difusa, en mayor o menor medida son parte de nuestra cotidianeidad, dependiendo de contexto social, cultural e incluso geográfico en el que nacemos y nos desarrollamos.

El mundo, como lo percibimos actualmente se soporta y toma forma con base en el pensamiento, cosmogonía y cultura del humano. El desarrollo y transformación del pensamiento de la humanidad,

49 Dicho especialmente de un filósofo: Moderno e innovador. “Real Academia Española”.
 50 Buchanan, R., 2001. *Design research and the new learning*. Design Issues 17 (4), p.7.
 51 Ibid. p.17.

ha detonado una serie de cambios promovidos por el uso de la tecnología, hecho que ha caracterizado los últimos años en la vida de la humanidad. Sin embargo, la deliberada producción de artefactos que surgen de la inteligencia humana para servir a sus propios propósitos, han acompañado a la humanidad desde sus primeras generaciones y no guardan relación con el proceso de evolución en la naturaleza.⁵²

La biomimética implica la búsqueda de referencias en una totalidad (naturaleza) que está compuesta por infinitas relaciones entre seres vivos y su entorno, pues “existe la naturaleza porque ciertas regiones del espacio físico se ordenan en nichos en los que sobreviven los sistemas metaestables que llamamos seres vivos,...”⁵³. Sin embargo, el producto o resultado de la referencia que hagamos en la naturaleza tendrá un origen y una razón de ser totalmente distintos a los naturales, hay una distinción fundamental entre lo que existe de forma natural y lo producido por el hombre.

La naturaleza no requiere de la existencia humana, pero para nosotros es “nuestro mundo, el único mundo que hacemos y que nos hace”⁵⁴. Nuestra capacidad se limita a la transformación de materia en energía en otro tipo de materia y energía.⁵⁵, hemos creado una infinita cantidad de objetos, elementos, artefactos, etc que se originan en la capacidad creativa y cognitiva de los humanos, y su origen se puede clasificar en función a la relación que guardan con la naturaleza: **objeto inventado y objeto artificial**.

El objeto inventado o invención no es natural, ni está construido a partir de una referencia en la naturaleza, al menos no en una referencia inicial. Por otro lado, el objeto artificial es aquello que imita a algo natural, por ejemplo, un ojo artificial existe porque busca imitar a un ojo natural (aunque referirse a un ojo como natural es redundante, pues originalmente todos lo son)⁵⁶.

La observación de la naturaleza puede tener como intención la generación de objetos que la imiten, pero la imitación por si misma no es el único propósito que fomenta dicha observación, pues el control y dominio sobre los eventos naturales es también uno de los principales intereses del hombre, sobre lo cual encontramos ejemplos de muy diversa índole, desde una granja hasta la sofisticada ingeniería genética.

Lo anterior nos lleva a reflexionar sobre la distinción básica entre natural y artificial. Mientras lo natural ocurre en el mundo como un fenómeno relacionado con la vida y es intrínseco al universo, lo artificial requiere de un **agente** (humano) que lo conciba.

Lo natural no se basa en algo en específico, simplemente surge de “trayectorias erráticas sin más fin definido que el que van estableciendo las posibilidades”⁵⁷. Lo artificial surge de la producción de una representación que se genera en la mente del agente acerca de un **ejemplar** (o entidad biológica), el cual es la referencia que se toma a partir de algo natural, para materializarse mediante procesos y/o materiales distintos a los que hay u ocurren en la naturaleza es decir, mediante la **tecnología**.

Lo artificial requiere que exista un individuo o agente que encuentre un ejemplar para materializarlo, pero más allá de la simple imitación, casi siempre existe la intención de cumplir un propósito. El proceso entero de materialización de un objeto artificial se basa en la relación entre el agente y el ejemplar, pero esta relación conlleva una serie de acciones que se realizan en diferentes niveles. En la Ilustración 22 el esquema basado en el modelo de diseño de un objeto artificial que propone Massimo Negrotti⁵⁸ nos permitirá observar cuales son dichas acciones, mismas que resultan de la relación entre agente y ejemplar.

52 Lee, K., 1999. *The Natural and the Artefactual. The Implications of Deep Science and Deep Technology for Environmental Philosophy*, 1ra ed. Lexington books, Oxford. p.85.

53 Broncano, F., 2012. *La estrategia del simbiote. Cultura material para nuevas humanidades*, 1ra ed, Colección La Biología, Delirio, Salamanca. p.21.

54 Ibid. p.23.

55 Lee, K., 1999. *The Natural and the Artefactual. The Implications of Deep Science and Deep Technology for Environmental Philosophy*, 1ra ed. Lexington books, Oxford. p. 91.

56 Negrotti, M., 2002. *Naturoids. On the nature of the artificial*. World Scientific Publishing Co., Nueva Jersey.

57 Broncano, F., 2012. *La estrategia del simbiote. Cultura material para nuevas humanidades*, 1ra ed, Colección La Biología, Delirio, Salamanca. p.23.

58 Negrotti, M., 2002. *Naturoids. On the nature of the artificial*. World Scientific Publishing Co., Nueva Jersey. p.28.

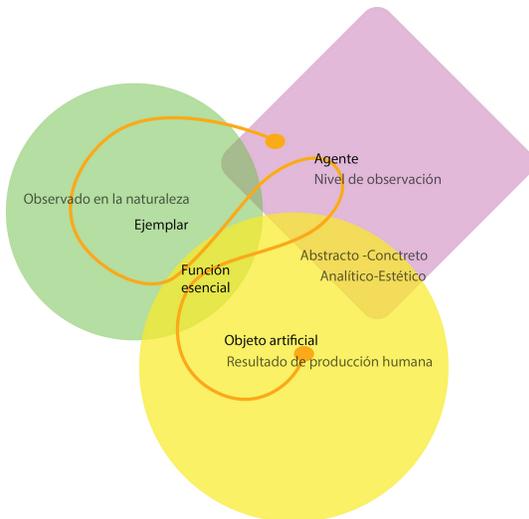


Ilustración 22: Modelo de diseño de un objeto artificial. Basado en Massimo Negrotti

En este modelo vemos que el proceso de diseño de algo artificial, puede comenzar en el agente y su nivel de observación con referencia al ejemplar, el cual existe previamente en la naturaleza. El nivel de observación es clave en la determinación de una función esencial, la cual se presenta en el ejemplar y se replica en el objeto artificial. En la función esencial radica la base de la artificialidad del objeto y le da sentido a su fabricación.

El esquema está atravesado por una línea que describe la trayectoria del proceso, la cual constantemente se desvía entre el agente, el ejemplar y el objeto artificial, pues conlleva la constante intervención, comprensión y aprendizaje del agente durante todo el proceso. También observamos que no hay sólo una dirección en el proceso, pues se puede partir tanto de la observación en el ejemplar, como de una demanda de un objeto concreto con una función esencial determinada, la cual se busca resolver a partir de las referencias en los ejemplares. Más adelante en el Capítulo 6 se retomará este tema.

El resultado de este proceso es el objeto artificial, el cual es casi imposible que llegue a ser una reproducción total del ejemplar. Las limitaciones y alcances del agente u observador se reflejan en el objeto resultante, pues la naturaleza y, por lo tanto, los ejemplares, sólo se pueden mirar desde el ojo humano, y en diferentes niveles y/o dimensiones. Así pues, se presenta al agente, un amplio espectro de posibilidades para conformar el objeto artificial, dicho espectro de posibilidades oscila entre valores que van de lo abstracto a lo concreto y de lo analítico a lo estético. Los valores en el objeto artificial no son absolutos, podemos encontrarlos en mayor o menor medida en un mismo objeto. En la Ilustración 23, podemos ver representados gráficamente los valores antes mencionados, con una red cuadrada, en cuyas esquinas se concentra un valor. Dependiendo de la presencia de los valores en el objeto, será su posición en dicha red.⁵⁹

Al integrar al proceso de diseño la imitación de la naturaleza, estaremos proyectando objetos artificiales y debemos tomar en cuenta cuáles son los valores que en ellos se representan y desde donde se origina nuestro argumento.

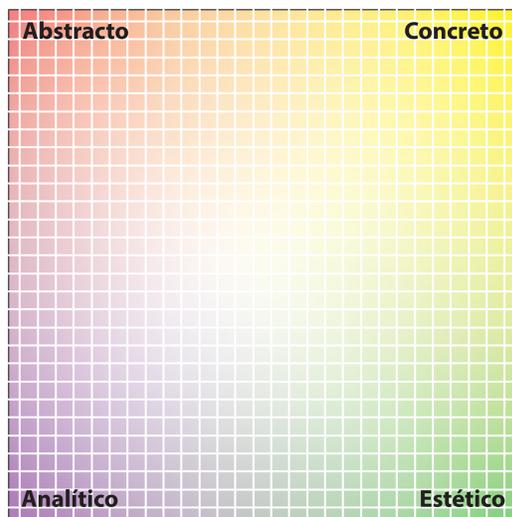


Ilustración 23: Nivel de valores en objetos artificiales, basado en Massimo Negrotti

Hemos descrito la diferencia entre invención e imitación. Si bien ambas actividades producen objetos conceptualmente diferenciados, en la práctica cotidiana la imitación y la invención conviven indistintamente, con el propósito de intervenir el mundo.

El origen de los objetos no los mantiene separados o segregados en el contexto cotidiano, incluso un mismo objeto puede ser resultado tanto del proceso de imitación como del proceso de invención. En el día a día, la clasificación de objeto artificial y objeto inventado, resulta invisible ante los ojos de la mayoría de las personas.

Para la labor del diseñador, principalmente si el proceso que sigue en su trabajo está relacionado con la biomimética, el conocimiento y la capacidad de discernir entre imitación e invención le permite reconocer la naturaleza de su trabajo y entender los alcances del mismo. Con lo que se persigue también dar mayor solidez a los argumentos que sustentan los proyectos de diseño.

59 Negrotti, M., 2002. *Naturoids. On the nature of the artificial*. World Scientific Publishing Co., Nueva Jersey. p. 56.

Capítulo 3. Pensando a partir de sistemas

3.1 Diseño

3.1.1 Contexto del diseño

Para hablar de la influencia de la biomimética en el diseño, necesitamos establecer un punto de partida que permita responder a la pregunta, ¿qué se entiende actualmente por diseño? Partiremos de una de las definiciones que ha dado Heskett: “El diseño es una de las características humanas básicas y es un determinante esencial de la vida de los humanos”⁶⁰. Esta definición presenta al diseño como una actividad que responde directamente a nuestra condición de humanos y, al ser parte de su vida, implica una relación tanto a nivel individual como a nivel social y cultural. Posteriormente indagaremos en el significado del diseño, pero previo a ello, haremos una breve descripción del contexto en el cual trabaja el diseñador.

Si bien originalmente el Diseñador como profesional creció de la mano de la aparición de la industria y una de sus primeras tareas fue la de interpretar los procesos de ésta para traducirla a objetos útiles, su labor se ha ido diversificando conforme el mundo en general, y por lo tanto la industria, han cambiado. A finales del siglo XX, se requirió que el diseño se convirtiera en “un medio de producción indispensable para lograr el éxito de los proyectos... El diseño se transforma, de utopía cultural, en técnica de la producción industrial en el mercado.”⁶¹

El trabajo del diseño tanto industrial, gráfico, como de los demás campos, es complejo, pues su actividad se relaciona con una diversidad de temas que confluyen, influyen y se ven representados materialmente en su labor. Actualmente la actividad del diseñador se percibe como un factor clave en el posicionamiento de una marca en el mercado a través del diseño de producto. El modelo económico capitalista y global que predomina actualmente en el mundo, ha requerido que el diseño agregue valor a los productos que se ofrecen en el mercado y es el diseñador el encargado de dar al producto estética, ergonomía y funcionalidad, además de que debe comprender los procesos de producción para hacerlos realidad, materialmente. Para que el diseñador pueda cumplir con su labor principal y “dar forma” al producto y a la marca, requiere del conocimiento y entendimiento de varios temas que los circundan.

El mercado al cual van dirigidos los productos es un actor determinante en el éxito del mismo, por lo cual el diseño del producto debe plasmar y evidenciar los valores, tanto funcionales como culturales con los que se identifica el mercado al cual está dirigido. El diseñador de manera aislada sería

60 Heskett, J., 2016. *A John Heskett reader: design, history, economics*, 1ra ed. New York : Bloomsbury Academic.

61 Chávez, N., 1997. *Arte aplicada o técnica de la comunicación: dos vertientes en la práctica del Diseño Gráfico*. En: Diseño Y Comunicación. Paidós, Buenos Aires.

incapaz de analizar todos los temas que giran al rededor del diseño de productos, por lo que su trabajo es de naturaleza interdisciplinaria y siempre formará parte de un equipo de trabajo.

La innovación⁶² es y ha sido uno de los grandes temas por los cuales el diseño es requerido, pues se considera un factor clave que fortalece al producto frente a la gran competencia que existe en el mercado, tanto a nivel global como local.

A principio de los años 90, la apuesta por la innovación a través del diseño evolucionó y comenzaron a surgir nuevos discursos que situaron en un especial lugar al desarrollo de productos. IDEO⁶³ es quizás la organización mas conocida e icónica de este fenómeno, uno de sus socios es Tom Kelley , para quien el diseñador es uno de los actores clave dentro de un equipo de trabajo de diseño de producto, ya que su profesión tiene las siguientes características:⁶⁴

- Los diseñadores tienen una aproximación inductiva a la innovación
- Conocen la esencia de la innovación; sólo necesitan aprender el lenguaje
- Tienen la capacidad de visualizar y persuadir, al poder hacer que el futuro tome vida
- Son expertos en el uso del poder de observación
- Las organizaciones de diseño dan más espacio a la serendipia⁶⁵

Este tipo de organizaciones están relacionadas principalmente con la práctica del diseño en países en el oeste de Europa y en Estados Unidos, pero sus metodologías han permeado y se han difundido en el resto del mundo.

Todo esto ocurre dentro de un contexto en el cual las economías locales se encuentran estrechamente ligadas a la economía global, la cual, si bien nunca ha permanecido estática, en la actualidad se encuentra en un particular periodo de reajuste. Según un artículo publicado en 2011 por el “Design Management institute” sobre economías emergentes y su relación con el diseño⁶⁶, se prevé que en el 2020 la dominación económica mundial que actualmente se encuentra centrada en Estados Unidos y los países del oeste de Europa cedan terreno a otros países como India, Rusia y Brasil y también se visualiza a China como la primer potencia.

De manera interna, en los países emergentes la clase social media se incrementa y, además de la cultura regional, adopta nuevas costumbres, con lo que surgen necesidades distintas, las cuales el Diseño debe atender.

La diversidad social es quizás una de las situaciones que representan uno de los retos más grandes para el diseño en la actualidad, pues el mundo se ha transformado en un lugar lleno de dicotomías y el pensamiento de quienes habitamos en él abarca un amplio espectro que va de las posturas más abiertas e inclusivas, hasta las más ortodoxas.

Los temas económicos y culturales no son el único origen de los cambios en el mundo, pues la creciente problemática ambiental ha propiciado la necesidad de un reajuste en el manera en que la humanidad coexiste con el planeta. Dentro de este inminente cambio, el diseño desempeña un papel muy relevante, en donde el diseñador no puede seguir viendo su profesión como el constante re-diseño de productos⁶⁷. El panorama futuro, desde la perspectiva actual, “nos obligan a pensar que en modos de diseñar que nos permitan no solo sobrevivir, más aún: generar una mayor calidad de vida sin comprometer los recursos y la existencia de misma de las generaciones futuras⁶⁸”.

62 **Innovar** – Mudar o alterar algo introduciendo novedades. “Real Academia Española”.

63 IDEO es una firma internacional de diseño fundada en 1991 en Palo Alto, California. Se presentan en su página de internet como **“Una compañía global de diseño que crea impacto positivo a través del diseño”**

64 Kelley, T., 1999. *Designing for business, Consulting for Innovation*. Design Management Journal 10(3).

65 Serendipia - Hallazgo valioso que se produce de manera accidental o casual. “Real Academia Española”.

66 Kiss, E., Bezerra, C., Deos, L., 2011. *Design for BRIC - The New Frontier*. DMI Review. 22(1).

67 Manzini, E., 1994. *Design, Environment and Social Quality: From “existenzminimum” to quality maximum*. Design Issues 10. p.38.

68 Rodríguez, L.A., 2000. *El tiempo del Diseño. Después de la Modernidad*, 1ra ed. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. p. 38.

3.1.2 Campo de acción del diseño

Retomando el tema de la definición de diseño, en una manera más específica y consistente con el crecimiento de la complejidad de la profesión, Richard Buchanan ha propuesto que el diseño “es el poder humano de concebir, planear y producir productos que sirvan a los humanos en el cumplimiento de sus propósitos individuales y colectivos”⁶⁹. Buchanan hace una importante nota con respecto a la naturaleza del producto, dejando atrás la concepción del mismo como un objeto material de fabricación industrial, y propone re-pensar la naturaleza del mismo en en cuatro órdenes, los cuales representan rasgos de la práctica del diseño y se representan en la Ilustración 24.

El diseño desempeña un papel básico en la interpretación material de las expectativas que tenemos tanto social como individualmente. En los objetos que utilizamos cotidianamente, está implícita la manera en que pensamos y la manera en que buscamos modelar nuestro mundo, sin embargo, no sólo los objetos son la manifestación de nuestra forma de pensar y de hacer. Los propósitos de los humanos, ya sea de naturaleza social o individual, tienden a materializarse de varias formas, es en ese campo en el que se desarrolla el diseño y en el que incurren los cuatro órdenes descritos por Buchanan. “El diseño es, en su naturaleza, un tema que se relaciona con la asimilación cultural de la tecnología”.⁷⁰

El pensamiento de la humanidad se caracteriza por su constante cambio, mismo que responde a los fenómenos sociales y viceversa, es un dilema en el cual ambos factores resultan afectados y, cualquiera que pudiera ser la respuesta, el diseño debe, como disciplina, responder a la transformación del contexto. El diseño es también (directa o indirectamente) una expresión de la transformación de la sociedad “es un potencial al que todos tienen acceso y que se manifiesta en el descubrimiento de nuevas prácticas sociales”⁷¹. De alguna manera es mediante el diseño como han quedado plasmados los valores sociales pertenecientes a cada época, mismos que se dictan desde la religión, las creencias, la ética, etc.

Diseñar significa preconcebir algo, ya sea un objeto, un espacio, algo tangible, visible, perceptible o habitable, pero el punto central, o lo que hace al diseño una actividad de suma importancia para la humanidad, va más allá de lo que se puede percibir de manera inmediata. Cada proyecto busca generar una transformación (aún en una escala básica), la cual tiene un impacto ya sea a nivel individual o grupal. El diseño puede buscar la mejora, eficiencia y rentabilidad de la producción de un objeto, puede también perseguir una mayor ergonomía, puede tratar de adaptarse a un determinado gusto o estilo estético, sus objetivos pueden ser múltiples.

Aunque, desde el discurso teórico y ético el diseñador como profesional tiene el deber de buscar que su labor tenga un impacto positivo en la sociedad, en la práctica el diseño representa también una herramienta de control y determinación de las dinámicas sociales, mismas que no son percibidas de igual manera por los distintos grupos que integran una sociedad, ya sea a escala local o global. “El factor humano está presente en las decisiones que se toman en todos los niveles de la práctica del diseño. También implica su implementación y medios para evaluar sus beneficios”⁷², es decir, que hay

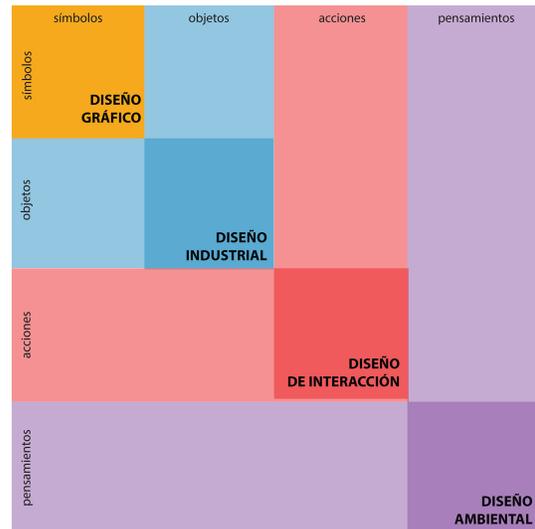


Ilustración 24: Esquema de los cuatro órdenes del diseño de Richard Buchanan

69 Buchanan, R., 2001. *Design research and the new learning*. Des. Issues 17 (4). p.9.

70 Yagou, A., 2005. *Rethinking design history from an evolutionary perspective*. Design Journal. 8. p.53.

71 Bonsiepe, G., 1999. *Del Objeto a la interfase*, 3ra ed. Ediciones infinito, Buenos Aires.

72 Heskett, J., 2005. *El diseño en la vida cotidiana*. Gustavo Gili, Barcelona.

un peso muy importante por parte de la sociedad que es determinante en el camino a seguir por el diseño.

Previamente describimos, de manera muy general, la labor del diseñador industrial. Sin embargo, el ejercicio del diseño se presenta mucho más amplio y complejo, si bien hasta ahora nos hemos enfocado en describir cómo el diseño ha dado respuesta a un sector de la sociedad que requiere productos de consumo, es importante manifestar que existe también una amplia demanda de soluciones que se enfoca en el desarrollo social a niveles básicos. Es común considerar que el hablar de desarrollo social implica la inclusión de un sector de la población que vive en condiciones de escasos recursos económicos, sin embargo el desarrollo social está relacionado con todo un sistema, en el cual la sociedad en todos sus estratos tiene participación.

Con el propósito de comprender el alcance de la participación del diseño, Victor y Silvia Margolin proponen que la tarea del diseñador abarca desde un “modelo de mercado”, hasta un “modelo social”. Esta propuesta no tiene a dichos modelos como dos opciones opuestas, más bien es la representación de los polos extremos de un amplio espectro de posibilidades en las cuales se mueve la práctica del diseño. El punto en el cual se sitúa un proyecto depende de las prioridades que motiven su ejecución.⁷³



Ilustración 25: Esquema basado en la descripción sobre “Modelo de mercado” y “Modelo social” de Silvia y Victor Margolin

En los modelos presentados por Buchanan, Margolin y Margolin, podemos apreciar la tendencia del diseño a ser dinámicos en la manera de abordar la problemática, pues ésta se presenta en distintas escalas y las respuestas que requiere del diseño son de diferente naturaleza.

Podemos plantear que el papel actual del diseñador debe trascender a la demanda inmediata de elementos materiales en los cuales, tanto individuos como sociedades, puedan desarrollar su estilo actual de vida. El diseñador es un profesionalista en constante búsqueda y cuestionamiento de su propio trabajo.

El diseño debe ser eficaz, pero en su eficacia debe también verse a sí mismo como un problema auto-creado. Debe reconocer la duda fundamental de su propia acción y crear un conocimiento público de esto. El diseño debe de liberarse del modo de pensar unidimensional, enfocado a tareas solucionadoras, y en cambio, verse como la constante creación de nuevas tareas⁷⁴

El conocimiento tanto del campo de acción y la magnitud de su trabajo, como del impacto social que la profesión del diseñador tiene frente a la sociedad, invitan al diseñador a hacer una constante revisión de los valores que imprime en sus proyectos, y de los argumentos en los cuales fundamenta su labor. “Estamos comenzando a entender que el reto central de nuestra sociedad ya no radica en la producción de bienes. En su lugar tenemos que empezar a preguntarnos sobre su calidad y no su cantidad...⁷⁵

73 Margolin, S., Margolin, V., 2002. A “Social model” of Design: *Issues of Practice and Research*. Design Issues 18. p.25.

74 Meurer, Bernd, 1997. *La transformación del diseño*. En Frascara, J. Diseño gráfico para la gente. Buenos Aires: Gustavo Gili. p.p. 220–232

75 Papanek, V., 1985. *Design for the real world. Human ecology and social change*. Thames and Hudson, Londres, p. 277.

3.2 Porqué pensar en sistemas

En nuestro lenguaje cotidiano, la palabra sistema es usada de manera regular, es un concepto presente en nuestro día a día. Convivimos y somos parte de sistemas en prácticamente todas las actividades que llevamos a cabo y que implican algún tipo de interacción; incluso hemos entendido que, fisiológicamente, nuestro cuerpo está compuesto de sistemas.

El pensamiento sistémico nos permite comprender cómo funcionan los sistemas y, aunque no es posible explicar el mundo en su totalidad a través de sistemas, el usar el pensamiento sistémico puede ser una herramienta que nos permita explorar a los fenómenos que nos rodean y son parte de nuestra vida.

El mundo ante el cual el ejercicio profesional del diseño actúa, es complejo y requiere de conocimiento que permita comprender la realidad para poder responder a ella acertadamente. Si bien la ciencia es un eje fundamental en la labor de conocer el mundo, se necesita que las demás disciplinas cuenten también con herramientas que les permitan absorber los conocimientos resultantes de la investigación científica y la realidad que ésta nos muestra, con el objetivo de plasmarlos en su labor. Por lo anterior, el pensamiento sistémico es un eje principal en la presente investigación, pues representa una manera de entender los fenómenos desde la ciencia.

Al tratarse de una investigación que tiene como uno de sus propósitos principales el acercamiento del diseñador al ejercicio de la biomimética, es particularmente relevante tener un vínculo entre la biología y el diseño, se pretende lograr que el pensamiento sistémico sea una forma vínculo entre ambas. Se trata de usar el pensamiento sistémico para facilitar la observación y entendimiento de los organismos y demás referencias en la naturaleza para, posteriormente, aplicarlas en diseño, ya sea desde productos simples hasta sistemas, dependiendo de la la escala en que se trabaje.

Se propone que, a través de la comprensión de los organismos y fenómenos en la naturaleza como sistemas, se tienda un puente al buscar analogías entre los ejemplos en la naturaleza y su aplicación en el diseño. La biomimética presenta un contexto en el que encontramos dos visiones que buscan unificarse y entenderse. La visión desde el lado del diseño a través de un estudio sistémico, permitirá encontrar las necesidades a las cuales el diseñador debe responder, con relación a su contexto.

Mientras que desde el lado de la biología, la misma visión permitirá entender un determinado fenómeno natural u organismo vivo y entender el grado de analogía al que puede llegar con respecto al proyecto que se busca resolver mediante diseño.

Si bien, la biomimética es una alternativa frente a la problemática que propone la creación del mundo artificial, se plantea que mediante el pensamiento sistémico se logre un acercamiento distinto en la comprensión de los fenómenos:

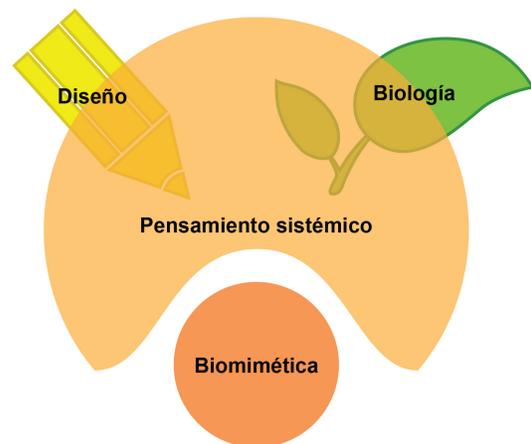


Ilustración 26: Biología - Pensamiento sistémico- Diseño

“Lo mejor que se puede hacer ante un problema no es resolverlo, sino disolverlo para rediseñar la entidad que lo contiene y así, eliminar el problema, tal diseño requiere tanto de sentido común como de investigación...”⁷⁶.

El pensamiento sistémico, junto con las analogías que busquemos en la naturaleza, podrían ser una brújula en la búsqueda de solución en los problemas o frente a nuevos y mayores retos que se presentan al diseño.

El acercarse al pensamiento sistémico desde el diseño es también un intento por cerrar la brecha entre las ciencias y disciplinas que son por tradición ajenas a éste y describir fenómenos en términos de sistemas.

Las metodologías que se han desarrollado desde la ciencia, para entender los fenómenos como sistemas, en muchas ocasiones van acompañadas de herramientas de análisis específicas, para las cuales se requiere el apoyo de las matemáticas, física y otros campos del conocimiento abstracto, mismas que no necesariamente domina o son parte de la formación natural de un diseñador. Lo anterior no significa que el diseñador no comprenda o esté incapacitado para abordar un proyecto desde una perspectiva sistémica, significa que es necesario hacer una exploración del tema para encontrar enfoques desde el pensamiento sistémico, coherentes con el diseño. Por lo anterior, haremos una descripción de los conceptos básicos que nos permitirán reconocer y conocer a un sistema, con el propósito de analizar los fenómenos biológicos en términos de sistemas, teniendo como objetivo posterior hacer la analogía entre un modelo conceptual y un modelo teórico⁷⁷.

3.3 Funcionamiento de los sistemas

Se denomina sistema a “Un conjunto de elementos interconectados que están coherentemente organizados de manera en que logran un propósito”⁷⁸ e integran un “todo”. Como un primer acercamiento a los sistemas, podemos identificarlos reconociendo las siguientes características esenciales⁷⁹:

- Los elementos que lo componen se pueden identificar
- Los elementos interactúan e influyen los unos en los otros
- Al estar en conjunto, se produce un efecto, por lo que se tiene un propósito distinto al de cada una de las partes de manera aislada.
- El comportamiento del sistema persiste en el tiempo.

Existen dos componentes básicos de un sistema, sus **elementos** y las **interacciones** que ocurren entre ellos. En general, los sistemas cumplen o tienen un **propósito** o **finalidad**, sobre lo cual hablaremos más a detalle posteriormente.

Un **conjunto de elementos** pueden tener **número y especie**, por si mismos tienen **propiedades sumativas**, las cuales no varían independientemente de que los elementos se encuentren dentro o fuera de un sistema. En un **sistema**, el conjunto de elementos interactúa y surgen **propiedades**

76 Ackoff, “A Lifetime of Systems Thinking”.

77 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México.

78 Meadows, D.H., 2009. *Thinking in Systems: A Primer*, Diana Wright. Ed. Earthscan, Londres. p.10.

79 Ibid. p.13.

cuantitativas, es decir las que dependen de las relaciones que se establecen entre los elementos.

Existen escalas en los sistemas, las cuales se determinan según el propósito del estudio de un sistema. Con esto queremos decir que la escala del sistema la determina el observador según conviene a su investigación. Un sistema puede estar contenido en un metasisistema (un sistema mayor) y/o contener uno o varios subsistemas, o bien, los elementos que lo conforman pueden ser, al mismo tiempo, parte de otros sistemas.

Un sistema se considera como tal, cuando las interacciones entre sus elementos sean relevantes y mayores al interior del sistema, mientras que al exterior del sistema serán menores.⁸⁰ Las **interacciones relevantes** son aquellas que determinan, aunque sea de manera parcial, el futuro del sistema.

Por ejemplo, los elementos del sistema solar son el sol, 8 planetas y 1 planetaide principalmente, además de asteroides, planetas enanos, cometas, centauros, polvo cósmico, etc. Estos elementos se mantienen unidos debido a la fuerza de atracción que ejerce el sol y la cual provoca que se mantengan girando en órbitas elípticas en torno al mismo. La fuerza de atracción del sol es la principal causante de la interacción entre el sol y los demás elementos del sistema.

A una escala mayor, el sistema solar es un elemento de un sistema que se conoce como la Vía Láctea, el cual se calcula está conformado por entre 200,000 a 400,000 millones de estrellas y 100,000 millones de planetas, entre otros elementos. Su estructura se divide en tres partes principalmente: halo, disco (en donde se encuentran ocho brazos espirales) y vulvo (es la parte central en donde se localiza un agujero negro llamado Sagitario A). Los elementos que forman la vía láctea responden a una serie de fuerzas que los mantienen unidos.

Por otro lado y a una menor escala, el planeta tierra, es uno de los elementos que conforman el Sistema Solar. La tierra tiene su propio satélite natural: la luna, y ambos elementos forman el sistema Tierra-Luna, en el cual la luna gira alrededor de la tierra debido a la fuerza de atracción que ésta ejerce sobre ella. Este ciclo dura 29 días 12 horas 44 minutos y 3 segundos y, a su vez provoca fenómenos en la tierra como las mareas.

Este ejemplo nos permite visualizar tres escalas de sistemas:

1. Tierra-Luna
2. Sistema solar
3. Vía Láctea

Si tomamos como referencia al Sistema solar, podemos considerar al sistema Tierra-Luna como subsistema, mientras que la Vía Láctea sería un Metasisistema.

El ejemplo anterior nos permite ver que los sistemas pueden estar formados por elementos semejantes, sin embargo, no porque los elementos sean semejantes

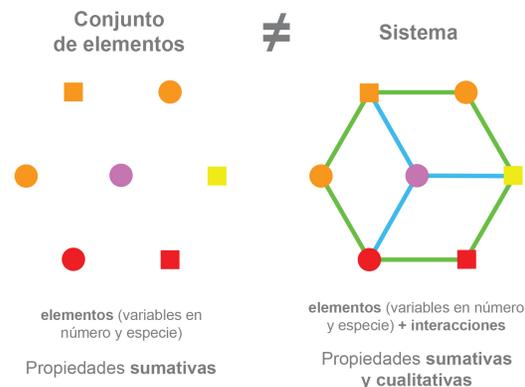


Ilustración 27: Comparativo Conjunto de elementos/Sistema

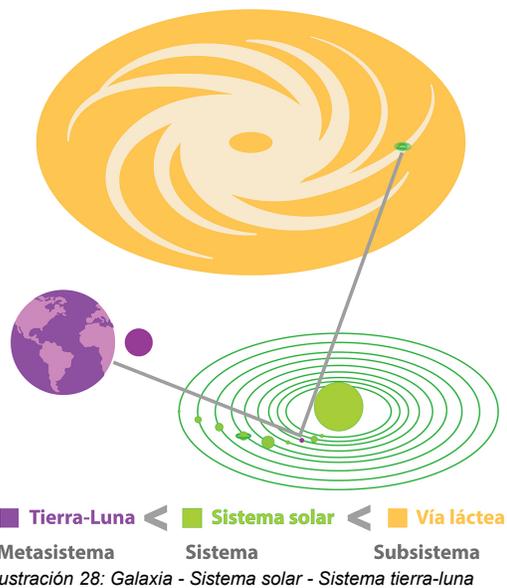


Ilustración 28: Galaxia - Sistema solar - Sistema tierra-luna

80 Gershenson García, C., 2011. *The Implications of Interactions for Science and Philosophy*. Foundations of Science. 4 (18). p.2.

necesariamente serán parte del mismo sistema. En el Sistema solar, las interacciones relevantes que determinan los **límites o fronteras** del sistema, son las que ocurren debido a la fuerza de atracción que ejerce el sol sobre los planetas y demás elementos, provocando que giren en una órbita a su alrededor.

La forma en que interactúan los elementos del sistema, le confieren ciertos atributos y características que definen un **propósito o finalidad**. Tomemos ahora como ejemplo al sistema digestivo, el cual descompone el alimento que ingerimos en partes más pequeñas con el propósito de que el cuerpo pueda usarlos como fuente de energía y alimentar a las células. Todos los elementos (órganos y aparatos) que conforman el sistema digestivo interactúan para lograr un propósito y, para que dicho propósito se logre, el sistema debe de tener un **comportamiento**.

Si partimos de la visualización de sistemas como una herramienta para la comprensión de los fenómenos en general, podríamos encontrar una cantidad infinita de sistemas con características, propiedades y, por lo tanto, comportamientos muy distintos, por lo que existen conceptos básicos que permiten reconocer pautas para entender los sistemas. Es importante visualizar a dichos conceptos no como requisitos, sino como cualidades que se pueden encontrar en los sistemas y cuya comprensión permitirá conocer su esencia.

Si bien hemos dicho anteriormente que un sistema se puede delimitar por la relevancia de las interacciones entre sus elementos, en los sistemas puede o no existir intercambio con el ambiente en el que se encuentra. Los sistemas cerrados se encuentran aislados del medio circundante, es decir que no existe intercambio de ningún tipo con el ambiente. Existen pocos sistemas de este tipo, pero resultan especialmente útiles para el estudio en un ambiente controlado, es decir, para lograr un análisis muy específico de un determinado fenómeno.

El concepto de sistema cerrado se puede explicar desde la segunda ley de la termodinámica, la cual declara que un sistema siempre tiende a conservar un estado de equilibrio, es decir, a su estado más probable, para lo cual la entropía⁸¹ debe aumentarse hasta el máximo y el proceso acabará por detenerse.⁸²

Por otro lado, en los sistemas abiertos hay **entradas y salidas**, las cuales mantienen la relación del sistema con su entorno. Por ejemplo, los seres vivos somos sistemas abiertos, incluso en las diversas escalas en que se nos ubique. A nivel individual requerimos de la entrada de energía a nuestro cuerpo para mantenernos vivos y realizar las actividades cotidianas mediante las que subsistimos. Un árbol es otro ejemplo de un sistema abierto, el cual obtiene energía del medio en forma de luz solar y, como resultado de un proceso interno de fotosíntesis, libera oxígeno al medio.

Ya sea cerrado o abierto, un sistema tiene cierto comportamiento que deriva en el logro de un objetivo, a consecuencia de dicho comportamiento, casi en todos los sistemas ocurren cambios, por lo que el sistema tendrá diversos estados en cada momento temporal. La relación entre los cambios en el sistema con el tiempo se define como **dinámica** y puede ser observada en distintas escalas en el tiempo. La dinámica es una de las principales razones por las cuales es útil un enfoque sistémico, principalmente si nos interesa observar la evolución de un determinado fenómeno.

Existen sistemas cuya dinámica es **lineal** y el proceso tiene un principio y un fin, además, "la información que sale del sistema es proporcional a la información que entra en él"⁸³. Por ejemplo, la televisión es un sistema lineal de difusión de contenido donde el espectador solo puede ver lo que se emite en determinado momento del día. Sólo se recibe la información y contenidos que se programan desde la televisora.

Hay también sistemas **no lineales** en los cuales regresa información al sistema, misma que afecta a la nueva información que sale. Las plataformas de transmisión por internet son un ejemplo, pues

81 Grado de desorden que se genera en un sistema termodinámico al pasar de un estado a otro. En un sistema aislado, la entropía siempre aumenta y nunca disminuye

82 Gershenson, C., Heylighen, F., 2003. *When can we call a System Self-organizing?* p.2.

83 Gershenson García, C., 2007. *Design and Control of Self-organizing Systems*, 1ra ed. Copilt ArXives, México. p.18.

permiten que la dinámica del sistema se base en la **retroalimentación** del espectador, ya que es éste quien elige el contenido que quiere ver en el orden y horarios que él mismo determina.

La retroalimentación es un concepto altamente relacionado con la dinámica y se define como el regreso del efecto de un sistema a sí mismo. Existen dos tipos de **retroalimentación: positiva y negativa**. La retroalimentación positiva promueve el cambio en el sistema, mientras que la negativa evita o disminuye los cambios.

Podemos usar como ejemplo el proyecto experimental de la UNAM “*Antes de entrar permita salir*” en el Sistema de transporte colectivo METRO de la Ciudad de México⁸⁴. Consideremos al **sistema de ascenso y descenso** como un subsistema dentro del sistema METRO.

Debido a la falta de organización que impedía el libre flujo de pasajeros al momento de entrar o salir del tren, se realizó un experimento que consistió en colocar, en una de las estaciones de mayor demanda durante horas pico, flechas en el piso indicando la posición correcta de ascenso y descenso; lo que se buscó fue generar una retroalimentación positiva que promoviera la agilidad en el flujo de los pasajeros al entrar a los vagones del tren durante sus paradas en las estaciones.

Los primeros resultados que arrojó este experimento, fue que los usuarios se organizaron según las indicaciones de las flechas y el flujo mejoró ya que el ascenso y descenso a los vagones del tren fue más ordenado y ágil; es decir que se logró una retroalimentación positiva.

Si bien como **subsistema de ascenso y descenso** de pasajeros la retroalimentación positiva promovió un cambio, podríamos también analizar su impacto en un sistema mayor, en este caso el **Sistema de transporte colectivo METRO**, ya que al ser más eficiente y organizado el flujo de pasajeros, pueden reducirse la cantidad de retrasos generados por accidentes y conflictos entre usuarios durante el momento de descenso y abordaje.

Pensando a futuro, una vez que se ha logrado promover un cambio en un sistema mediante la interacción positiva, será necesario plantear estrategias que promuevan la interacción negativa para conservar el sistema en el mismo estado. En el caso específico del cambio logrado en el **sistema de ascenso y descenso** del sistema METRO, gracias al proyecto “*Antes de entrar permita salir*” sería pertinente preguntarse ¿que estrategias se deben seguir para mantener el orden logrado al momento del ascenso y descenso de los pasajeros?

La retroalimentación regresa **información** que permite que el sistema se modifique su estado en caso de existir **perturbación**, la cual es un cambio en el ambiente que tiene repercusión en el sistema. El proceso de retroalimentación se puede describir como un “bucle” en el sistema que trae información del exterior con el propósito de que perdure y, para lograrlo, una de las estrategias que promueven el cambio en el sistema es **la adaptación**, la cual se define como un cambio en el sistema que ocurre posterior a la perturbación, y que pretende mantener al sistema. Por ejemplo, si acostumbramos tomar una misma ruta en nuestro automóvil todas las mañanas para llegar a nuestro lugar de trabajo, en el momento en que dicha ruta sea bloqueada nos veremos obligados a buscar una ruta alternativa para llegar a nuestro destino.

Un concepto que se basa también en el ingreso de información al sistema es la **prealimentación** en la cual entra la información al sistema antes del inicio del proceso. La prealimentación permite que, mediante la **anticipación**, el sistema cambie para evitar las posibles perturbaciones antes de que sucedan. Un ejemplo se puede ver en un automóvil que está equipado con un neumático de seguridad, previendo perturbaciones que provoquen pinchaduras en los neumáticos.

Tanto la prealimentación como la retroalimentación requieren de entrada y salida de **información** con el propósito de regular los cambios en el sistema. La información se puede definir como “cualquier cosa que un **agente** pueda sentir, percibir u observar”⁸⁵, esto considerando que un agente es una entidad que actúa dentro del medio o contexto en el cual se desarrolla el sistema. La información puede provenir del exterior del sistema, o bien puede generarse en su interior, pero la condicionante

84 Milenio Digital. Antes de Entrar Permita Salir: Realizan Pruebas En Balderas. Milenio

85 Gershenson, C., 2012. *The World as Evolving Information*. En Unifying Themes in Complex Systems. p, 102.

para que tenga relevancia en el sistema es que ésta sea percibida por un agente que se encuentra dentro del sistema.

Como resultado de la interacción entre ambos, el agente es quien otorga significado a la información. Dada la "subjetividad" en la interpretación de la información, esta no necesariamente se conserva, puede ser destruida, creada o transformada dependiendo del agente. Para comprender este concepto podemos tomar como ejemplo el sistema de telefonía móvil, donde la información viaja en forma de ondas entre los teléfonos y las estaciones que reciben y retransmiten las ondas. En este caso, el teléfono es un agente que percibe las ondas y las transforma en sonidos que replican las voces emitidas por los usuarios de los teléfonos.

La información que entra a un sistema puede ser, desde **regular** hasta **novedosa**⁸⁶. La información es regular cuando, independientemente de la cantidad de datos que entran al sistema, éstos se repiten y siguen un patrón, por lo cual la información será mínima. Si los datos son muy variables y aleatorios, la información será máxima.

A través de estrategias basadas en el intercambio y regulación de la información, la retroalimentación y la prealimentación, permiten que el sistema se sostenga, sin embargo, existe otra cualidad en los sistemas que son esenciales para que éstos no se pierdan: su **estructura**

La estructura es la expresión física del sistema, es decir, la conformación y disposición de los elementos e interacciones del sistema. Podemos encontrar tres características que la describen: **robusta, frágil y antifrágil**.

La estructura de un sistema es robusta cuando, frente a grandes cambios y perturbaciones, mantiene su funcionalidad, y es **frágil** cuando su resistencia es mínima frente a los cambios y cede con mucha facilidad, perdiendo su funcionalidad. Fragilidad y robustez no son conceptos opuestos; la robustez de un sistema se incrementa en función a la pérdida de fragilidad.

Hay un tercer tipo de estructura que se conoce como **antifrágil**⁸⁷, la cual mejora su funcionalidad con los cambios. Un ejemplo de este concepto es el funcionamiento del cerebro, el cual mientras más sea "usado" y expuesto a cambios mejor será su funcionamiento.

La estructura se relaciona con el funcionamiento del sistema, ya que se define por la disposición de los elementos y las interacciones en el mismo; lo cual permite el cumplimiento de una función. Por lo anterior, surge un comportamiento en el sistema, que es clave para entender la finalidad o propósito del mismo. Independientemente de los cambios a los cuales se pueda someter el sistema, cuando se mantiene la finalidad, el comportamiento se mostrará coherente con ella⁸⁸.

La finalidad en el caso de los sistemas puede interpretarse desde dos perspectivas generales. En la primera, los procesos de un sistema responden a una finalidad preestablecida, este concepto se conoce como **teleología**⁸⁹. En la segunda, desde la perspectiva de la causalidad, el estado presente del sistema responde a las condiciones pasadas. Bertalanffy dice que ambos acercamientos tienen validez y son complementarios en la interpretación de la finalidad, en los sistemas vivos y artificiales, "la dirección del proceso hacia un estado final no es cosa que difiera de la causalidad, sino otra expresión de ella"⁹⁰.

El propósito de abordar el tema de la finalidad es, además de conocer un concepto fundamental en la comprensión de los sistemas, darnos cuenta desde que perspectiva estamos entendiendo el sistema que analicemos. La Tabla 3 muestra una clasificación de los "Tipos de finalidad" basada en Bertalanffy⁹¹.

86 Fernandez, N., Maldonado, C., Gershenson, C., 2013. Information Measures of Complexity, Emergence, Self-organization, Homeostasis, and Autopoiesis. p.5.

87 Concepto creado por Nassim Taleb, Gershenson García, Pensamiento sistémico.

88 Meadows, D.H., 2009. *Thinking in Systems: A Primer*, Diana Wright. Ed. Earthscan, Londres. p.16.

89 Doctrina de las causas finales

90 von Bertalanffy, L., 1976. *Teoría general de los sistemas*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. p.79.

91 Ibid.

Esta tabla permite vislumbrar que la finalidad entre los sistemas puede percibirse de diferente manera en cada uno. Más adelante, esto nos puede ayudar para, desde el diseño, reflexionar sobre el nivel de alcance de las analogías que presentemos entre los sistemas naturales y los diseños logrados a través de la biomimética, es decir, a qué grado llega la “mimesis” entre el sistema biológico al que hagamos referencia y nuestros diseños.

Hasta este punto hemos visto conceptos que nos permiten “bosquejar” un sistema. Tenemos herramientas suficientes para delimitarlo y describir su funcionamiento y su propósito, sin embargo, si observamos al sistema con mayor detenimiento, encontraremos que, como resultado de las interacciones, en el “emergen” nuevas propiedades; es decir, **propiedades emergentes**.

En términos materiales, la emergencia es un concepto difícil de explicar ya que tiene su origen en las interacciones, las cuales no necesariamente tienen una presencia física. No podemos encontrar a las propiedades emergentes en los elementos, ni pueden ser reducidas a éstos, sin embargo, podemos hablar de su existencia pues tienen un efecto en el sistema.

Anteriormente mencionamos que la escala de un sistema se puede definir en función de la relevancia que existe en sus interacciones. Al, estar relacionadas las propiedades emergentes con las interacciones, éstas solo las podemos apreciar en la misma escala en que se ubican las interacciones relevantes.

La mente es un ejemplo de propiedad emergente. “Las neuronas no tienen mente, pero nosotros sí. ¿De dónde viene nuestra mente? Emerge de las interacciones entre nuestras neuronas, nuestro cuerpo y nuestro entorno. Si una neurona se activa, no podemos saber a qué pensamiento pertenece esa activación”⁹². Este ejemplo también nos permite entender la escala de la propiedad emergente a la que llamamos mente, ya que ésta solo ocurre a raíz de las interacciones y no está presente en los elementos aislados, ni a menor escala (en cada neurona) ni a mayor escala (cuerpo humano).

En un sistema, cuando la emergencia es alta, la **predicción** se vuelve difícil, pues surge continuamente información novedosa que a su vez, genera retroalimentación positiva y, como explicamos anteriormente, este tipo de retroalimentación promueve el cambio.

Si bien a partir de la interacción de los elementos que componen los sistemas emergen propiedades que promueven el cambio, también pueden surgir propiedades cuyo propósito es opuesto a la emergencia. La **auto-organización** se encarga de la regulación de cambios para restablecer el orden en el sistema.

La **organización** se define como “ las relaciones que deben darse entre los componentes de algo para que se los reconozca como miembros de una clase específica”⁹³. La organización determina las características esenciales del sistema, pues es la configuración de las relaciones de los elementos que lo conforman.⁹⁴. Esta definición nos permite deducir que, en un sistema auto organizado, dichas relaciones se determinan desde los mismos componentes del sistema.

		Nombre	Descripción	Ejemplo
Tipos de finalidad		Teleología estática	Una adecuación que parece útil a determinado propósito	Las espinas de un cactus le permiten protegerse de sus depredadores
	Teleología dinámica	I. Dirección de acontecimientos hacia un estado final	El presente comportamiento depende del estado final	-
		II. Directividad basada en estructura	La disposición estructural lleva al sistema a lograr determinado resultado.	Máquinas hechas por el hombre
		III. Equifinidad	Se busca alcanzar siempre el mismo estado por diferentes caminos	Regulación primaria en los sistemas orgánicos
		IV. Intencionalidad	El comportamiento actual está determinado por la previsión de la meta	Es característica del comportamiento humano

Tabla 3: Tipos de finalidad según von Bertalanffy

92 Gershenson García, C., 2014. *¡Emergencia, emergencia!* Investigación y Ciencia

93 Maturana, H., Varela, F., 1984. *El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. p.28.

94 Capra, *La trama de la vida*, p.171.

La auto-organización es una propiedad que podemos observar frecuentemente en las comunidades de seres vivos, ésta permite que el sistema se adapte a ambientes altamente dinámicos e impredecibles. Un sistema auto-organizado resuelve una situación desde el interior y a partir de los elementos que lo conforman.⁹⁵ Cuando un sistema está auto-organizado, tiene una estructura robusta y resistente al cambio, la interacción de sus elementos promueve la retroalimentación negativa y guía al sistema para adaptarse y perdurar ante situaciones contingentes.

Emergencia y auto-organización son propiedades con efectos opuestos. La emergencia permite que surja la evolución, la adaptación y el aprendizaje. Por su parte, la auto-organización permite que se mantengan los patrones. Una no es más importante que la otra, pues los sistemas, requieren un balance entre ambas para perdurar. El balance que hay entre emergencia y auto-organización se define como **complejidad**. La palabra complejo tiene su origen en el latín *plexus* que significa entretejido, es decir, algo difícil de separar⁹⁶. Mientras mayor sea la relación entre la emergencia y la auto-organización, mayor será la complejidad.

Una forma práctica de describir a la complejidad es como “un balance entre orden y caos”. Los sistemas complejos tienden a estar compuestos por bucles de retroalimentación tanto positiva como negativa, lo cual es necesario para perdurar en un contexto que puede ser variable. La complejidad que se requiere en un sistema está directamente relacionado con el contexto o entorno. Un ejemplo muy interesante de un sistema complejo lo describe Steven Johnson, retoma el estudio del moho de fango⁹⁷, el cual está compuesto de miles de organismos unicelulares que pasan una parte de su vida de manera aislada. Bajo ciertas condiciones la colonia se comporta como un solo organismo y comienza a reptar en busca de materia para consumir. Su comportamiento está regulado por la retroalimentación que detona la segregación de determinada hormona en cada individuo. Dicha retroalimentación puede ser positiva o negativa dependiendo de las condiciones del entorno, e indica a los organismos si deben permanecer aislados o congregarse en racimos.

La complejidad está relacionada con sistemas de tipo no lineal, de los cuales ya hemos hablado anteriormente. Debido a que se encuentran expuestos constantemente a cambios causados por la

retroalimentación, la predicción que se tiene es limitada y resulta entonces necesario que los sistemas puedan **adaptarse**.

Podemos aprovechar el ejemplo anterior para explicar la sostenibilidad de un sistema, la cual se logra cuando su complejidad es equivalente a la complejidad de su entorno.



Ilustración 29: Complejidad: Balance entre emergencia y auto organización

En este caso, la colonia de moho de fango maneja la misma complejidad del ecosistema en que se encuentra y es sustentable pues puede responder a los cambios que le presenta.

Comprender el tema de la complejidad de manera abstracta puede resultar difícil, por lo que, para ilustrar con mayor claridad los conceptos relacionados con la complejidad, usaremos como ejemplo el traslado en automóvil entre dos puntos en una ciudad,

Las ciudades en general, cuentan con un sistema de vialidad en el que conviven varios medios de transporte, entre ellos los automóviles, los cuales junto con, las calles, las avenidas, los semáforos, los sistemas GPS, aplicaciones con mapas de tránsito en tiempo real, la iluminación, la señalización, etc, son **elementos** que componen a todo un sistema de vialidad en una ciudad.

95 Gershenson García, C., 2007. *Design and Control of Self-organizing Systems*, 1ra ed. Coplt ArXives, México. p.33.

96 Fernandez, N., Maldonado, C., Gershenson, C., 2013. Information Measures of Complexity, Emergence, Self-organization, Homeostasis, and Autopoiesis. p.3.

97 Johnson, S., 2003. *Sistemas emergentes, o que tienen en común las hormigas, neuronas, ciudades y software*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

La interacción de todos los elementos antes mencionados tienen como **propósito** desplazar tanto a las personas, como a los bienes necesarios en la vida cotidiana de la ciudad.

El **orden** en un sistema de vialidad es posible gracias a las reglas e indicaciones que regulan el paso de los automóviles y demás medios de transporte, los cuales son elementos claves que le permiten **auto organizarse**. Sin embargo, cualquier ciudad es un sistema abierto y se encuentra expuesto a cambios y contingencias fuera de su control, como lo son el clima, el incremento de tránsito en algunos puntos de la ciudad, fallas en sistemas eléctricos y de iluminación, etc. Las contingencias antes mencionadas son **perturbaciones** que, por lo regular provocan **caos**.

A partir de la falta de orden, **emergen** propiedades que permiten que el sistema se **adapte** y preserve. En el caso específico de los sistemas viales en las ciudades, actualmente su capacidad de adaptación se ha visto modificado debido al surgimiento de sistemas GPS y aplicaciones con mapas de tránsito en tiempo real, los cuales hacen posible que los conductores tengan visibilidad del congestionamiento en las vías de tránsito, mismas que son causadas por las perturbaciones. De esa forma, los conductores reciben, **retro alimentación positiva** que les permite cambiar sus rutas cotidianas y evitar transitar por las zonas congestionadas, con lo que también se ayuda a reducir el incremento de embotellamientos.

En las ilustraciones 30, 31 y 32 se muestran los cambios de ruta de dos automóviles, en ellas observamos que, tanto emergencia como auto organización, son necesarias para que un sistema complejo se adapte a la contingencia y siga funcionando. También podemos notar que las propiedades emergentes tienen una pertinencia temporal, ya que eventualmente se convierten en parte de la auto organización del sistema, o bien reaparece en los momentos que se requiere.

En los sistemas vivos la adaptación es una de las cualidades más importantes para su preservación. Se requiere de un balance coherente con el medio, el cual surge de la adecuada y oportuna reacción de los sistemas, que a la vez aprovechan y generan nuevas propiedades. Los sistemas no naturales pueden retomar ejemplos de la naturaleza que les permitirán elaborar estrategias con las que adquieran sostenibilidad con el entorno.

La misma complejidad que caracteriza al sistema, es la que permite encontrar varios caminos para su preservación. En el caso particular de la biomimética, es importante tomar esto en cuenta, pues un mismo sistema puede presentar una gran variedad de estrategias para resolver un problema, o bien, la solución puede encontrarse en otros sistemas.

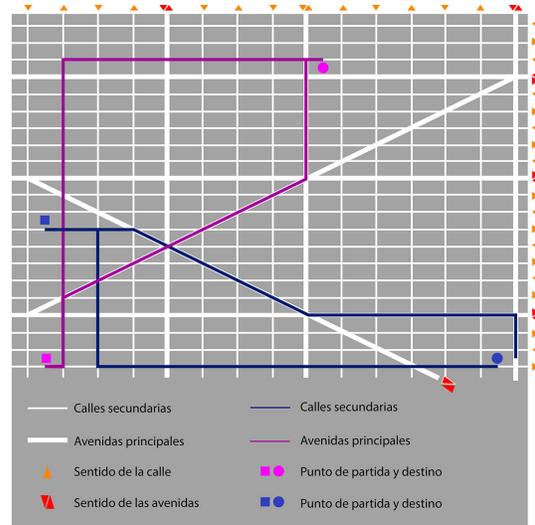


Ilustración 30: Ruta cotidiana de dos automóviles

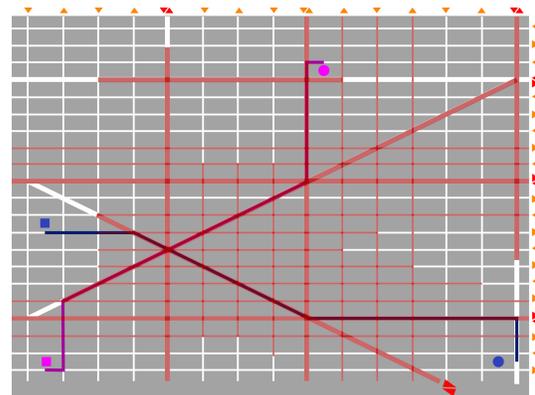


Ilustración 31: Zonas afectadas por perturbaciones

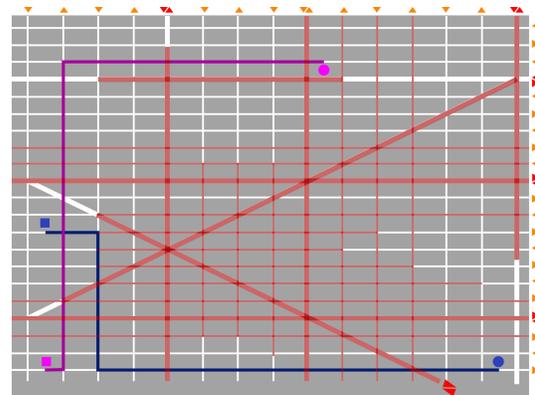


Ilustración 32: Rutas alternativas según aplicaciones de mapas de tránsito en tiempo real

Hemos expuesto una descripción que nos permite comenzar a entender a los sistemas. Poco a poco se han ido agregando nuevos conceptos con los que nos percatamos de que un sistema no se puede observar por segmentos, es necesario tener visibilidad tanto de las interacciones que se establecen, como los elementos en el sistema, además de las características y propiedades que surgen como consecuencia.

Comprender los conceptos anteriormente planteados, y en general sobre una Teoría de Sistemas, no nos permitirá tener una solución o un medio de control frente a un proyecto de diseño, sin embargo, nos permitirá tener un punto de vista o perspectiva sobre los sistemas de cualquier tipo, “que nos sugiera las dimensiones del problema y nos permita colocarlo en un contexto con una amplitud suficiente para visualizarlo como parte de algo mayor”⁹⁸. Es importante mantener una postura abierta y de constante observación pues gran parte de los sistemas presentan nuevas propiedades una vez que ya existen, el cambio continuo es un elemento clave en ellos, y no podemos pensar en nuestra labor como una predeterminación total, sino como una continua adaptación.

Si logramos sintetizar en modelos conceptuales nuestro punto de vista sobre los organismos que buscamos emular, podremos establecer un lenguaje común que nos permita hacer una analogía entre un organismo o sistema vivo con un producto biomimético. Y el contar con respaldo teórico para llevar a cabo dicha síntesis es el objetivo del contenido del presente capítulo.

No estamos en la búsqueda un diseño a partir de la fiel imitación de la naturaleza, sino que podemos lograr, a distintas escalas, desarrollar un punto de vista sobre un determinado fenómeno en un organismo, y aplicar ese conocimiento dentro de una realidad “producida”.

98 Bunge, M., 2014. *Big Questions Come In Bundles, Hence They Should Be Tackled Systemically*. *Systema: connecting matter, life, culture and technology*. 2. p.9.

Capítulo 4. Los sistemas en la naturaleza

4.1 La biología

La ciencia tiene como objetivo conocer al universo en todas sus dimensiones y escalas. La biología es una parte de ese gran esfuerzo y se enfoca en una de las áreas más importantes: “la vida”, es entonces la rama de la ciencia dedicada al estudio y comprensión de la vida y, como todas las ciencias, se desarrolla y amplía por el esfuerzo constante del hombre para comprender el mundo⁹⁹

Desde sus inicios, la labor de la biología ha guardado una estrecha relación con el pensamiento científico de cada época. La aparición del concepto de ciencia moderna en el siglo XVII, fomentó que el estudio de los seres vivos se llevara a cabo de forma segmentada, separando cada una de las partes que los componen, lo cual ha llevado a la ciencia a comprender aspectos profundamente detallados de los seres vivos y de su composición.

El análisis de cada una de las partes del ser vivo, hasta descubrir la *célula*, es resultado del trabajo científico a través del tiempo. La célula es la unidad básica de todos los seres vivos, los más ínfimos organismos existentes están compuestos al menos por una célula. Dicho descubrimiento no habría sido posible sin la intención de comprender qué hay dentro de los organismos vivos, de qué están hechos y cuáles son las similitudes y diferencias entre ellos.

Ha sido necesario un trabajo con un alto nivel de meticulosidad para clasificar a los organismos vivos en familias, clases, especies, etc; es simplemente una tarea infinita, pues mientras más se busca, aparecen nuevas especies y organismos, pues la vida está en constante evolución.

La tecnología y su continuo desarrollo es uno de los grandes pilares que soportan el trabajo científico. La observación de los más ínfimos organismos no hubiera sido posible sin objetos que hoy nos resultan tan comunes como los microscopios. A una escala totalmente opuesta, no podríamos indagar sobre las dimensiones de nuestro universo sin la ayuda de computadoras que nos permiten analizar cantidades de datos que para el cerebro humano resultaría prácticamente imposible.

El desarrollo de la biología y de la ciencia en general, ha propiciado la exploración de otras dimensiones en las cuales se puede observar la vida. La biología tiene la capacidad de observar la parte “tangible” de la vida, sin embargo existe una parte “invisible” que es también objeto de estudio, y que surge de las interacciones de los componentes de los organismos vivos en prácticamente todos los niveles. Dichas interacciones han dado pie a que la labor de los biólogos sea cada vez más compleja y requiera de mayor relación con otras ciencias disciplinas, derivando en áreas de estudio cuya presencia es relativamente nueva, posteriormente profundizaremos sobre este tema.

Son muchas las áreas o ramas en que se divide actualmente la biología y, dependiendo del enfoque de su estudio, guardan mayor o menor relación con otras ciencias.

Una forma de entender la magnitud de campo de estudio de la biología es conocer las ramas en que se divide. En la Tabla 4 se presenta la mayor parte de dichas áreas de especialización, al dar una

99 Smallwood, W., Green, E., 1982. *Biología*. Publicaciones Cultural, Ciudad de México.

RAMA DE LA BIOLOGÍA	ÁREA DE ESTUDIO
Citología	Estructura y función de las células
Biología del desarrollo	Desarrollo de los seres vivos
Biología marina	Vida y fenómenos en el medio marino
Biología molecular	Procesos biológicos a nivel molecular
Botánica	Vegetales
Fitopatología	Enfermedades en los vegetales
Ecología	Relación de los seres vivos con su medio
Limnología	Procesos en los medios lacustres
Fisiología	Funciones de los seres vivos
Genética	Herencia genética
Microbiología	Microorganismos
Bacteriología	Bacterias
Virología	Virus
Zoología	Vida animal
Aracnología	Arácnidos
Carcinología	Crustáceos
Entomología	Artrópodos
Equinodermología	Equinodermos
Herpetología	Reptiles
Ictiología	Peces
Ornitología	Aves
Helmintología	Gusanos
Sociobiología	Relaciones sociales entre animales
Teriología o Mastozoología	Mamíferos
Aerobiología	Desplazamiento de organismos por aire
Anatomía	Estructura de los seres vivos
Astrobiología	Vida fuera del planeta
Biofísica	Estados físicos de los seres vivos
Biogeografía	Distribución de los seres vivos en la tierra
Bioinformática	Gestión de datos
Biología ambiental	Interacción entre organismos y ambiente
Biología estructural	Macromoléculas
Biología evolutiva	Evolución de los seres vivos
Cladística	Relación evolutiva de organismos
Filogenia o filogenética	Historia evolutiva de los seres vivos
Ontogenia	Origen de los seres vivos
Taxonomía	Clasificación de los seres vivos
Biología humana	Desarrollo de los seres humanos
Biología reproductiva	Reproducción humana
Biología de sistemas	Estudio de la complejidad biológica
Biomecánica	Estructuras mecánicas en organismos
Bioquímica	Composición química en los seres vivos
Etología	Comportamiento de los seres vivos
Inmunología	Sistema inmune en seres vivos
Neurobiología	Sistema nervioso
Micología	Hongos
Parasitología	Parásitos
Patología	Enfermedades
Histología	Tejidos de seres vivos
Exobiología	Predicción de de organismos fuera de la tierra

Tabla 4: Ramas de la biología

lectura rápida podemos observar que los temas que la biología trata son de una índole muy diversa y que, en mayor o menor medida, se relaciona prácticamente con todas las ciencias, pues la vida tiene un significado especial en la existencia de los seres humanos, y en el planeta en que vivimos.

La ciencia es un medio para entender la vida, mediante leyes, interpretaciones y convenciones hechas por los humanos.

En algunos casos, el objetivo de las ramas de especialización en la biología, es sólo el conocimiento del tema que explora, buscan comprender el funcionamiento y los principios que rigen un grupo o un aspecto determinado de los seres vivos.

Otras áreas de la biología buscan una aplicación práctica para intervenir, controlar y/o modificar los sistemas vivos o influir de alguna manera en el ambiente para obtener algún provecho. Sin importar el propósito del área de estudio, y los recursos de que se valen para desarrollarse, todas las ramas de la biología tienen como objetivo común ampliar el conocimiento sobre la vida y cómo se desarrolla.

Teniendo como perspectiva la práctica de la biomimética, haremos una breve y muy general revisión de la diversidad de organismos vivos que existen en nuestro planeta, pues así podremos tener una idea de la cantidad de ejemplos que podemos encontrar en la naturaleza.

Los biólogos han sido capaces de identificar 1.8 millones de especies de seres vivos en la tierra, pero se estima que existen entre 10 y 100 millones de especies en total, de las cuales más de la mitad son insectos. Gracias a la

*taxonomía*¹⁰⁰, se pueden clasificar los organismos conocidos, y dicha clasificación se determina según las relaciones evolutivas de los seres vivos basándose, principalmente, en pruebas comparativas de su ADN, dando como resultado tres grandes “dominios”¹⁰¹, los cuales son:

1 Bacteria

Son organismos de células de tipo procarionte¹⁰². Se clasifican en 5 grupos:

1.1 *Protobacteria*. Se conforma por una gran diversidad, su pared celular está formada principalmente por liposacáridos y al ser expuestas a la “coloración de Gram”¹⁰³ no se tiñen.

100 Significade en Tabla 2.Ramas de la biología. p.52

101 Campbell, N.A., Taylor, M., Simon, E.J., Dickey, J.L., Reece, J.B., 2012. *Biology: concepts & connections*, 7ma ed. Pearson/Benjamin Cummings, Redwood City. p.6.

102 Son células compuestas únicamente por material genético y delimitadas por una membrana.

103 Es un tipo de tinte diferencial empleado para visualizar bacterias.

1.2 *Bacterias Grampositivas*. Al ser expuestas a la “coloración de Gram” se tiñen de color violeta. Lo anterior esta relacionado con su envoltura celular.

1.3 *Cyanobacteria*. Son los únicos organismos de células eucariontes que presentan fotosíntesis

1.4 *Chlamydia*. Viven en un anfitrión de células de tipo eucarionte

1.5 *Espiroqueta*. Tienen forma helicoidal y algunas de ellas son patógenas.

2 Archaea

También son organismos de células de tipo procarionte. Pueden vivir en ambientes con condiciones extremas. Se distinguen tres grupos según ambientes extremos en el que se han encontrado:

2.1 *Termófilos*- Pueden vivir en condiciones de extremo calor

2.2 *Halófilos*- Viven en ambientes con extrema presencia de sales

2.3 *Metanógenos*- Su medio es anaeróbico y desechan gas metano.

Lo anterior no significa que estén ausentes en medios con condiciones más normales.

3 Eukarya

Está conformado por los organismos cuyas células son de tipo eucarionte¹⁰⁴. Se subdivide en 4 reinos.

3.1 *Protista*. La mayoría de estos organismos son de tipo unicelular. No hay una regla general en su modo de alimentación, pues pueden ser autótrofos (realizan la fotosíntesis), heterótrofos (se alimentan de otros organismos como bacterias u otros protistas), parásitos (se nutren de un anfitrión causándole daño) o mixótrofos (realizan fotosíntesis y son heterótrofos a la vez).

3.2 *Plantae*. La característica más representativa de este reino es que realizan la fotosíntesis, la cual es un proceso que permite que las plantas tomen energía del sol para realizar sus funciones vitales.

3.3 *Fungi*. Es el reino de los hongos, la mayoría de los cuales descomponen desechos orgánicos y absorben sus nutrientes.

4 Animalia

En este reino, los animales obtienen su energía a partir del consumo y digestión de otros organismos

Todos los organismos vivos dentro de estos tres dominios cumplen con características esenciales¹⁰⁵:

- Se reproducen
- Muestran evidencia de crecimiento y desarrollo
- Muestran evidencia de transferencia y utilización de energía
- Responden a los estímulos de su entorno
- Son significativamente diferentes al ambiente que los rodea
- Actúan de tal manera que asegura su autopreservación

104 Las células de tipo eucarionte son aquellas que tienen núcleo y otras estructuras internas conocidas como organelos.

105 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México. p.21.

Los rasgos distintivos en los seres vivos nos dan la clave para comprender que hay propiedades en común en todos ellos, no importa cual sea su posición en la clasificación de los tres dominios. Así mismo, pueden ser vistos como sistemas abiertos, pues intercambian energía con el medio¹⁰⁶ con el objetivo de cumplir con sus funciones vitales y, por lo tanto, preservar su vida.

4.1.1 Sistemas vivos

La vasta diversidad de organismos vivos nos proporciona una especie de inmenso archivo de referencias en la naturaleza, por lo cual, la biomimética y otras disciplinas han desarrollado varias y muy valiosas propuestas de metodologías para buscar dichas referencias de manera acertada, algunas de las cuales mencionamos en el Capítulo 2.

Siendo la biomimética nuestro tema principal, es importante contar con un respaldo teórico que nos ayude a comprender dos conceptos que integran y le dan significado a la palabra biomimética: *Bio* (*βίος*) y *mimesis* (*μίμησις*). Ambas palabras provienen del griego.

Mimesis o imitación, según la Real Academia de la Lengua Española, es *ejecutar algo a ejemplo o semejanza de otra cosa*. Éste es un concepto que usamos cotidianamente y sobre el cual no es necesario indagar a profundidad, pues en lo general tenemos una clara noción de su significado.

El significado de Bios es vida y es también un concepto bastante común, diariamente escuchamos referencias sobre la vida e incluso nos consideramos a nosotros mismos como seres vivos y podemos reconocer ciertas pautas que nos revelan si “algo” está vivo o no. No obstante, al tratar de definir el concepto de vida es difícil encontrar un consenso, tan solo la Real Academia de la Lengua Española ofrece 18 significados de la palabra vida, mismos que se plantean desde diversas perspectivas. La vida ha sido explicada, a través de la historia, desde distintos tipos de pensamiento, principalmente desde el filosófico, el religioso y el científico y, en mayor o menor medida, ha sido relacionado con los tres, pues la forma en que los humanos entendemos el mundo no se desliga de ninguno de ellos. Siendo así, definir qué es la vida implica cierta complejidad, pues está expuesto a nuestra necesidad de encajar con todos los criterios.

¿*Qué es vida?* es una pregunta que se ha formulado la humanidad quizás desde que adquirió conciencia, y que, debido al constante incremento del conocimiento, ha tenido una infinidad de posibles respuestas a través del tiempo; incluso es probable que exista una percepción distinta sobre la misma en cada uno de los individuos que conformamos la sociedad.

Pese a la dificultad para definir el término, es especialmente importante presentar un panorama general sobre el concepto *vida*, pues la biomimética es, en esencia, la “imitación de la vida” y para ello es deseable entender que es lo que estamos imitando.

Nuestro objetivo no es encontrar una definición incuestionable de la vida, sin embargo, sí podemos presentar algunos puntos de vista que nos permitirán plantear una base teórica que sea consistente con el enfoque del presente documento, en la cual se explore la vida desde una perspectiva sistémica. Por lo anterior buscaremos alinearlos a una descripción de la vida desde la ciencia, especialmente desde la biología y las relaciones que ha establecido con otras ciencias y disciplinas en la búsqueda de una explicación sobre la naturaleza y los sistemas vivos.

Varios científicos e investigadores han coincidido en que una de las características principales que definen la vida en un organismo es la **organización** que ocurre en los componentes que lo integran. Para comprender con mayor profundidad esta relación entre organización y vida, retomaremos 3 posturas de científicos e investigadores cuyo trabajo está relacionado

Von Bertalanffy, a partir de su “Teoría General de los Sistemas”, señala que todos los organismos vivos son **sistemas abiertos**, ya que continuamente incorporan y eliminan materia, lo cual permite

106 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México, p.30.

que ocurran innumerables procesos físicos y químicos **ordenados** que permiten al sistema vivo persistir, crecer, desarrollarse, reproducirse, etc.¹⁰⁷. Esta búsqueda de orden en el organismo vivo, está relacionada con el mantenimiento de un estado uniforme a través de procesos internos.¹⁰⁸

La posibilidad de lograr un orden interno, permite que exista la **equifinidad** en el organismo pues, como ya se mencionó previamente en la Tabla 3 Tipos de finalidad, los organismos vivos buscan alcanzar siempre el mismo estado por diferentes caminos.

Otra propiedad que von Bertalanffy define como una característica en los sistemas vivos, es la **segregación progresiva**. Un organismo vivo se origina como una unidad y progresivamente se van segregando y formando sus componentes, como se puede ejemplificar con un embrión, el cual en un principio todo está integrado en una unidad y progresivamente las regiones van evolucionando hasta formar cierto órgano.

La segregación progresiva representa la pérdida de posibilidades y la especialización de los componentes del organismo. Cada uno de los componentes alcanza cierto grado de **independencia**, pero la segregación nunca es completa, nunca deja de ser un sistema unitario, y ahí radica el fundamento de la regulación y de la interacción con el medio, permitiendo que el organismo sea un sistema abierto.¹⁰⁹

Derivado de la segregación progresiva, algunos de los componentes o partes del organismo toman propiedades conductoras, es decir, que el organismo se **centraliza progresivamente** en algunos de sus componentes.

La centralización progresiva es definitoria para el organismo en cuanto a su carácter de como **individuo**, al cual von Bertalanffy define como “un sistema que tiende a la centralización y a la indivisibilidad”,¹¹⁰ pero, al igual que sucede con la segregación progresiva, tanto la centralización progresiva, como la individualidad nunca son completas.

Von Bertalanffy plantea que, mientras el organismo está vivo, existe en él una constante tendencia al orden a partir de la **organización**, misma que se puede observar en los procesos que se llevan a cabo al interior del organismo¹¹¹, cuyo objetivo es regular las funciones fisiológicas del mismo. Este proceso dinámico en el cual los sistemas se auto-regulan y adaptan a través del tiempo se conoce como **homeostasis**¹¹². Concepto que, nos será útil en la comprensión y observación de los sistemas en general.

Hasta ahora, hemos encontrado que en los organismos vivos es esencial la organización interna, sin embargo, necesitamos entender cuál es la particularidad que la hace distinta a la organización de los demás sistemas, es decir, los sistemas no vivos. Para explicar lo anterior, Humberto Maturana y Francisco Varela plantean que los seres vivos, a pesar de la variedad de estructuras que podemos observar en ellos, tienen una **organización autopoietica**, es decir, una organización que se distingue por que el único producto que persigue es sí mismo. “El ser y hacer de una unidad autopoietica (organismo vivo) son inseparables y esto constituye su modo específico de organización”.¹¹³

107 von Bertalanffy, L., 1976. *Teoría general de los sistemas*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. p.144.

108 Ibid p.39.

109 Ibid. p.71.

110 Ibid., p.75.

111 En otros campos del conocimiento se han buscado explicaciones sobre la tendencia de la vida al orden. Por ejemplo, Edwin Schrödinger dice que los organismos vivos escapan al desequilibrio por su capacidad de tomar su orden desde el ambiente. Esto lo explica basándose en el principio de entropía. En Deplazes-Zemp, A., Biller-Andorno, N., 2012. *Explaining life*. EMBO Rep. 13. p.1.

112 Fernandez, Maldonado, y Gershenson, “Information Measures of Complexity, Emergence, Self-organization, Homeostasis, and Autopoiesis”, p.4. Envía a Williams, H.T.P., 2006. *Homeostatic adaptive networks*. Tesis de Doctorado. University of Leeds.

113 Maturana, H., Varela, F., 1984. *El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. p.29.

“La **autopoiesis**, es un patrón de organización de red en el que la función de cada componente es participar en la producción, o transformación de otros componentes de la red, de tal modo que ésta se hace a sí misma continuamente. Es producida por sus componentes y, a su vez, los produce”¹¹⁴.

Un ser vivo, es entonces un sistema autopoietico y en su patrón de organización las relaciones no se dan entre componentes estáticos, sino entre procesos de producción de componentes, por lo cual, está presente una constante regeneración tanto en los componentes, como en los patrones autopoieticos.

El hecho de que exista la autopoiesis en los seres vivos, les confiere **autonomía**, es decir, que ellos mismos especifican su propia legalidad. La autonomía no es exclusiva de los sistemas vivos, pero siempre la encontraremos en ellos.

Tanto von Bertalanffy, como Maturana y Varela coinciden en que los seres vivos son sistemas abiertos, pero la propuesta de los segundos hace énfasis en la relación entre el medio y el ser vivo, la cual, según plantean, requiere de una **congruencia estructural**, es decir, que deben existir en el medio las condiciones necesarias para la existencia y desarrollo del organismo. La congruencia estructural ocurre cuando el ser vivo, por su parte, tiene **acoplamientos estructurales** que son los mecanismos que permiten establecer una determinada relación con el medio, y pueden variar en función de los cambios del medio. Dependiendo de la especie a la que pertenece el organismo, será la relación que establezca con el medio y cada especie posee sus propios acoplamientos estructurales.

Sin duda la aportación del concepto de organización autopoietica de Maturana y Varela ha sido un paso importante en la comprensión de la vida. Fritjof Capra ha sido uno de muchos investigadores que han tomado referencia en dichos autores y, con base en su trabajo, desarrolló una teoría completa de los sistemas vivos que parte de la síntesis del estudio del **patrón de organización** (forma, orden, cualidad) y de la **estructura** (substancia, materia, cantidad).¹¹⁵

Para profundizar en este tema, primero hay que entender qué es patrón de organización y estructura. Ya sea un organismo vivo o un objeto inerte cualquiera, existen una serie de relaciones presentes en él que le confieren la esencia de lo que es, esto se puede definir como **patrón de organización**. Los organismos vivos tienen la particularidad de que sus patrones siempre se presenta en forma de redes, es decir, que las relaciones entre los componentes del organismo no son lineales, con lo cual se crean bucles de retroalimentación, esenciales en la autoregulación de los sistemas.

El concepto de patrón de organización es abstracto, pero se manifiesta en la **estructura** física del objeto u organismo. En el caso de las estructuras de organismos, seres o sistemas vivos, como ya hemos mencionado, la estructura se caracteriza por ser abierta, más específicamente, se trata de estructuras disipativas¹¹⁶, las cuales requieren del flujo constante de materia y energía proveniente del medio.

Por ejemplo, una bicicleta, como patrón de organización, se puede manifestar a través de distintas estructuras, el manubrio difiere entre una bicicleta de montaña y una bicicleta de carreras, así como también el cuadro, el asiento, los pedales y demás componentes. Sin embargo, no importa cómo sea la estructura, las relaciones entre los componentes forman el patrón de organización de una bicicleta y se repite en todas las demás bicicletas.¹¹⁷

A diferencia de los sistemas no vivos, en los sistemas vivos los componentes cambian continuamente, pues es un sistema abierto en el que la energía fluye a través de él, con la particularidad de que dicho proceso permite que ocurra crecimiento, desarrollo y evolución. Ese es el proceso vital, el cual se ocupa de la continua corporeización del patrón de organización del sistema¹¹⁸, logrando unificar a la estructura con el patrón de organización.

114 Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p.173.

115 *Ibid.*, p.172.

116 Ilya Prigogine introdujo el término al buscar explicar cómo los organismos vivos logran mantener sus procesos vitales en medios no equilibrados. Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p.104.

117 Basado en ejemplo presentado en Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p. 172

118 Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p.173.

El planteamiento de proceso vital de Capra, se fundamenta en la definición de Maturana¹¹⁹, de **cognición**. Incluso en los organismos más sencillos, la cognición está presente, pues toda la estructura disipativa del organismo participa en él, independientemente de que el organismo tenga o no un cerebro y un sistema nervioso superior. La cognición es un proceso mucho más amplio que el proceso del pensamiento, pues incluye percepción, emoción y acción, todo el proceso vital.¹²⁰

La cognición capacita al sistema vivo para enfrentar a las perturbaciones en su entorno, responde con cambios estructurales en su red no lineal, cuya organización es cerrada y autopoiesica; dicha respuesta persigue a su vez, mantener el patrón de organización.

La explicación sobre la vida aquí presentada no es definitiva, hasta nuestros días no se ha encontrado una definición contundente¹²¹, sin embargo, nos permite establecer criterios que nos acercan a entenderla.

En la Tabla 5 se resumen los conceptos presentados a lo largo de esta sección del documento, basándonos en las tres visiones sobre la vida presentadas por von Bertalanffy, Maturana y Varela y Capra.

A partir de la referencia sobre vida que hemos descrito hasta el momento, podremos orientarnos y reconocer una serie de rasgos que presentan los seres vivos, el objetivo de explorarlos desde el campo del diseño, es reconocer los alcances que nuestras analogías logran con respecto a los sistemas vivos que buscamos emular, lo cual es un intento por enriquecer y hacer más sólida la argumentación del diseñador en el campo de la biomimética.

Organismo, sistema ser vivo		
von Bertalanffy	Maturana y Varela	Capra
La vida es una propiedad que emerge a partir de la organización entre sus componentes		
Los organismos, sistemas y seres vivos son sistemas abiertos		
Mantienen un estado uniforme a través de procesos internos	La organización de los seres vivos es autopoiesica	La vida solo se puede comprender a partir de 3 conceptos interdependientes e inseparables: estructura, patrón de vida y proceso
En ellos se encuentra el principio de equifinidad	En ellos hay autonomía	
Presentan segregación progresiva (la cual nunca es completa)	acoplamientos estructurales que dan paso a la congruencia estructural con el	
Presentan centralización progresiva (la cual nunca es completa)	La cognición es el proceso vital,	

Tabla 5: Conceptos de vida. von Bertalanffy, Maturana y Varela y Capra

4.1.2 Estudio de los sistemas en la biología

Hemos expuesto que la comprensión del organismo vivo como un sistema ha sido relevante en la explicación del concepto de vida, lo anterior está relacionado directamente con el desarrollo de algunas áreas o ramas de la biología que están interesadas no solo en el organismo por si mismo, sino que tienen como objeto de estudio las relaciones que se establecen dentro del sistema vivo.

Para el desarrollo del presente documento resulta importante exponer los rasgos más importantes de dichas disciplinas pues nos darán pautas para entender los sistemas vivos en diferentes dimensiones. Dentro de las ramas de la biología, y a dos escalas casi opuestas, la "Biología de sistemas" y la "Ecología" se han enfocado en el estudio de las relaciones que ocurren en los sistemas vivos.

119 Maturana desarrolló en 1969 la Teoría de Santiago, con el objetivo de encontrar del patrón de organización común a los seres vivos.

120 Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p.p.188-189.

121 Gershenson, C., 2012. *The World as Evolving Information*. En Unifying Themes in Complex Systems. p.11.

Biología de sistemas

La Biología de sistemas fue reconocida hace aproximadamente 20 años entre la comunidad científica. Ha adquirido mayor interés debido al actual progreso en biología molecular, especialmente con la aparición de tecnología que permite conocer la secuencia genómica de los organismos vivos.

Si bien, gracias a los avances tecnológicos, actualmente se pueden identificar, con lujo de detalle, la secuencia de proteínas en los genes de varios organismos vivos, para conocer realmente a la molécula, se necesita observar su dinámica y estructura.

La biología de sistemas es un esfuerzo por entender, a nivel molecular, el comportamiento de la célula, pero no observado desde abajo hacia arriba (de los componentes al todo) sino de arriba hacia abajo (del todo a las partes). Ambas perspectivas son útiles y complementan el estudio y entendimiento de la biología en un nivel molecular.¹²² Al combinar el conocimiento que se tiene desde la biología molecular con el obtenido desde la biología de sistemas, se busca unificar el estudio de las cualidades fisiológicas la funcionalidad y el comportamiento de las moléculas.

Para lograr dicho acercamiento, la biología de sistemas requiere de teoría, modelos y experimentación.

"La Biología de Sistemas estudia sistemas biológicos perturbándolos (biológica, genética o químicamente) de forma sistemática, registrando las respuestas génicas, proteicas y en las rutas de información, integrando estos datos y finalmente, formulando modelos matemáticos que describan la estructura del sistema y su respuesta a las perturbaciones individuales".¹²³

Su origen está ligado al estudio de los organismos a través del conocimiento de las propiedades que surgen en la interacción en sus moléculas. Por lo anterior, los biólogos moleculares han detectado que se requiere de ciertas bases a partir de las cuales les sea posible desarrollar sus estudios desde una perspectiva sistémica. Como ejemplo, podemos citar las 4 propiedades clave que Hiroaki Kitano¹²⁴ propone como base para el conocimiento de sistemas biológicos:

1. Estructura de los sistemas
2. Dinámica de los sistemas
3. Método de control
4. Método de diseño

Retomando lo visto en el Capítulo 3 en el tema 3.3 Funcionamiento de los sistemas, podemos observar que, hay conceptos como estructura y dinámica que no se pueden entender si no es desde un estudio sistémico.

Kitano agrega los factores de métodos de control y de diseño, pues mas allá del simple conocimiento del sistema a nivel molecular, los científicos que trabajan en estas áreas, están enfocados en encontrar aplicaciones, solo por mencionar algunas, en el 2010, se identificaron los siguientes:¹²⁵

- El reconocimiento de biomarcadores basados en estudios de rutas biológicas.
- La generación de mapas de interacción genéticos globales.
- Enfoques sistémicos para la identificación de genes asociados a enfermedades.
- La biología de sistemas de células madres y pluripotenciales.

122 Bruggeman, F.J., Hornberg, J., Boogerd, F., Westerhoff, H., 2007. Introduction to systems biology.. p.14.

123 Medina Torres, M.A., 2011. *Biología de Sistemas... ¿qué biología de sistemas?* Encuentros en la Biología.

124 Kitano es uno de los pioneros de la Biología de Sistemas

125 Medina Torres, M.A., 2011. *Biología de Sistemas... ¿qué biología de sistemas?* Encuentros en la Biología.

Los avances que se logran con la biología de sistemas junto con la biología molecular, pueden tener una aplicación importante para la medicina, particularmente para la industria farmacéutica, ya que permitiría desarrollar modelos de las células en los que se puedan observar los efectos primarios y secundarios de los medicamentos.

No obstante la Biología de Sistemas se centra en el estudio a nivel molecular, podemos entender que, el contar con un marco teórico general sobre los sistemas, resulta especialmente útil al describir casi cualquier sistema en cualquier escala, pues podemos hacer uso de un lenguaje y conceptos comunes. Sin embargo, es importante comentar que, siempre habrán particularidades propias de las distintas áreas de estudio a las que los métodos de investigación se deben adaptar.

Ecología

El nuestro, es un planeta cuya evolución permitió que ocurrieran las condiciones necesarias para el surgimiento de la vida. La manera en que se relacionan los elementos en la tierra, la abundancia de agua, sus diversos ciclos y el lugar que ocupa en el sistema solar, son algunos de las circunstancias que han hecho de la tierra el hogar de millones de seres vivos, los cuales no sólo somos los habitantes del planeta, sino que también cumplimos un papel importante en la permanencia del entorno necesario para la vida.

El hogar de la vida se encuentra en un estrato del planeta llamado biósfera, el cual se origina por la conjunción de tres capas en el planeta: atmósfera (conformada por gases), hidrósfera (conformada por agua) y litósfera (conformada por silicatos y minerales). La biósfera tiene una naturaleza dinámica, pues es un sistema que se caracteriza por los continuos ciclos promovidos principalmente por la energía solar. Sin embargo, a escalas de tiempo más largas, la energía que emerge del núcleo ardiente de la tierra provoca cambios que impactan principalmente a la litósfera. Las mareas son también determinantes en los ciclos terrestres, y se deben a la interacción entre la tierra, la luna y el sol.

La dinámica de la biósfera deriva de las relaciones que establece con los seres vivos, es el resultado de un sistema complejo. Los organismos que tienen su hogar en la biósfera han encontrado la forma de adaptarse a los retos que implican las condiciones en ella. Como mencionamos anteriormente, los seres vivos son sistemas abiertos que intercambian energía con el medio, lo cual implica que establecen interacciones necesarias para su existencia con el ambiente en el que viven. La ecología es precisamente la ciencia que se encarga del estudio de dichas interacciones, el origen del concepto viene de las palabras griegas οἶκος (casa) y λογος (estudio).

La ecología ha dividido en dos grandes grupos a los factores cuya interacción compone la compleja red que permite la subsistencia de la vida, los cuales son:

- **Factores bióticos.** Organismos vivos en todos sus niveles
- **Factores abióticos.** Componentes no vivos, tanto físicos como químicos, tales como la temperatura, energía, agua y nutrientes.

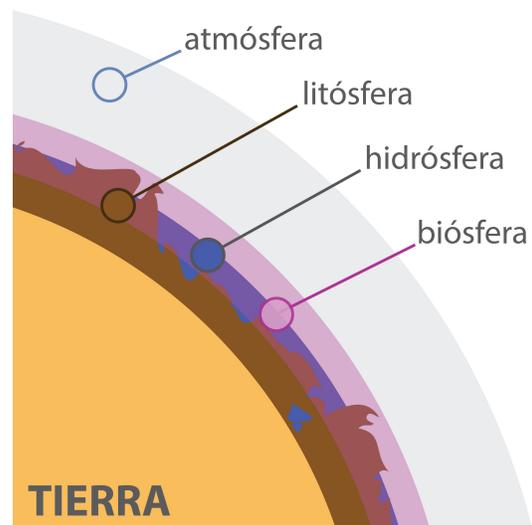


Ilustración 33: Composición de la biósfera

La esencia y la existencia de cada uno de los organismos está ligada a ambos factores, pues determinan sus condiciones de vida. La tierra es un planeta en donde los factores bióticos y abióticos varían dependiendo de la localización geográfica, la cual representa para los seres vivos una condición particular en su lugar de residencia, es decir, su **hábitat**. Si bien las condiciones ambientales determinan en gran parte las características de los seres vivos, éstos también presentan un comportamiento en respuesta a la competencia, consumo y depredación al que se encuentran expuestos. A esta relación con el hábitat se le conoce como **nicho**¹²⁶.

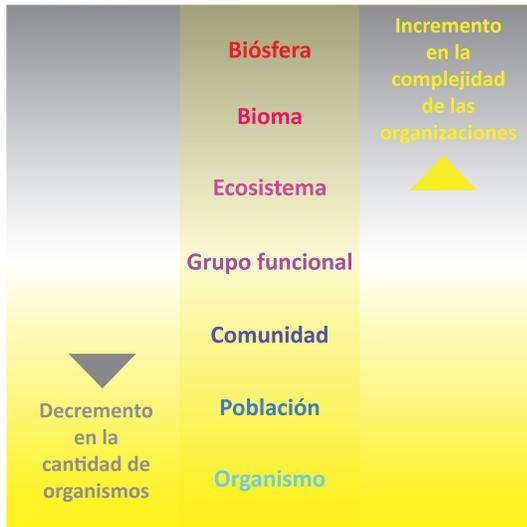


Ilustración 34: Niveles de organización de la vida

Podemos observar al planeta como un gran sistema bastante complejo que, a su vez, se compone por subsistemas y ciclos que permiten las condiciones necesarias para que exista la vida. La Ilustración 34 nos muestra los distintos niveles en los cuales se organiza la vida, mientras mayor sea el número y variedad de organismos que componen cada nivel, mayor será su complejidad.

La ecología ha delimitado sistemas considerando la relevancia que existe entre las interacciones entre grupos de seres vivos y las condiciones del medio en que habitan, dichos sistemas reciben el nombre de **ecosistemas**.

Los organismos, a un nivel molecular, se forman en un 99% por cuatro elementos, que son: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, además de fósforo, sulfuro y algunos otros elementos, en total son dieciséis. Por lo anterior, son de vital importancia los ciclos que permiten que dichos elementos esenciales circulen, a veces en forma orgánica y a veces de manera inorgánica, entre el medio y los organismos¹²⁷:

- **Ciclo del agua.** Se lleva a cabo gracias al calor de sol, el cual provoca la evaporación del agua, su condensación y finalmente su precipitación. Este ciclo es de gran importancia ya que permite que el agua se reintegre en la superficie terrestre y llegue a diversos lugares, propiciando que la vida prospere.
- **Ciclo del carbono.** La fotosíntesis de las plantas, la respiración de los seres vivos y la descomposición de las células muertas son algunos de los principales contribuyentes naturales para la realización de dicho ciclo. También se encuentra en combustibles fósiles en rocas sedimentarias.
- **Ciclo del nitrógeno.** La atmósfera está compuesta en un 79% por nitrógeno. El nitrógeno es necesario para todos los organismos porque es un ingrediente de las proteínas y del ácido nucleico. La presencia del nitrógeno es importante para ciertas bacterias que establecen relaciones simbióticas con plantas y hongos.
- **Ciclo del sulfuro.** El sulfuro es componente de proteínas, vitaminas y hormonas. La erosión de las rocas libera sulfatos al ambiente, los cuales son absorbidos por plantas y bacterias, que a su vez son ingeridas por animales, los cuales al morir, devuelven los sulfatos a la tierra al descomponerse.
- **Ciclo del fósforo.** El fósforo es importante para los vertebrados como mineral en la formación de huesos. Se encuentra en rocas que al ser erosionadas por el agua lo transportan por dos rutas. La primera llega a los vegetales, donde son ingeridos por herbívoros y devueltos al suelo en forma de desechos, mismos que son

126 Dickinson, G. Murphy, K., 2008. *Ecosystems*, 2da ed, Routledge Introductions to Environment: Environmental Science. Routledge, Londres. p.7.

127 Rafferty, J.P., 2011. *Biomes and ecosystems*, 1ra ed. Britannica Educational Publishing/Rosen Educational Services, Nueva York.

descompuestos por organismos. La segunda ruta los lleva a medios acuáticos donde se sedimentan y eventualmente se evaporan y vuelven a las montañas en forma de lluvia.

Por ahora no profundizaremos más en los detalles de estos ciclos, pues solo son una parte del tema central de este segmento del documento, es decir, la ecología y los ecosistemas. Es importante resaltar que los organismos cumplen una función importante en el desarrollo de los ciclos mencionados.

Tanto los ciclos de los elementos como el desarrollo de la vida están basados en el cambio y la dinámica constantes, para lo cual se requiere energía. El sol es la principal fuente de energía, cuyo paso a través de los componentes de los organismos vivos inicia con la fotosíntesis, misma que fija la energía en las plantas y otros organismos **productores** para después ser consumidos por organismos **usuarios**. En ambientes oscuros donde la energía del sol no es suficiente, los organismos la extraen de reacciones químicas a partir de elementos inorgánicos en el ambiente.

Las condiciones climáticas de la tierra están ligadas a su posición en el sistema solar. La inclinación de su eje de giro, los movimientos de traslación y rotación y la órbita que recorre alrededor del sol, son sólo algunos factores externos a la tierra, por los cuales existe dicha variedad de condiciones climáticas. La orografía e hidrografía terrestres, junto con las corrientes de viento, corrientes oceánicas, composición regional de suelo, la variación de temperatura, entre otros factores, terminan de definir la diversidad de climas y otros factores abióticos del ambiente. Así es como se forman los **biomas**, los cuales son asociaciones ecológicas del mismo tipo, que ocupan extensiones geográficas definidas de tierra y agua. Pueden ser de dos tipos:

- **Acuáticos:** Marinos o de agua dulce
- **Terrestres:** Bosque tropical, sabana, desierto, chaparral, pastizal, bosque templado, bosque de coníferas, tundra, taiga y alta montaña.

Ecosistemas

Los fenómenos que ocurren en nuestro planeta, surgen de una compleja red de relaciones, que tienen como resultado una gran variedad de condiciones en el mundo, y por lo tanto de ecosistemas.

Debido a que un ecosistema existe gracias a las relaciones entre una comunidad de organismos vivos y su ambiente físico, dentro de un espacio en particular, la pertenencia del planeta al sistema solar es de vital importancia, pues la mayor parte de la energía que hay en él viene del sol. En los ecosistemas, la **energía** se puede definir como un subsistema abierto, ya que la energía del sol llega desde el espacio en forma de radiación y fluye a través de todo el sistema. Esta energía se usa en actividades metabólicas para ser convertida en calor, el cual finalmente se irradia de regreso al espacio, manteniendo el equilibrio termodinámico. Gran parte de la energía que llega a la tierra es reflejada gracias a la atmósfera, permitiendo que los organismos en ella sólo reciban la radiación que pueden soportar y que necesitan para sus actividades vitales.

Otra parte de la energía que fluye en ecosistemas muy específicos es la energía geotérmica, la cual proviene del calor liberado del núcleo de la tierra. La actividad volcánica, la producción de lava y de gases y vapor representan fuentes de energía para ecosistemas que se desarrollan en los respiraderos del fondo marino.

Una parte de la energía en los ecosistemas, fluye mediante reacciones químicas que llevan a cabo los organismos al descomponer los **nutrientes**, los cuales son la materia que requieren para llevar a cabo sus actividades vitales. La descomposición de materia por los organismos, forma parte de los ciclos de elementos que se llevan a cabo en la naturaleza, mismos que hemos mencionado anteriormente.

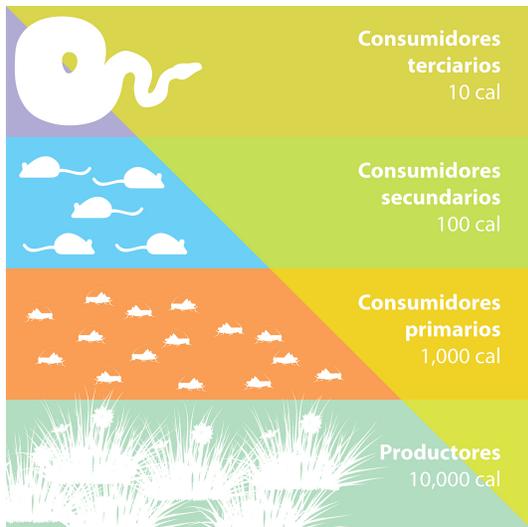


Ilustración 35: Pirámide trófica

La **pirámide trófica** (de alimentación) es fundamental en la transmisión de energía a través de todo el ecosistema y se basa en consumo y depredación entre las diferentes especies que conforman la comunidad en el ecosistema.

Los primeros organismos en captar la energía que viene del sol son las plantas y bacterias fotosintéticas, quienes se convierten en los **productores primarios**. Estos organismos son de tipo autótrofo, es decir, que elaboran su propia sustancia orgánica a partir de sustancias inorgánicas.

Las relaciones tróficas que se da en la comunidad de seres vivos en un ecosistema se pueden explicar mediante las pirámides tróficas. En la Ilustración 35 podemos observar que, posterior a los productores primarios, todos los demás organismos son consumidores, es decir que son heterótrofos, pues reciben el alimento en forma orgánica. También nos percatamos de que existen varios niveles de consumidores, lo cual es variable dependiendo del ecosistema.

Aunque la pirámide trófica como la conocemos en nuestros días nos da una idea de la jerarquía de las especies en cuanto a su alimentación, en realidad ésta se basa en un flujo de energía en una red compleja, misma que se puede expresar, tanto gráfica como conceptualmente con mayor claridad mediante una **red trófica**, en la Ilustración 36 podemos ver un ejemplo.

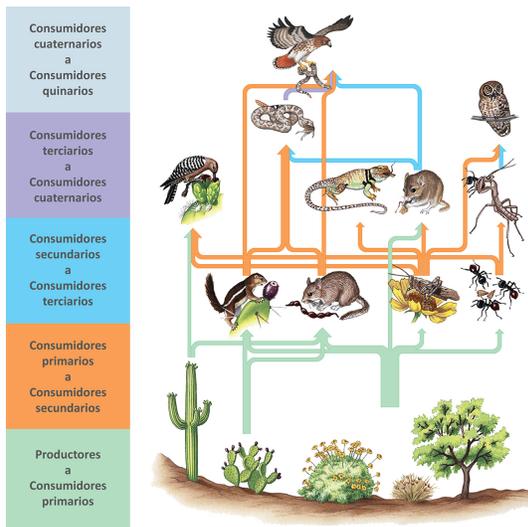


Ilustración 36: Red Trófica

Existe un grupo de consumidores que normalmente no se consideran en las pirámides tróficas, pero que tienen un papel muy importante en la recuperación de energía a partir de los desperdicios y se clasifican en tres grandes grupos:

- **Carroñeros**- Se alimentan de los restos de animales que dejan los grandes predadores. Son animales como hienas y buitres.
- **Detritívoros**- Los ciempiés y las lombrices pertenecen a este grupo y el material orgánico en descomposición es la base de su alimentación.
- **Descomponedores**- Este grupo se forma por hongos y organismos procariontes que convierten el material orgánico en inorgánico.

En términos de eficiencia, hay una pérdida de energía durante el proceso de alimentación de los seres vivos. El grado de transferencia de energía entre niveles de la cadena trófica es de 5-20%, la energía que se pierde en la transferencia es de 80-95%.¹²⁸

La pérdida de energía entre niveles tróficos, está relacionada con el territorio geográfico, pues los grandes predadores como el león, el halcón, etc, sostienen su alimentación con base en una gran cantidad de productores primarios. Mientras más niveles existan entre el ser vivo y los productores primarios, mayor será la extensión territorial que éste necesita .

¹²⁸ Campbell, N.A., Taylor, M., Simon, E.J., Dickey, J.L., Reece, J.B., 2012. *Biology: concepts & connections*, 7ma ed. Pearson/Benjamin Cummings, Redwood City. p. 751.

Si bien la alimentación es una de las principales relaciones entre las especies de organismos que conforman la comunidad en un ecosistema, existen otras interacción entre las especies que tienen especial relevancia en los ecosistemas:

- **Competencia**- Ocurre entre las especies cuando comparten un mismo territorio y los recursos para su supervivencia son los mismos.
- **Mutualismo**- Cuando la relación entre ambas especies les da un beneficio que les permite sobrevivir.
- **Depredación**- Es una relación en la cual el organismo depredador se alimenta de la presa. Tiene efectos negativos en la reproducción de las presas, por lo que normalmente éstas superan en número a sus depredadores. Las presas son organismos que han desarrollado mecanismos para “escapar”, tal es el caso del camuflaje o la imitación de colores y formas de otros organismos que causan daño a los depredadores.
- **Adaptaciones en plantas**- A pesar de que no necesariamente resulta letal el consumo de las plantas por seres herbívoros, la planta requiere de grandes cantidades de energía para recuperarse. Por lo anterior, han desarrollado adaptaciones para sobrevivir, como la toxicidad.
- **Parásitos y patógenos**- Los parásitos se alimentan de algún recurso presente en el cuerpo del anfitrión, puede ser sangre, o algún fluido corporal. Los organismos patógenos causan enfermedades en los organismos en los que se hospedan, y su aparición les puede resultar letal, pues suelen tener mecanismos de propagación muy efectivos.

Las diferentes relaciones descritas, son el reflejo de la **biodiversidad**, pues ésta se define como la variedad de especies en una comunidad; dos aspectos importantes que determinan la biodiversidad: la cantidad de especies y el número de individuos de cada una.

La biodiversidad promueve la supervivencia de los ecosistemas pues, cuando una especie se encuentra en peligro de desaparecer, las demás especies pueden ocupar el nicho que se deja libre y equilibrar el sistema. No sólo es importante la cantidad de especies en el ecosistema, pues la variedad de individuos dentro de la misma especie determina el nivel genético, dando pie a la evolución.

A partir de la anterior descripción acerca de la ecología y a los ecosistemas, tenemos una idea muy general de la complejidad que implica la existencia de la vida. La cantidad de temas que faltan por conocer en biología son inconmensurables, por lo que el esfuerzo en la investigación y registro de conocimiento por parte de los científicos es invaluable y, en la actualidad, contamos cada vez con más herramientas para acercarnos a dicho conocimiento y vislumbrar, en mayor o menor medida, la riqueza del universo en que existimos.

El mundo es mucho más complejo de lo que nuestros ojos humanos nos permiten ver y, si asumimos una actitud de interés e integramos a nuestra mirada la perspectiva de la biología, podemos expandir un poco nuestra comprensión del mundo y reflejarlo, como diseñadores, en nuestras interpretaciones materiales.

Capítulo 5. Biomimética. Diseñando a partir de sistemas

Una de las principales aportaciones del trabajo interdisciplinario del diseñador en la biología, con el objetivo de aplicar la biomimética, radica en que la naturaleza representa un potencial detonador de ideas, que pueden dar origen a conceptos que cambien el modo de proponer productos diseñados.

El concepto de “imitación de la vida” puede parecer muy amplio e incluso un tanto ambiguo, ya que, al argumentar nuestros diseños como **biomiméticos** nos encontraremos con cuestionamientos como ¿Que hace diferente el diseño basado a partir de la biomimética con respecto al diseño que no lo está? No necesariamente debe existir una única y tajante respuesta a este cuestionamiento, pues si nos limitamos a argumentar que estamos “imitando la vida”, podemos caer en la trampa de sostener nuestro trabajo en un argumento fácilmente debatible, pues ¿Cómo podríamos demostrar que un diseño imita a un ser vivo? Lo que si podemos lograr, es sostener un diseño basado en biomimética, argumentando que la solución que en él presentamos parte de la observación, investigación y conocimiento de una parte (normalmente muy pequeña y muy específica) de un organismo, ser o sistema vivo (es decir, de una entidad biológica). Lo anterior nos da la capacidad de exponer nuestro proyecto biomimético como una solución que se deriva de la observación de una entidad que cumple una función coherente y perfecta para un determinado fin dentro de un sistema vivo, al cual podemos observar en su totalidad, es decir, que somos conscientes de las relaciones y dinámicas en que se encuentra inmerso.

En una primera impresión, la idea expuesta en el párrafo anterior pudiera resultar obvia, ya que el diseño por si mismo no persigue crear vida. Sin embargo, es importante detenerse a comprender con mayor profundidad los conceptos que usamos para sostener nuestro trabajo, pues en medida que seamos capaces de argumentarlo, éste será más sólido; incluso puede llevarnos a ser más sensibles y perceptivos y lograr una mayor profundidad en nuestras propuestas.

Al hablar de imitación, gran parte del sustento de nuestro trabajo se encuentra en función de la capacidad de observación. En particular, la indagación que se hace en el presente documento es para ofrecer un punto de partida o un punto de vista que coadyuve a que el diseñador no se sienta perdido en el universo de la biología y más específicamente en la complejidad implícita en el organismo vivo.

Desde un enfoque sistémico, hemos visto que podemos delimitar la visión que tenemos de un ser vivo, partiendo de las relaciones relevantes en sus componentes, las cuales responden a un patrón autopoietico. Pero más allá de si mismo ¿Que sucede con las relaciones que establece hacia el exterior? ¿Hasta que punto son relevantes y lo hacen parte de otro sistema?. Las anteriores son preguntas que, desde el campo y la formación natural del diseño, son difícilmente explicables. por lo anterior el marco de referencia presentado en los Capítulos 3 y 4, principalmente en el segmento 4.1.1 Sistemas vivos, nos proporcionan una base a partir de la cual podemos entender un concepto de ser vivo y las relaciones que establece hacia el exterior de sí mismo, es decir, un enfoque sistémico, el cual pretende ser una herramienta teórica que nos facilitará la exploración del

conocimiento generado desde la biología, es decir, que el pensamiento sistémico busca integrarse al proceso de biomimética como un complemento.

5.1 Magnitud de aplicación del pensamiento sistémico en la biomimética

El marco teórico y los conceptos que hemos presentado en el tema 3.3 Funcionamiento de los sistemas, pueden ser aplicados, como herramienta auxiliar en todo el proceso de diseño.

A continuación haremos una descripción general de la aplicación del pensamiento sistémico en las fases del proceso de biodiseño de Janitzio Égido, presentado en la Ilustración 14:

- **Entidad biológica.** Ya que el objetivo de estudio puede encontrarse en diferentes niveles, desde una de las partes, hasta el organismo en su totalidad, o bien, en un sistema mayor al que pertenece el organismo, podemos usar al pensamiento sistémico para delimitar nuestro interés en la entidad biológica. Esto nos permitirá ser más concisos en los alcances de la investigación que llevaremos a cabo.
- **Modelo descriptivo y modelo abstracto.** Al observar y entender una entidad biológica como un sistema, estaremos creando una especie de mapa que nos guíe en la abstracción. Dicho mapa podría funcionar como modelo descriptivo y, en el proceso de ser reinterpretado como un modelo abstracto, nos permitirá visualizar las diferencias entre las propiedades naturales de la entidad biológica y las demandas culturales y sociales que el diseñador debe considerar al hacer su trabajo.
- **Aplicación del diseño.** En esta etapa se cuenta ya con un producto tangible, en el cual se han transferido el conocimiento y referencias obtenidas en los pasos anteriores del proceso. Tanto el modelo descriptivo, como el modelo abstracto estarían explicados en términos de sistemas, por lo cual, al evaluar el nivel de imitación logrado en la aplicación de diseño, tenemos una base clara en la cual fundamentar los alcances del diseño.

El enfoque sistémico por sí mismo no es un método para lograr diseñar a partir de la biomimética. La importancia de utilizarlo radica en que permite a los diseñadores abordar la temática y el conocimiento generado desde la biología. Es un intento de dar orden a un universo que parece totalmente ajeno a la formación natural del diseñador, para posteriormente, trasladar dicho orden al proyecto de diseño.

5.2 Modelos y redes

Los modelos son una especie de mapa que, aunque no son ni la entidad biológica ni el producto, objeto o sistema diseñado, nos dan una descripción de ellos.

Los modelos son recursos comunes tanto en la ciencia como en el diseño, éstos nos permiten observar a detalle ciertos rasgos relevantes. En el caso de la ciencia, los modelos se hacen para observar diversas características de un fenómeno, organismo, objeto de estudio, etc, y comprenderlo en distintas dimensiones. Mientras que en el caso del diseño, la finalidad de los modelos es variable, se pueden observar aspectos estéticos, ergonómicos, funcionales, de escala, etc.

Un mismo fenómeno se puede describir a a partir de varios modelos, pues la elaboración del modelo depende principalmente de dos factores: de la finalidad con la que esté hecho y de la perspectiva o punto de vista de quien lo elabora. El observador tiene una experiencia relativa a su capacidad cognitiva, por lo que "estrictamente hablando, cada individuo conocedor tiene una realidad diferente, pues vive un contexto diferente".¹²⁹

Una descripción no cambia al fenómeno o a una entidad biológica pero sí al entendimiento que tengamos del ellos¹³⁰. Con esto queremos señalar que, cualquier interpretación que hagamos en general, depende en gran medida de nuestra propia experiencia, conocimiento previo y capacidad de entendimiento. No podemos decir que, una descripción de un fenómeno o una entidad biológica como un sistema, sea mejor a una descripción hecha a a partir de otros recursos, simplemente nos permite estudiarlos en términos de sus interacciones. Por lo anterior, no podemos calificar como verdadero o falso a un un modelo, sólo podemos decidir si es útil o no para nuestros propósitos¹³¹.

Para modelar los sistemas biológicos, son especialmente útiles las redes, pues nos permiten representar las relaciones entre pares de componentes. Están construidas por dos elementos básicos:

- **Nodos o vértices.** Representan a cada uno de los componentes del sistema que estamos describiendo. Pueden estar representados gráficamente por diferentes figuras, la cuales pueden ser distintas en función de la variedad en los componentes del sistema. En la Ilustración 36 Red Trófica (página 62), podemos ver un ejemplo en el cual los nodos se representan gráficamente por la imagen de cada uno de los organismos que componen la red.
- **Ligas o aristas.** Expresan las relaciones que hay entre los componentes del sistema. Normalmente se utilizan líneas o flechas que conectan a los componentes, dependiendo de lo que se quiera comunicar. Recurriendo nuevamente a la Ilustración 36 Red Trófica (página 62), observamos que las ligas entre los organismos son flechas de diferentes colores, la dirección de la flecha indica cuál de los dos organismos es el consumidor, mientras que los colores indican el nivel de consumo.

La eliminación o modificación de alguna de las ligas o de los nodos puede repercutir drásticamente en la comprensión del sistema. Tanto las ligas como los elementos pueden variar en color, forma, etc, según convenga a la descripción del sistema.

Un sistema puede estar representado por varias redes dependiendo de lo que se quiera expresar mediante ellas. Podemos representar, por ejemplo, la estructura y organización del sistema. También

129 Gershenson, C., Heylighen, F., 2003. *When can we call a System Self-organizing?*. p.6.

130 Gershenson García, C., 2015. *El modelo y lo modelado*. Investigación y Ciencia.

131 Ibid.

es pertinente usar las redes para ver la función del mismo, cada nodo representaría un estado del sistema, mientras que las ligas serían posibles transiciones entre estados.

Ya que en los sistemas vivos los patrones de organización se presentan en forma de redes, las relaciones que se establecen es sus componentes no son lineales, lo cual hace posible que exista la retroalimentación, misma que, particularmente en los sistemas vivos, son relevantes para mantener los estados internos del sistema.

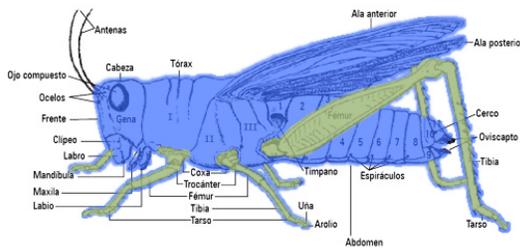
Un ejemplo de estructura en forma de red lo presenta Capra¹³². El cerebro humano está estructurado por diez mil millones de neuronas, conectadas en una vasta red de conexiones llamadas sinapsis, y puede ser subdividido en redes menores que se comunican entre sí.

El estudio de sistemas a partir de su modelado en redes, ha tenido especial relevancia durante los últimos 20 años. El desarrollo de la tecnología y el exponencial incremento en e uso de computadoras lo han facilitado.

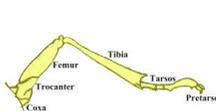
5.3 Traducción a sistemas

Hemos mencionado que el pensamiento sistémico se puede emplear a todo lo largo del proceso de diseño biomimético. Por lo anterior, haremos una descripción de la manera en que se pueden traducir las entidades de estudio a sistemas.

1. Definición de límites.



■ Insecto ■ Entidad biológica - Patas



Pata Ambulatoria



Pata Saltadora

Ilustración 37: Entidad biológica/Patas de insecto

El planteamiento de un problema de diseño, generalmente, varía entre una situación muy específica y particular en la que el proyecto esté completamente definido, hasta una solicitud de propuestas totalmente novedosas. Lo anterior determina los límites en los cuales está acotado nuestro trabajo desde el diseño, a partir de los cuales podemos comenzar a identificar qué es lo que buscamos en las referencias de naturaleza. Retomando la clasificación de Negrotti sobre los niveles de valores que se buscan extraer de la entidad biológica, nuestros intereses oscilaran entre lo abstracto y lo concreto, lo analítico y lo estético.

Existen metodologías para identificar una entidad biológica que puede servir de referencia para nuestro proyecto¹³³, una vez que ya la hemos seleccionado, nos podemos encontrar con una enorme bibliografía, sobre la cual debemos discernir con el propósito de hacer accesible la

132 Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona. p.100.

133 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México.

investigación. Nos debemos preguntar ¿Cuál es el límite de lo que estudiaremos sobre determinado organismo?

Tomemos como ejemplo a un insecto. Si estamos interesados en la entidad biológica patas de los insectos, específicamente en su mecanismo, podemos establecer nuestros límites con respecto al sistema insecto, dejando fuera las demás partes de su cuerpo. De esta manera podremos centrarnos en las interacciones relevantes que hay entre los elementos que constituyen las patas¹³⁴:

La primera referencia con que contamos sobre el mecanismo que queremos emular, nos deja ver las conexiones entre los segmentos que componen la pata de un insecto., las cuales son: coxa, trócanter, fémur, tibia, tarso, pretarso¹³⁵.

2. Propósito o finalidad del sistema

El sistema de patas de los insectos tiene una finalidad básica, el desplazamiento del insecto en conjunto con otras 5 patas. Pero, más allá de esa finalidad primaria en las patas de los insectos, existen otras funciones relacionadas con la mecánica de la pata. A continuación, se enlistan algunas de las funciones asociadas con las patas¹³⁶:

- Excavación
- Sujeción de presa
- Agarre de parásitos
- Limpieza de patas
- Limpieza de antenas
- Recolección
- Producción de seda
- Arrastre

La finalidad de la entidad biológica a la que estamos haciendo referencia es una de las claves que nos llevan a seleccionarla, pues muy probablemente nuestro objetivo sea justamente emular o lograr un propósito similar en nuestro proyecto. Una manera de entender cómo se logra el propósito del sistema, es a través de la observación de su comportamiento, pues todos los elementos de un sistema están ordenados con la intención de lograr dicho propósito.

En el ejemplo de la entidad biológica pata de insecto, podemos observar que la forma en que se comporta el sistema se basa en que la pata sirva para desplazarse. Las dimensiones y proporciones de los segmentos de las patas son básicas en la definición de la forma de desplazamiento del insecto. Además, cada una de las articulaciones tienen un sentido y un límite definido que permite que la pata, además de mantener unidas a las secciones, se flexione de una manera específica.

Observamos también en éste ejemplo que la finalidad tiene matices pues, aún cuando el propósito básico de las patas es que el insecto se desplace, cada especie de insecto lo logra de una manera diferente. Además del desplazamiento, hemos mencionado anteriormente algunas de las funciones que cumplen las patas, para lo cual pueden existir otros componentes, o bien, la pata puede presentar algunas variaciones en cuanto a forma, dimensiones, etc.

134 Pacheco Esparza, A., 2013. *Biomimética aplicada al Diseño Industrial. Aplicaciones funcionales de los insectos*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. p.60.

135 La pata del insecto puede componerse de otros elementos, dependiendo de la función que deba cumplir.

136 Basado en la lista de funciones en las patas de insectos en: *Ibid.*, p.61.

Para la biomimética es especialmente importante percatarnos de que una finalidad se resuelve de múltiples formas en las diferentes entidades biológicas.

3. Tipo de sistema: abierto o cerrado

Ya que son parte de un ser vivo, es difícil identificar una entidad biológica como un sistema totalmente cerrado, pues, como hemos mencionado anteriormente, los organismos vivos son sistemas cuyas partes se encuentran relacionadas entre sí y se organizan de forma tal que permiten al organismo cumplir con sus funciones vitales.

Los organismos vivos basan su existencia en un equilibrio entre ambos tipos de sistemas, pues, como mencionamos en el Capítulo 4 en el segmento 4.1.1 Sistemas vivos, su estructura es abierta, y su organización es autopoietica y cerrada

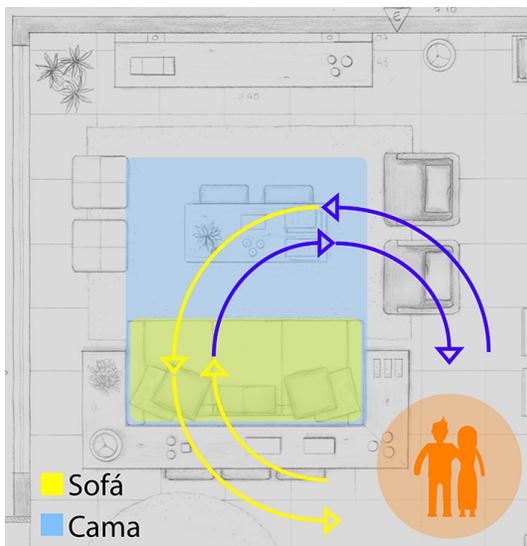


Ilustración 38: Sistema cerrado, sofá cama

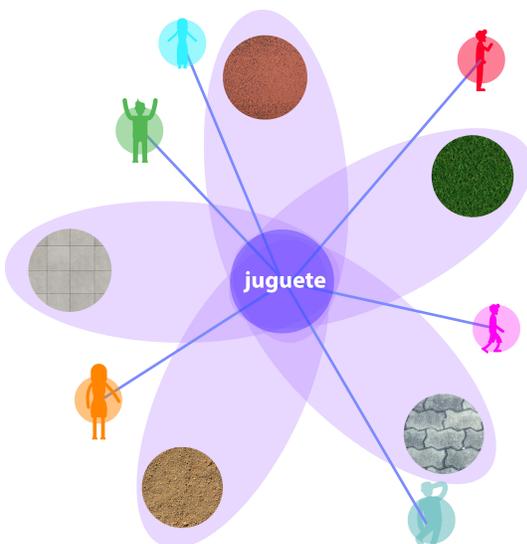


Ilustración 39: Sistema abierto, juguete para saltar

Por lo anterior, el considerar a una entidad biológica como sistema cerrado o abierto, dependerá del propósito de nuestra investigación y de la conveniencia del proyecto.

Retomando el ejemplo de la pata de insecto, supongamos que tenemos dos ideas de aplicaciones para la entidad biológica "pata de insecto":

1. **Mecanismo para extender y contraer un sofá cama.** Consideremos éste como un sistema cerrado, ya que la posición del mueble en forma de sofá o en forma de cama, sólo tiene dos variables. La interacción con el ambiente es definida por el usuario y, en particular, en cuanto al mecanismo, se reduce a colocarlo en dos posiciones.
2. **Mecanismo de juguete infantil para brincar.** En este caso nos encontramos con una aplicación en la que el mecanismo no se reduce sólo a la interacción del usuario y del objeto, pues al tratarse de un juguete para saltar nos encontramos con una serie de condiciones que, en términos de sistemas, representan la constante entrada de información al sistema. De una manera somera, encontramos dos condiciones importantes cuya relación con el mecanismo es relevante: peso del niño/usuario, propiedades del piso (tierra, pasto, concreto, loseta, etc). Éste sería definido como un sistema abierto, pues el objeto en el cual apliquemos el mecanismo estará expuesto a la interacción con elementos variables, lo cual representa que existirá retroalimentación en el sistema.

Independientemente del tipo de sistema que represente el objeto a diseñar, las entidades biológicas nos permiten la flexibilidad de ser observadas a diferentes niveles, pues podemos mover los límites del sistema o de la entidad biológica dependiendo de las demandas específicas del proyecto.

En el caso del sofá cama, podemos plantear como límite del mecanismo a las partes que constituyen la pata y la manera en que se articulan. Mientras que para el juguete infantil para brincar, resulta relevante entender tanto la pata y la manera en que se articulan, como los mecanismos que tiene el insecto para sujetarse al piso y la relación del peso del insecto según el número de patas.

Ambas propuestas tienen origen en la misma entidad biológica y, pensar en ella como dos tipos de sistemas, es para el diseñador una forma de jugar y diversificar las aplicaciones.

4. Dinámica y Retroalimentación

La dinámica es el cambio en el tiempo del sistema. Un sistema presenta cambios de estado a través del tiempo y, dependiendo del sistema, podemos determinar en qué escala de tiempo es importante observar el estado del sistema.

Regresando al ejemplo de entidad biológica pata de insecto, sería relevante entender su dinámica en el tiempo que tarda en cumplirse un ciclo en el cual la pata del insecto da un paso. Durante este proceso el sistema pasará por distintos estados, lo cual es importante observar para sintetizar y comprender el movimiento de la pata. Además, durante dicho ciclo, podremos observar en los diferentes estados, si alguno de éstos es crítico para el sistema. Específicamente en la pata quizás hay momentos donde las articulaciones llegan a un punto de estrés importante que se pudieran repetir y resolver en las aplicaciones de diseño.

La dinámica nos permite ver no sólo los cambios cíclicos en el tiempo, también observamos que los sistemas pueden cambiar de estado dependiendo de la información que reciban del medio. En la entidad biológica que hemos tomado como referencia, la pata puede tener cambios de estado dependiendo del terreno en el que camine el insecto, por ejemplo un saltamontes mientras se encuentre en el piso plano se desplazará caminando, pero al encontrarse entre las hojas de un arbusto es más probable que se mueva saltando. El terreno en el que se desplace el insecto, traerá información importante para que éste reaccione y cambie su comportamiento.

5. Estructura

Hemos mencionado que la estructura del sistema oscila entre tres estados: frágil (un estímulo pequeño genera un gran cambio en el sistema), robusto (estímulos grandes provocan cambios pequeños o nulos en el sistema) y antifrágil (mientras más estímulos recibe, el sistema funciona mejor).

Si bien, en general la estructura de los organismos tiende a ser robusta, pues son sistemas cuya prioridad es mantener la vida frente a los estímulos o cambios en el exterior, la estructura de cada parte del organismo pueden ser diferentes. Por ejemplo, mencionamos en el segmento *Funcionamiento de los sistemas*, que el cerebro es un sistema antifrágil.

En el caso de la entidad biológica patas de insectos, podemos decir que, en general, las patas tienen mecanismos con tendencia a la fragilidad ya que reaccionan y cambian de estado dependiendo de los estímulos del tipo de terreno en el que se desplaza el insecto.

El concepto de estructura lo podemos trasladar a las dos aplicaciones en diseño que hemos propuesto a partir de la entidad biológica patas de los insectos. En el caso del sofá cama, nos

conviene darle al mecanismo una estructura robusta, pues nos interesa que, al colocar al mueble en estado de sofá o en estado de cama, no cambie con cualquier estímulo del entorno, pues es deseable que se mantenga estático para que el usuario descanse o duerma.

Por otro lado, el juguete para niño debe tender a la fragilidad, pues se busca que el mecanismo permita un mayor cambio de estado en cada ocasión que rebota en el piso, no importando cuales sean las condiciones de éste, pues para el usuario resulta más interesante y divertido mientras mayor es la reacción del juguete. No podemos olvidar que es necesario limitar la fragilidad del sistema en función de la seguridad del usuario.

La estructura de la entidad biológica se puede ajustar dependiendo de las cualidades estructurales que se busquen en la aplicación en el diseño.

Ejemplo de sistema

Con los cinco conceptos anteriormente descritos, se pretende exponer las claves para realizar una síntesis de las entidades biológicas seleccionadas por los diseñadores. A modo de ejercicio, tomaremos como ejemplo el sistema circulatorio y su respuesta ante la actividad física, esto con el propósito de describir dichos conceptos.

1. **Definición de límites.** El sistema circulatorio se encuentra ubicado prácticamente en todo el cuerpo, y está constituido por el corazón, vasos sanguíneos (venas y arterias), sangre y por el sistema linfático. En el caso particular de éste ejercicio, tomaremos en cuenta la actividad física que realiza el individuo y la frecuencia cardíaca.
2. **Propósito.** El sistema circulatorio permite que la frecuencia cardíaca aumenta proporcionalmente a la intensidad de la actividad física, pues los músculos en activos necesitan más oxígeno y energía. Lo anterior se logra con el incremento de latidos del corazón.
3. **Tipo de sistema.** El sistema circulatorio se puede comprender como un sistema abierto, ya que se encuentra en constante dependencia de los demás sistemas y elementos que conforman el cuerpo humano. Particularmente en esta definición de sistema, nos enfocaremos en su relación con la actividad física del individuo.
4. **Dinámica y retroalimentación.** En la ilustración 40, se representa la dinámica entre el sistema circulatorio y las actividades físicas del individuo. El grado de intensidad de dicha actividad, provocará una reacción en el sistema circulatorio, la cual se verá reflejada en el aumento de la frecuencia cardíaca. Como resultado, la cantidad de oxígeno aumentará, permitiendo al cuerpo elevar su capacidad de actividad física. Igualmente, al disminuir la intensidad de la actividad, disminuirá la cantidad de sangre que el corazón bombea por minuto y, por lo tanto, disminuirá el pulso.
5. **Estructura.** Esta estructura la podemos describir como antifrágil, ya que el sistema mejora su capacidad de adaptación, cuanto más ejercicio de tipo cardiovascular se realice.

El ejemplo citado sólo nos muestra una faceta del sistema circulatorio, sin embargo, se sabe que la magnitud de las relaciones que establece con respecto al cuerpo humano, tienen funciones más allá de permitir que se realicen distintas intensidades de esfuerzos. El sistema circulatorio también se encarga de transportar el oxígeno y los nutrientes a las células y eliminar sus desechos metabólicos a través de los riñones en la orina, y mediante los pulmones en el aire exhalado.

Para fines de estudio de una entidad biológica, es recomendable establecer un alcance, pues ello facilitará la comprensión de dicha entidad biológica, ya sea que tomemos como ejemplo sólo una parte de ella, o bien, a toda la entidad biológica. Mientras mayor sea el alcance de la entidad biológica que se desee emular, la complejidad del sistema será mayor.

Por lo anterior, puede resultar especialmente útil trazar un modelo mediante el cual describa el orden que, en los sistemas vivos, resulta especialmente complejo.

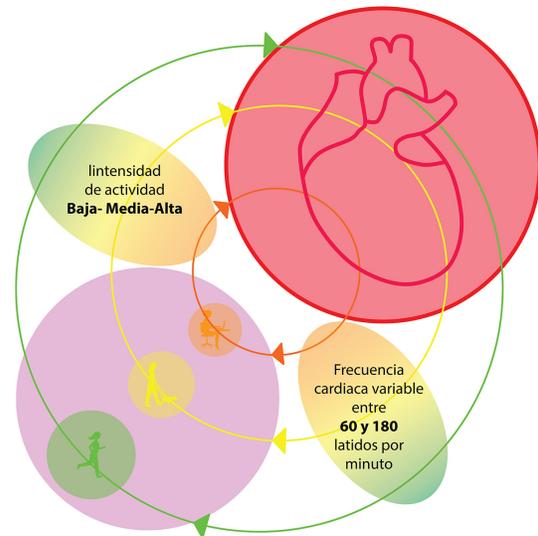


Ilustración 40: Sistema circulatorio

Capítulo 6. Ejercicio práctico:

La estrella de mar

Como parte de la investigación hecha para desarrollar el presente documento, durante los meses de mayo y junio de 2013 participé en una estancia académica en el Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo, dentro del Laboratorio de Ecofisiología.

El objetivo de la estancia fue el involucrarse de manera directa con el trabajo y la metodología que siguen los biólogos, a fin de encontrar vínculos entre el diseño y la biología que permitan dar solidez a la investigación sobre biomimética desarrollada como parte de la maestría en el Posgrado de Diseño Industrial.

Dado que se trata de un centro de investigación, gran parte del proceso está relacionado con el trabajo de campo, lo cual significó la oportunidad de conocer el trabajo de los biólogos más allá de las aulas y los espacios controlados en los laboratorios.

6.1 El campo de trabajo de la biología

El ambiente de trabajo durante la estancia académica me permitió, como diseñadora, observar aspectos en la labor de los biólogos que resultan completamente ajenos al trabajo en el diseño. Una de las primeras impresiones al observar el trabajo de campo de los biólogos, es que son científicos que se encuentran subordinados a la manera en que las condiciones de clima y en general de todo su entorno les permitan avanzar. Deben ser capaces de responder a la contingencia dada la impredecibilidad de la naturaleza.

En ocasiones asumimos a la naturaleza como un ente se puede observar e interpretar fácil y claramente. Sin embargo, un aspecto complicado en la investigación biológica es precisamente el ser capaz de comprobar las deducciones a las que se llega, pues los organismos son mucho más complejos de lo que la mente puede interpretar. Sus interacciones en general son tan estrechas con todo lo que los rodea (tanto factores bióticos como abióticos) que, hacer una afirmación sobre un determinado comportamiento o fenómeno es una labor que demanda observación profunda y minuciosa.

Acercarse a la información correcta es un aspecto fundamental en cualquier investigación. Dentro de la biblioteca del CIAD, la variedad y cantidad de bibliografía especializada en temas de biología,

superó la cantidad de información encontrada en búsquedas que realicé anteriormente. Dada la basta cantidad de información que se genera en las ciencias, es importante reconocer cuáles son las publicaciones y material informativo con las que se debe comenzar, pues se requiere conocer y estar familiarizado con el lenguaje, la estructura y formato de los textos de investigación que son propios de las ciencias biológicas, mismo que se encuentra en constante actualización. La comprensión de la información durante la estancia fue posible gracias al apoyo de los biólogos, pues ellos explicaron gran parte de las convenciones en el manejo de la información que se deben conocer para facilitar la lectura de artículos, libros y demás documentos científicos. Además, cotidianamente existen muchas palabras y expresiones pertenecientes al lenguaje entre los biólogos con las que tuvimos que familiarizarnos paulatinamente.

Parte fundamental en la producción de conocimiento en la biología son las prácticas de campo, en las cuales se establece una relación directa con los organismos que se están estudiando.

Dependiendo del tema de estudio por el cual se esté realizando la práctica de campo, se deben recopilar ciertos datos y hacer mediciones que posteriormente serán interpretados y documentados. Este proceso busca generar conocimiento sobre un organismo o un fenómeno en particular.

6.1.1 Experiencia en la práctica de campo

El periodo en que se realizó la estancia académica coincidió con una práctica de campo que tuvo una duración de dos días y una noche, en la cual tuve oportunidad de participar. Se recorrió la zona del mar entre la Bahía de San Carlos y la isla de San Pedro Nolasco en Guaymas, Sonora.



Ilustración 41: Recorrido de la práctica de campo

Dependiendo de las necesidades de cada investigación, con varios días de anticipación se hacen los preparativos para el viaje. Los investigadores deben de contar con una serie de aparatos y herramientas con los que complementan su investigación, mismos que se determinan en función al medio en que se realizará la práctica.

En una misma práctica de campo, se buscaba recopilar información complementaria para las investigaciones de varios alumnos:

- Modelación de nicho ecológico y uso de hábitat de las Toninas (*Tursiops truncatus*).
- Batimetría. Medición del relieve del fondo oceánico.
- Asociaciones interespecíficas de alimentación.
- Presencia del cangrejo *Gecarcinus planatus* en la isla San Pedro Nolasco.

Durante la práctica, ocurren avistamientos que pueden o no estar relacionados con alguna de las investigaciones, sin embargo, la presencia de cualquier organismo observado se registra en una hoja en la cual se anotan una serie de datos y mediciones, que son:

DATOS GENERALES

- Fecha
- Embarcación
- Observadores

DATOS PARTICULARES

- No. de avistamiento
- Hora
- Especie
- No. de individuos
- No. de crías
- Otras especies
- Comportamiento
- Latitud
- Longitud
- Distancia (m)
- Escala de Beaufort (medida para la intensidad del viento, a través del estado del mar y la velocidad del viento)
- Nubosidad (%)
- Color del mar
- Visibilidad
- Temperatura del agua (°C)
- Temperatura ambiental (°C)
- Dirección y velocidad del viento
- Profundidad
- Fotografías
- Observaciones

Estos son los principales datos requeridos, pero también existen otros aspectos cuyo registro depende de la percepción y experiencia del observador.

Estas mediciones no serían posibles sin contar con el instrumental adecuado:

- Colorímetro. Es una referencia de medición del color del mar
- Refractómetro. Mide la salinidad del mar
- Draga. Toma muestras del fondo marino
- Disco de Secchi. Mide la visibilidad
- Ecosonda. Mide relieve marino (batimetría)
- Botella Niskin. Muestreo de agua



Ilustración 42: Bahía de San Carlos, Guaymas



Ilustración 43: Observación desde la cubierta



Ilustración 44: Monitor de ecosonda

- Multiparámetro. Salinidad, conductividad, temperatura del fondo, pH, presión hidrostática, oxígeno disuelto.
- Termómetro ambiental. Temperatura en el ambiente
- Termómetro (agua). Temperatura en el agua

Las especies tienen una nomenclatura común y una nomenclatura binominal. La nomenclatura común se refiere al nombre con el que se conoce a la especie coloquialmente y se escribe en letras normales. La nomenclatura binominal se escribe en cursiva y se compone por dos palabras, la primera corresponde al nombre del género y la segunda es un nombre específico, el cual funciona como adjetivo calificativo y sirve para diferenciar a las especies. La siguiente es una lista de los organismos avistados, algunos pudieron ser identificados por su nombre científico:



Ilustración 45: Calderón *Globicephala macrorhynchus*



Ilustración 46: Lobo marino *Zalophus Californianus*



Ilustración 47: Vista desde la Isla de San Pedro Nolasco

- Mantaraya *Manta birostris*
- Paiño negro *Oceanodroma melania*
- Paiño de Wilson *Oceantes oceanicus*
- Chorlito dorado *Pluvialis fulva*
- Petreles
- Falaropo picofino *Phalaropus lobatus*
- Marilyn *Istiophoridae*
- Tonina *Turciops truncatus*
- Bobo pata azul *Sula Nebouxii*
- Bobo pata café *Sula Leucogaster*
- Tiburón blanco *Carcharodon carcharias*
- Calderón *Globicephala macrorhynchus*
- Tortuga prieta *Chelonia agassizii*
- Sardina *Sardina pilchardus*
- Tiburón zorro *Alopias superciliosus*
- Tiburón martillo *Sphyrna mokarran*
- Lobo marino *Zalophus Californianus*

Pese a que se cuenta con información sobre los sitios en que se pueden observar los organismos, los factores climáticos son determinantes para que sea posible la navegación. Por otro lado, encontrar a los organismos que se están buscando es una labor que requiere de paciencia y una gran capacidad de observación, además la “suerte” para coincidir con los organismos define, en gran parte, el encuentro. Finalmente, la experiencia es especialmente importante, pues mientras mayor sea el conocimiento del espacio en el que se trabaja, mayor será la posibilidad de ubicar las oportunidades de avistamiento.

El biólogo debe ser capaz de reconocer cuando alguna de las ideas que tiene asumidas sobre determinado fenómeno u organismo no corresponde a lo que está viendo, pues así se actualiza y clarifica el conocimiento.

No se puede controlar ningún evento en el mar. Las investigaciones están supeditadas a la aparición impredecible de los organismos y los eventos que se pretenden estudiar, a pesar de que se tenga conocimiento de los hábitos y las regiones en que estos acostumbran estar. Parte del objetivo de esta expedición era observar cachalotes y, aunque con respecto a muchos otros animales tuvimos una suerte excepcional, simplemente no se coincidió con dicho organismo.



Ilustración 48: Vegetación en la Isla de San Pedro Nolasco

6.2 Relación Diseño-Biología

La experiencia de entrar en al área de trabajo de la biología, permite percatarse de las diferencias y las similitudes entre la labor cotidiana del diseñador y la del biólogo.

La biología es una ciencia cuya labor se basa en un gran porcentaje en la investigación, su labor principal es conocer la vida, lo cual implica que se persigue conocer algo preexistente, que responde a un orden y tiene una estructura determinadas, que logra mediante el análisis, observación, medición, etc. Por su parte, la labor del diseñador está relacionada la reinención de la materialidad de nuestro mundo; la creatividad es una actividad fundamental para el diseño.

Probablemente la mayor parte de la labor de cada una de dichas profesiones se basa, en el diseño, en actividades creativas y, en la biología, en actividades de investigación Sin embargo, desde la breve experiencia durante la estancia académica, tuve la oportunidad de reflexionar y darme cuenta de que ambas actividades parten de las necesidades humanas de entender y relacionarse con el mundo. En su labor diaria, el diseñador también observa y el biólogo también es creativo.

En la biología, el científico que lleva a cabo una investigación, se enfrenta a límites, aún cuando se cuenta con herramientas y aparatos altamente especializados para observar. Hay partes en el gran rompecabezas que implica el área de estudio de la biología que no son fáciles de comprobar, es en este punto cuando el biólogo necesita utilizar sus cualidades creativas e imaginar posibles respuestas. Así mismo, el plantear un experimento en un medio controlado, como un laboratorio, requiere también del uso de la creatividad e inventiva del investigador, pues prácticamente se está fabricando un entorno artificial, que funge como una especie de escenario cuyo propósito es observar un fenómeno determinado; en dicho escenario, el investigador debe imaginar y preconcebir los elementos necesarios para llevar a cabo las observaciones pertinentes a su experimento.

Desde el diseño, la creatividad no es siempre un evento en el cual surgen ideas totalmente novedosas y disruptivas. Si bien de nuestra labor se requiere innovación, los diseñadores no podemos ignorar al mundo como es y simplemente decidir realizar propuestas innovadoras sin sentido alguno. La innovación y creatividad se basan en la observación e investigación del entorno que requiere la aparición de “algo”, es decir, que cada objeto que diseñamos tiene ser pertinente a su contexto, sin importar su grado de novedad, disrupción o tradición.

Ambas áreas de trabajo requieren tanto de actividades creativas como de actividades de investigación. A pesar de que la forma de trabajar en ambos campos es distinta, las actividades en común son una clave para su entendimiento mutuo.

El trabajo interdisciplinario no se basa en realizar las mismas actividades de las demás disciplinas o ciencias, pero si es importante comprender la esencia de lo que se hace en ellas, es decir, más allá

de su área de estudio, la comprensión radica también en cómo logra desarrollarse el estudio dentro de la disciplina o ciencia en cuestión.

Algunas de las claves en la labor de los biólogos que se observaron durante la estancia fueron:

- **Observación.** La observación amplia y meticulosa en varios niveles es el punto de partida de las investigaciones.
- **Registro.** El llevar una bitácora de lo observado en el campo de trabajo, facilita la visualización de los cambios de estado de los fenómenos u organismos estudiados. Tanto la escritura como el registro fotográfico son útiles.
- **Información.** Siempre se documentan sobre el tema al que van a estudiar. Se actualizan constantemente, ya sea con sus propias investigaciones o a partir de otras publicaciones.
- **Análisis y comparación de datos.** Además de registrar los datos que ellos mismos obtienen, la comparación con los datos de otras investigaciones les permite percatarse de cambios, aportaciones u omisiones en su investigación.
- **Comprobación.** Las hipótesis o teorías que surgen a partir de sus investigaciones deben ser comprobadas para que su trabajo tenga validez en la comunidad científica.
- **Actitud de curiosidad.** Es necesaria porque mantiene al biólogo motivado y generando preguntas sobre el tema que está estudiando.

Al igual que todas las ciencias, la biología se ejerce con un rigor científico, pues dicho rigor es una base confiable sobre la cual se construye el conocimiento. Lo anterior no significa que el conocimiento se inamovible, significa que tiene una validez en el momento en que surgió.

En este sentido, la biomimética representa para el diseño una base para construir argumentos, la diferencia radica en que la validez del diseño no se encuentra completamente en el rigor científico, sino en la coherencia que la propuesta de diseño logra con respecto al entorno en que se inserta.

El conocimiento y la invención del mundo en la realidad son un ente unido, y el trabajo interdisciplinario significa un esfuerzo en conjunto para entender un mismo evento con un mayor alcance.

6.3 Ejercicio práctico sobre la estrella de mar

El objetivo principal de la estancia académica en el CIAD, fue comprobar y reafirmar los conocimientos obtenidos, hasta ese momento, sobre la biomimética. Para ponerlos en práctica, se propuso hacer un ejercicio en el cual se encontrara una aplicación basada en la biomimética.

Tanto trabajar con biólogos investigadores dentro y fuera del laboratorio, como la posibilidad de observar a múltiples organismos en su entorno natural, debido a la riqueza de vida y espacios naturales de Guaymas, permitieron que esta parte de la investigación tomara dimensiones mayores a las que tuve en experiencias previas en otros procesos de diseño.

La colaboración con biólogos fue fundamental, pues facilitó la comprensión de los fenómenos y organismos que se observaban. Y fue precisamente con la observación dónde comenzó el proceso.

6.3.1 Descripción del proceso de diseño biomimético

El proceso de diseño se puede abordar desde dos tipos de aplicación¹³⁷:

1. **Diseño de concepto.** Parte de una entidad biológica previamente seleccionada y observada. No surge directamente de la necesidad de resolver un problema de diseño. Es un acercamiento común en los ejercicios creativos, pues se tiene la libertad de jugar con las aplicaciones que la imaginación permita proponer.
2. **Diseño de detalle.** El acercamiento se origina en una necesidad particular. En esta modalidad la búsqueda de una entidad biológica se rige por encontrar un ejemplo en la naturaleza que cumpla una función en particular, determinada por el problema de diseño.

El ejercicio desarrollado en la estancia académica partió del diseño de concepto, pues la gran variedad de organismos encontrados en el ambiente local significó la posibilidad de plantear diversas ideas aplicables al diseño.

A continuación se describe el ejercicio realizado, el cual se trata de apegar, en medida de lo posible, al orden del proceso de diseño biomimético, mencionado en la sección 2.1.1 Proceso de diseño en la biomimética. A lo largo de la descripción se agregaran anotaciones sobre cómo se integró el pensamiento sistémico al ejercicio. Dichas intervenciones se marcarán con un número dentro de un círculo rojo.

ENTIDAD BIOLÓGICA

El primer paso en el proceso de diseño fue observar a los organismos que existían en el entorno durante las prácticas de campo, en las cuales los biólogos del centro realizaban sus investigaciones. Se hizo una lista con los organismos observados, misma que se puede ver en la Tabla 6. Organismos observados

Al poder observar ésta gama de organismos, lo siguiente fue discernir entre ellos y enfocarse en una entidad biológica, se eligió a la estrella de mar. Al tiempo que se realizaban prácticas de campo para buscar y observar a las estrellas de mar en su hábitat, se buscó información general sobre dichos organismos.

ORGANISMOS OBSERVADOS	AVES	gaviotas, pelicanos, fragatas, colibrí, pájaro carpintero, zopilotes, halcón pescador, pato zamullidor, correcaminos
	MAMÍFEROS MARINOS	delfín común, tonina, lobo marino
	EQUINODERMOS	pepino de mar, estrella marina, erizo de mar
	MAMÍFEROS TERRESTRES	chichimoco, venado, zorra
	GASTERÓPODOS	pulpo, calamar
	CACTÁCEAS	cardones, sahuaros

Tabla 6: Organismos observados

137 Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México. p.124.

Investigación e interpretación

Los primeros acercamientos a la bibliografía para conocer a las estrellas de mar, se encontraron en un libro sobre invertebrados:

- Hickman, Cleveland P. *Biology of invertebrates*. Saint Louis: Mosby, 1973.

Desde un inicio, las consultas hechas a los biólogos fueron una guía para entender la clasificación taxonómica de las estrellas de mar y decidir en cuales documentos comenzar a buscar.

Los organismos tienen un lugar único dentro de la clasificación, la cual es una tarea propia de la Taxonomía. La clasificación nos permite conocer cómo están relacionados y organizados los seres vivos y se divide en las siguientes escalas:

REINO – PHYLUM – CLASE – ORDEN – FAMILIA – GÉNERO - ESPECIE



Ilustración 49: Clasificación del Phylum equinodermata

Se localizó la taxonomía de los organismos que fueron observados en las prácticas de campo, la Ilustración 49 nos da la información de dicha clasificación.

- 1 En este punto, el pensamiento sistémico nos permitió establecer un primer límite a nuestro estudio. Puesto que fueron diversas las especies de estrellas de mar que se pudieron observar, se decidió no limitarse a investigar sobre una en particular, se consideraron las características compartidas dentro de las especies encontradas, las cuales pertenecen a la clase asterozoa y ophiurozoa.

En la bibliografía consultada durante esta etapa, se hizo una lista de características que se consideraron importantes en los equinodermos:

1. Son invertebrados
2. Al principio de su vida su simetría es bilateral, pero llega un momento en que se modifica y se vuelve radial
3. No están segmentados, son acéfalos
4. Tienen un exoesqueleto de osículos calcáreos, con espinas, cubierto por una epidermis normalmente ciliada
5. Sus sistemas de locomoción, respiración y recepción sensorial se regulan por un sistema hidráulico
6. A excepción de los ophiuridos, carecen de aparato excretor
7. El sistema nervioso está descentralizado y consiste en tres anillos de nervios
8. El patrón de su simetría tiene implicaciones especiales en algunos aspectos de su comportamiento

Algunas características interesantes que se encontraron específicamente en las clases de los organismos elegidos fueron:

Asteroidea:

- Tienen ranuras ambulacrales, las cuales ocultan de 2 a 4 hileras de pies.
- Viven en zonas rocosas, arenosas o lodosas.

Ophiuroidea

- Sus movimientos son muy ágiles
- Pueden tener ramificaciones en cada uno de sus brazos

En la labor cotidiana del diseñador, normalmente los tiempos de trabajo son muy cortos y se recurre a herramientas de investigación de fácil acceso, como internet y alguna bibliografía. En este proyecto en particular se tuvo la posibilidad de salir en la búsqueda de los organismos vivos para observarlos directamente en su medio natural y se percibieron las siguientes características:

1. El cuerpo de las estrellas de mar se adapta a la forma de la superficie en la cual se posan
2. Su cuerpo es flexible, pero puede tomar rigidez
3. Tiene la capacidad de regenerar su cuerpo
4. Se desplaza y adhiere mediante pequeños pies

Las observaciones hechas sobre la entidad biológica fueron una de las primeras claves para encontrar aplicaciones en el diseño. Fue necesario regresar a la investigación bibliográfica y buscar documentación sobre cómo logran las estrellas de mar realizar las funciones que se observaron. A continuación se presenta un listado de los artículos consultados:

- Albano da Silva Lares, Rita de. *“Characterization of the coelomic fluid of the starfish *Marthasterias glacialis* in a wound-healing phase”*. Universidad Técnica de Lisboa, 2012.
- Barbaglio, A, S Tricarico, A Ribeiro, C Ribeiro, M Sugni, C Di Benedetto, I Wilkie, M Barbosa, F Bonasoro, y Candia. *“The mechanically adaptive connective tissue of echinoderms: Its potential for bio-innovation in applied technology and ecology”*, 2011.
- Birenheide, Rüdiger. *“Contractile Connective Tissue in Crinoids”*, 1996.
- Cortés-Rivera Y., R. Hernandez, P. San Martín-del Angel, E. Zarza-Meza y R. Cuevas-Gonzalez. 2016. *“Potencial regenerativo de la estrella de mar *Linckia guildingüii*”*. Hidrobiológica. 26(1):103-108
- Motokawa, Tatsuo. *“Mechanical Mutability in Connective Tissue of Starfish Body Wall”*, Diciembre de 2011, 10.
- ———. *“Morphology of spines and spine joint in the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (Echinodermata, Asteroidea)”*. Zoomorphology, 1986.
- Motokawa, Tatsuo, y Stephen Wainwright. *“Stiffness of Starfish arm and involvement catch connective tissue in the stiffness change”*, 1991, 5.
- Telford, Malcolm. *“Domes, arches and urchins: The skeletal architecture of echinoids (Echinodermata)”*. Zoomorphology, 1985, 11.

MODELO DESCRIPTIVO

La bibliografía consultada permitió resolver algunas de las dudas que surgieron en la práctica de campo, aunque se observó el comportamiento del organismo en su entorno natural, la investigación controlada dentro del laboratorio permite observar detalles imperceptibles a simple vista, los cuales podemos encontrar también documentados en diversos artículos y publicaciones.

② La información obtenida hasta este punto, permitió comprender que existe una organización dentro del ser vivo, mediante la cual logra su adaptación al medio. Se vislumbró la existencia de todo un sistema mediante el cual el organismo mantiene interacciones relevantes con el terreno y objetos en su entorno y cómo estas son importantes en su supervivencia.

A partir de los artículos consultados, se obtuvieron respuestas acerca de la relación entre las características observadas en las estrellas de mar y la función que cumplen en el proceso vital del organismo, mismas que se muestran en la Tabla 7 Características observadas en la estrella de mar.

CARACTERÍSTICA		COMO LO LOGRA	PORQUE SIRVE AL ORGANISMO
1	Su cuerpo se adapta a la forma de la superficie en la cual se posa	Su endoesqueleto está compuesto por osículos que se "articulan" entre si por un tejido conectivo que, mediante reacciones iónicas, hace que el cuerpo adquiera rigidez.	Protección, desplazamiento, sujeción y alimentación
2	Su cuerpo es flexible, pero puede tomar rigidez		
3	Tiene la capacidad de regenerar su cuerpo	La mortalaxis es un tipo de regeneración en que la parte perdida es remplazada por remodelación del tejido adyacente sin la formación de blastema.	Supervivencia
4	Se desplaza y adhiere mediante pequeños pies.	Mediante adhesivos que segregan y funcionan aún bajo el agua salada.	Sujeción, desplazamiento

Tabla 7: Características observadas en la estrella de mar

Nuevamente fue necesario reducir el enfoque de la investigación y concentrarse en alguna de las funciones observadas en la entidad biológica, mismas que en la Tabla 7 se representan como:

1. Su cuerpo se adapta a la superficie en la cual se posan
2. Su cuerpo es flexible pero puede tomar rigidez.

Ambas características se resumieron en un enunciado: "capacidad de tomar formas diversas a partir de la variación de estados flexibles o rígidos selectivamente".

③ Se decidió profundizar en estos aspectos observados en la entidad biológica por la importancia que de su relación parecía con el contexto, lo cual significó la posibilidad de explorar cómo funcionan los mecanismos de adaptación en el hábitat, y así observarlos en la práctica, no sólo como un mecanismo aislado.

En este punto del proceso, fue necesario profundizar sobre la adaptación del cuerpo de la estrella de mar a las superficies y sus cambios de flexibilidad y rigidez, para lo cual se revisaron los artículos y documentos previamente seleccionados, por lo que se eligieron y leyeron nuevamente dos artículos. A partir de ellos se obtuvieron algunas claves para comprender los aspectos relevantes para la investigación. A continuación se presentan los artículos y las notas importantes obtenidas de los textos:

"Mechanical Mutability in Connective Tissue of Starfish Body Wall"

Motokawa, Tatsuo.

El análisis se hizo en la especie *Linkia laevigata*, recolectada en la isla Sesoko, Japón.

- El cambio de rigidez en su cuerpo es probablemente una respuesta a la amenaza y ocurre debido a la pared del cuerpo.

- La pared del cuerpo de la estrella de mar consiste en: epidermis, una dermis en la que se alojan los osículos, una capa de musculatura y un epitelio celómico. Las dos capas del centro probablemente contribuyen a los cambios de rigidez.
- La rigidez se controla por el sistema nervioso

“Stiffnes of Starfish arm and involvement catch connective tissue in the stiffnes change”

Motokawa, Tatsuo, y Wainwright, Stephen

Estudio comparativo sobre la rigidez de los brazos de dos especies de estrellas de mar.

1. *Linckia laevigata*

- Sin necesidad de estimulación, mostró una amplia variedad de rigidez (2.24-51.3MPa). La estimulación mecánica incrementaba su rigidez 2.5 veces
- La sección de los brazos de la estrella de mar son casi iguales a lo largo de todo el brazo
- La pared tiene de 3 a 4 mm de grosor, equivalente a más de la tercera parte del radio del brazo
- La sección de corte no cambia mucho al moverse
- El brazo de la estrella se expuso durante 1hr a peso constante y sufrió 3 fases en el incremento de su rigidez
- Hubo un incremento instantáneo que se completó a los 5 segundos
- El segundo se concluyó a los 10 minutos, hubo un rápido incremento y un cambio angular que decreció con el tiempo
- Un incremento lento a baja velocidad
- Al remover el peso, el brazo regresó a una posición plana.

2. *Asterias forbesii*

- Los brazos aislados eran 23 veces más rígidos que los brazos intactos. La anestesia o el agua de mar saturada con menthol incrementaban la rigidez de 7 a 170 veces.
- Al anestesiar estos especímenes, la rigidez del cuerpo aumentó hasta 10 veces, mismo que no ocurre al congelar a los organismos.

NOTA. Las especies analizadas provienen de distintos órdenes y tienen distintos hábitos alimenticios.

En ambas especies se encontró que la rigidez del cuerpo se debe al tejido conectivo, el cual puede cambiar sus propiedades rápidamente al encontrarse bajo control nervioso. La dependencia iónica sugiere que el tejido conectivo está involucrado con el cambio de rigidez.



Ilustración 50: Estrella en el fondo del mar sobre roca



Ilustración 51: Ranuras ambulacrales en la estrella de mar



Ilustración 52: Pies de la estrella de mar al microscopio



Ilustración 53: Estrella resguardada en roca a la orilla del mar.



Ilustración 54: Pies saliendo de las ranuras ambulacrales

Además de las descripciones de los experimentos realizados, los artículos antes mencionados cuentan con ilustraciones y esquemas que son, para el proceso de diseño a partir de la biomimética, modelos descriptivos, gracias a los cuales podemos comprender el funcionamiento de la entidad biológica.

- 4 Dentro de esta investigación encontramos dos alcances diferentes de estudio que pudieran ser relevantes en la aplicación de diseño. El primero es el sistema por el cual interactúa la entidad biológica (estrella de mar) con el contexto en que habita. A una escala menor, se encuentra el sistema que permite a la estrella de mar adquirir rigidez y flexibilidad, el cual está compuesto, de manera general, por oscículos, tejido conectivo y el sistema nervioso del organismo.

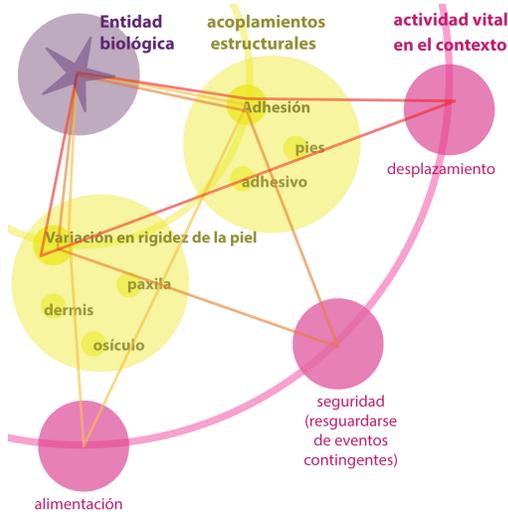


Ilustración 55: Abstracción gráfica del sistema de relaciones entre la estrella de mar, sus acoplamientos estructurales y sus actividades vitales

La capacidad que tienen algunas estrellas de mar para hacer flexible o rígido su cuerpo, está estrechamente ligado a su adaptación al ambiente.

A diferencia de los peces, las estrellas de mar no pueden nadar. Cuentan con hileras de pequeños "pies" que se adhieren a las superficies en el fondo marino, sobre la cual se deslizan.

Al adherirse a una superficie adaptando su cuerpo a la forma de la misma, se protegen de ser arrastradas por las corrientes en el mar.

Como mecanismo de alimentación, el juego entre flexibilidad y rigidez les permite atrapar presas para consumirlas, se alimentan principalmente de moluscos, por lo que deben ejercer presión en sus conchas para poder extraerlos.

Las Ilustración 55 describe la relación de la entidad biológica estrella de mar con su entorno, y se pueden considerar como un primer modelo descriptivo de la entidad biológica.

PROPUESTA		DESCRIPCIÓN
A	Bambineto ó silla para bebé	Soporte para bebés que pueda transportarse en poco espacio, que sea ligero y que adquiera rigidez al aplicar un esfuerzo o dar la "orden al objeto"
B	Sistema para construcción versátil	Sistema de construcción cuya cubierta pueda tomar formas "complejas"
C	Mobiliario de apoyo	Mobiliario que tome forma y se adapte a distintos espacios

Tabla 8: Propuestas de aplicación de diseño

Abstracción

Esta fase del proceso implicó actividades como lluvias de ideas, con las cuales se buscaron aplicaciones basadas en la "capacidad de tomar formas diversas a partir de la variación de estados flexibles o rígidos selectivamente" en las estrellas de mar.

El resultado fueron las propuestas planteadas en la Tabla 8, entre las cuales se tomó la decisión de desarrollar la opción C Mobiliario de apoyo.

MODELO ABSTRACTO

El mecanismo mediante el cual la estrella de mar toma diversas formas, a partir de su capacidad de ser flexible o rígida, se sintetizó en un modelo físico. Se abstraieron las características esenciales del mecanismo de endurecimiento del cuerpo de la estrella.

En la ilustración 56 podemos ver que existen tres elementos que se relacionan para lograr la alternancia de estados en la piel de la estrella de mar, que varía de rígida a flexible. Descrito de manera breve, este mecanismo funciona gracias a que los osículos se “ensamblan” formando una estructura, la cual se mantiene unida gracias a la regulación de la tensión provocada en la cubierta llamada Paxilla. El soporte del sistema al interior lo da la dermis, la cual a su vez crea una separación entre el mecanismo y los órganos internos de la estrella de mar.

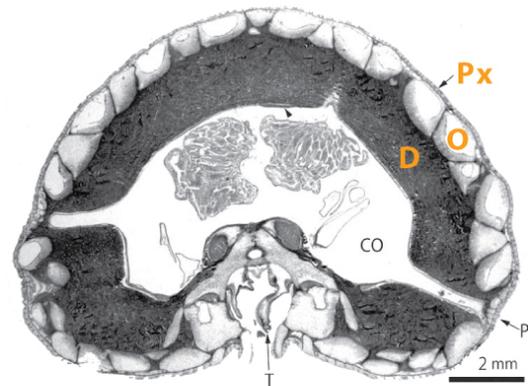
⑤ A una escala mayor se hizo una descripción del sistema en el que se proponía utilizar el “mobiliario de apoyo adaptable”, así como una representación gráfica que se puede observar en la ilustración 57. Lo anterior resultó de suma importancia pues determinó aspectos del objeto que van más allá del análisis del mecanismo.

Se eligió aplicar el “mobiliario de apoyo adaptable” dentro del sistema “Cuarto recreativo para ver televisión”. Dentro de ese tipo de espacios se realiza principalmente la actividad de mirar en una pantalla proyecciones de diversos tipos. Además, los espacios destinados a cuartos de televisión normalmente se ocupan para otras actividades como pláticas, lectura, ingerir algunos alimentos, etc.

Los elementos dentro de este sistema interactúan de forma en que la actividad principal sea mirar cómodamente lo que sea transmitido en la pantalla, en este caso, las interacciones entre sus elementos ocurren dentro de una habitación.

El sistema comprende elementos como:

1. Pantalla o TV
2. Aparatos de reproducción (DVD, consolas, etc.)
3. Asiento o sitio para el observador
4. Observador/es
5. Mesa o lugar para colocar alimentos
6. Habitación o cuarto



PX - Paxila
Tensión

O - Osículo
Estructura

D - Dermis
Soporte

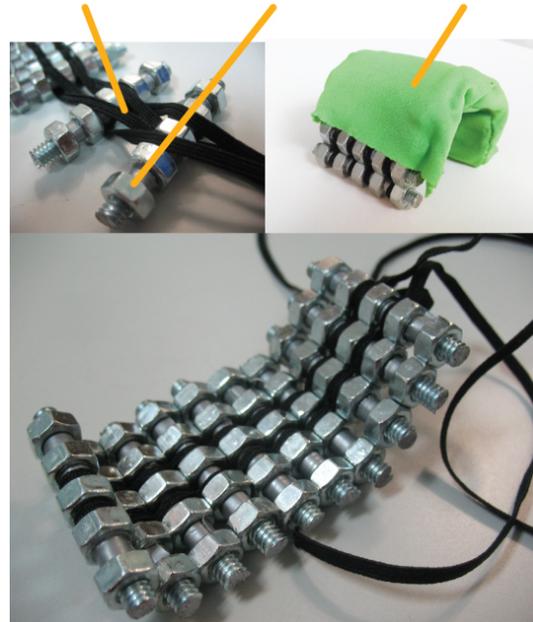


Ilustración 56: Abstracción en modelo físico

7. Instalación eléctrica
8. Sistema de iluminación artificial

Algunos de los elementos enlistados pueden ser considerados como subsistemas (sistema de iluminación, electricidad)

Para que el observador pueda mirar la pantalla, debe colocarse a una distancia que está directamente relacionada con las dimensiones de la pantalla, además la altura de su vista idealmente deberá estar al centro de la misma.

Al mismo tiempo, el asiento o lugar en que el observador se coloque, debe permitirle mantener cómodamente la posición descrita en el párrafo anterior con relación a la pantalla.

Ya que se considera que también se puedan ingerir bebidas o algunos alimentos, existe un elemento que nos puede ayudar a ése propósito, comúnmente se utilizan superficies de de apoyo. Dicha superficie guarda interacción relevante con el observador, pues debe encontrarse lo suficientemente cerca de él para permitirle tomar sus alimentos pero no debe impedir que mantenga una postura cómoda mientras

observa la pantalla. Por otro lado, existe una interacción relevante que implica que la forma y posición de la superficie de apoyo no obstruyan la vista del observador con dirección a la pantalla.

Las fuentes de luz, como las ventanas y luminarias, deben estar situadas o tener adaptaciones que eviten reflejos directos en la pantalla.

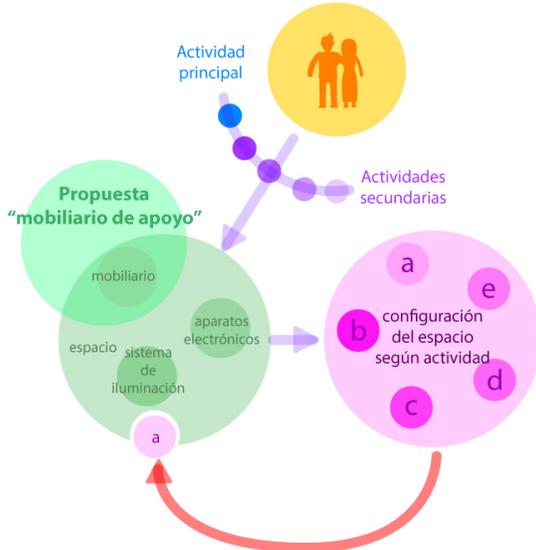


Ilustración 57: Sistema "Cuarto recreativo para ver televisión"

Transferencia

Teniendo como base la investigación hecha hasta este punto, se identificaron dos aspectos importantes en el desarrollo del proyecto a dos diferentes escalas:

1. Mobiliario de apoyo adaptable.
 2. Mecanismo para mueble
- ⑥ Esta decisión fue resultado de conjuntar la comprensión sobre dos sistemas:
1. "Sistema de relaciones entre la estrella de mar, sus mecanismos y las actividades que realiza en el medios". Ilustración 56
 2. "Cuarto recreativo para ver televisión". Ilustración 58

Esta parte del proceso se basa, por un lado, en la comprensión de la información investigada en el campo de la biología. Por otro lado, es resultado de la capacidad de abstracción de la entidad biológica en la aplicación del diseño. La capacidad de abstracción se vio reforzada por la

comprensión, desde un pensamiento sistémico, tanto de la entidad biológica, como de la aplicación de diseño.

APLICACIÓN DE DISEÑO

El resultado fue un mueble de apoyo para un “Cuarto recreativo para ver televisión”, el cual se puede adaptar a los requerimientos del usuario y a la habitación, gracias a un mecanismo que imita la *capacidad de las estrellas de mar para tomar formas diversas a partir de la variación de estados flexibles o rígidos selectivamente*.

El ejercicio realizado derivó en un concepto con una solución biomimética. El pensamiento sistémico fue importante para obtener alcances a diferentes escalas en las que se involucra en objeto diseñado (mueble de apoyo), de manera general podemos describir dos, la primera es la relación que establece el objeto con respecto su contexto y, a una escala menor, con el mecanismo, estructura y conformación del mismo.

En la Ilustración 58 se muestra un comparativo entre la abstracción gráfica del sistema en que se relaciona la entidad biológica y la abstracción gráfica del sistema en que se relaciona la aplicación de diseño. Podemos observar que, aun cuando se busca imitar principios de funcionamiento en la estrella de mar, hay una serie de distinciones entre la entidad biológica y la aplicación de diseño, algunas de las cuales se enumeran en la Tabla 9. Además de las diferencias enumeradas, los materiales, escala, formas de producción, etc., y en general todo lo relacionado el origen de cada uno (la entidad biológica y la aplicación de diseño), representan una diferencia básica.

El proyecto llegó a un nivel conceptual. Se propone un mueble que, así como la estrella de mar puede tomar diferentes formas dependiendo de sus necesidades vitales y de adaptación al medio, se configure en función a las necesidades del usuario. Lo anterior podría lograrse gracias a que el cuerpo del objeto se conforma por 3 hileras de segmentos articulados mediante ligas, que se pueden colocar en tres posiciones. Cada articulación cuenta con un mecanismo que asegura los segmentos en cada una de las posiciones y se manipula mediante una manija. El interior del mueble se compone de bloques de material plástico espumoso, cuya flexibilidad permite la articulación de la estructura, al tiempo que da soporte a la superficie del mismo. Finalmente, el material que cubre el mueble, es también flexible y tiene propiedades antiderrapantes.

El usuario es quien definirá la configuración del mueble en función de la actividad que desee realizar. Inicialmente se encontraron las siguientes configuraciones que podrían serle útiles:

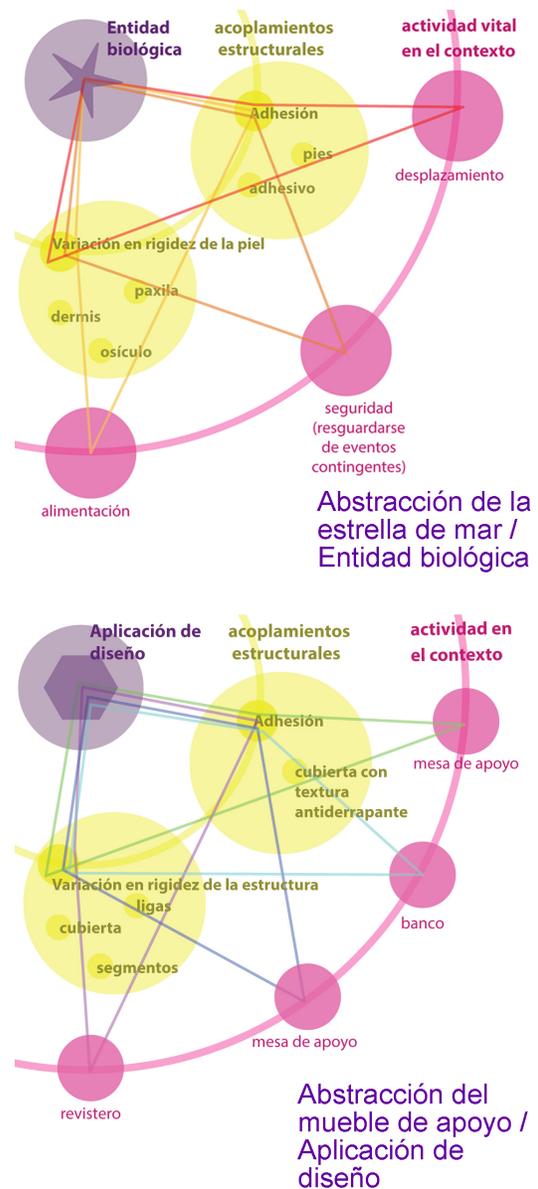


Ilustración 58: Comparativo Entidad biológica-Aplicación de diseño

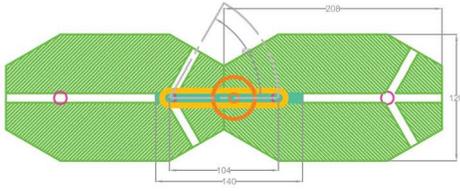
	Aplicación de Diseño "Mobiliario"	Entidad biológica "Estrella de mar"
Estructura	Compuesta de piezas que se unen entre sí mediante ligas	Cuerpo formado por oscúlos contenidos por un tejido
Adaptación al medio	En función de las necesidades del usuario	En función de sus necesidades biológicas y de adaptación al medio
Rigidez/ Flexibilidad	Se define por un mecanismo	Se define por reacciones iónicas
Finalidad	Mesa de apoyo, mesa de centro, banco, revsitero	Protección, desplazamiento, sujeción y alimentación

Tabla 9: Distinciones entre "Entidad biológica" y "Aplicación de diseño"

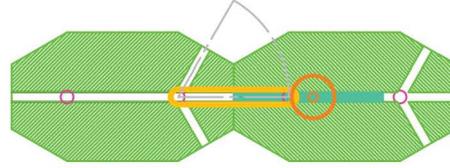
- Mesa de centro
- Revistero
- Mesa de apoyo
- Asiento

Sin embargo, el usuario tiene la libertad de explorar todas las configuraciones que su imaginación se lo permita, en función de las actividades que quiera realizar.

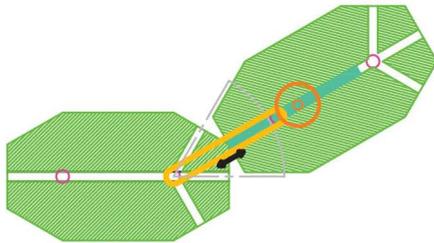
Para concretar el proyecto a un nivel de producto, se requiere de trabajo posterior, en el cual es especialmente importante una exploración y experimentación con distintos materiales para lograr el funcionamiento adecuado del objeto dentro de un contexto real. Así mismo, otros factores, como la producción, ergonomía, etc., deben ser considerados y resueltos.



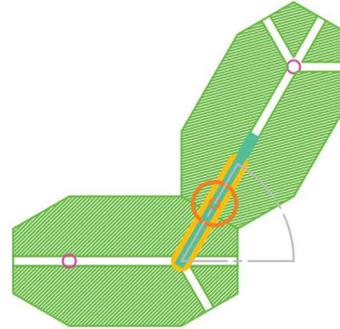
1. Articulaciones en posición recta



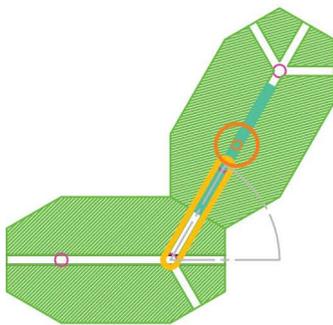
2. Se recorre la barra/pasador, liberando la articulación



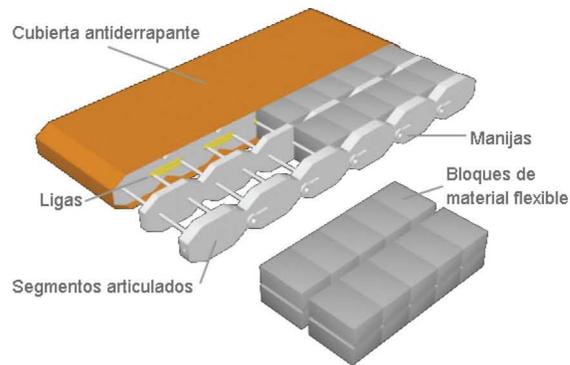
3. Se desliza la articulación liberada hacia la cara en la que se desea colocar. La liga cede para permitir el movimiento

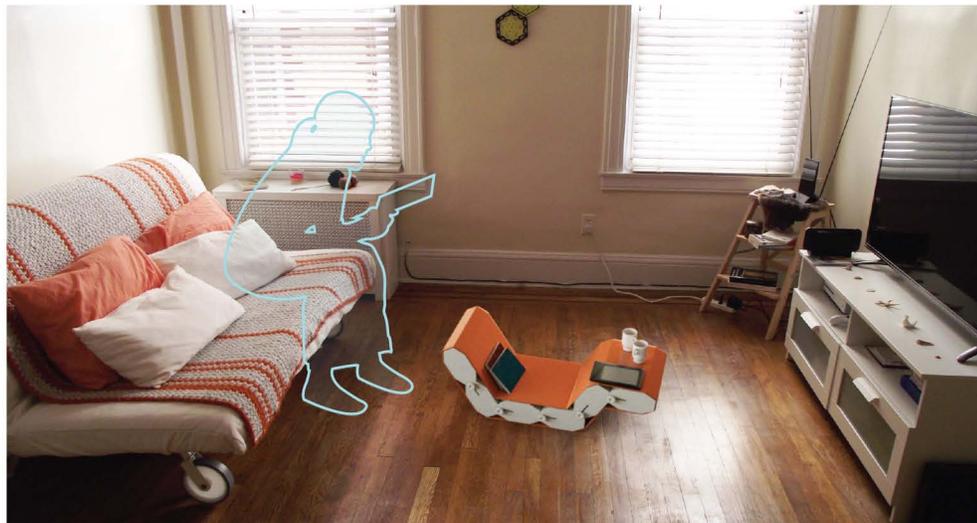


4. Se empalman las caras de ambas articulaciones, con ayuda de la tensión de la liga se mantienen unidas



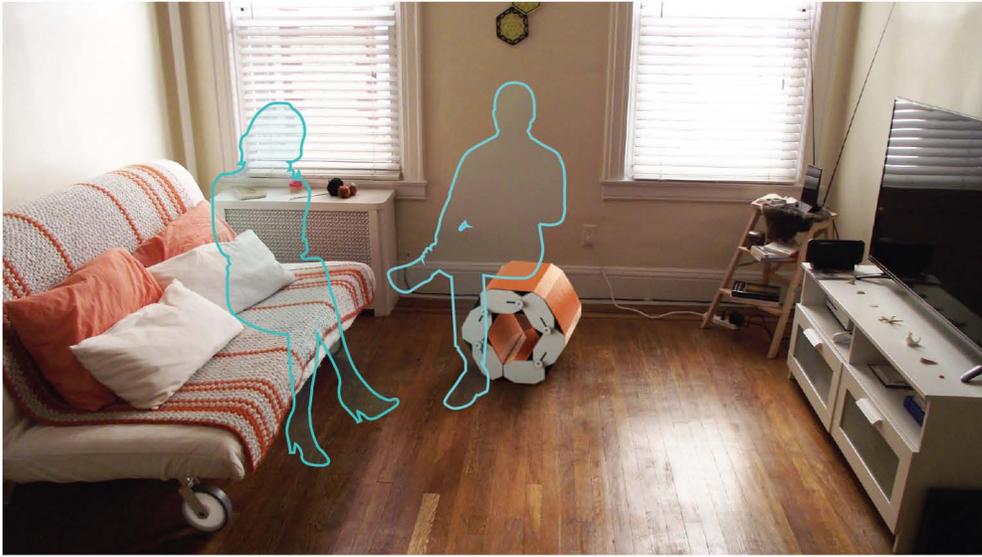
5. La barra/pasador vuelve a asegurar la unión entre las articulaciones, al tiempo que la refuerza





Configuraciones del mueble:

- Mesa de centro
- Revistero
- Asiento
- Mesa de apoyo
- Otras configuraciones del usuario



La fortaleza y fundamento de la aplicación de diseño, obtenida a partir de la biomimética, radica en gran parte en la capacidad de interpretar a la entidad biológica, así como en la coherencia de la analogía con el contexto en el cual se inserta el objeto y/o proyecto diseñado.

Al estudiar y comprender el sistema bajo el cual cumple determinada función vital la entidad biológica, las posibilidades de aplicación se vuelven más claras, pues no sólo se descubren los mecanismos que le permiten funcionar, sino que se visualiza su importancia en el proceso vital del organismo o sistema. El pensamiento sistémico permite también entender la coherencia de la entidad en su contexto. Dependiendo del grado de complejidad al que se quiera llevar el objeto, se puede expandir el alcance de la "fundamentación"¹³⁸

¹³⁸ Se hace referencia a dicho concepto de biomimética como "fundamentación en la naturaleza" a partir de consultas hechas al Dr. Janitzio Égido Villareal, quien desarrolló y se encuentra trabajando actualmente en dicho concepto.

Conclusiones

El encontrar y adentrarse en el pensamiento sistémico, significó la oportunidad de observar con mayor profundidad que los proyectos de diseño implican un impacto más allá del objeto por sí mismo, es decir que además de la función o solución inmediata por las cuales surgen, estos pueden repercutir a escalas mayores y/o menores a ellos. En la práctica, ya sea intuitiva o conscientemente, este concepto no es ajeno al diseñador, pues en cada proyecto que realiza hay una fase de investigación en la que se busca comprender el contexto y el alcance del proyecto que se va a desarrollar.

El pensamiento sistémico provee de una herramienta teórica, pues le permite describir tanto a los seres vivos como a los proyectos de diseño, a partir de conceptos aplicables por igual, al diseño y a la biología.

Si bien la exploración y comprensión de un proyecto de diseño puede desarrollarse sin recurrir al pensamiento sistémico, en el caso particular de la presente investigación resultó ser pertinente, pues permitió una conexión teórica entre la biología y el diseño, dicha conexión es precisamente en donde radica la fundamentación de la biomimética.

La conexión entre biología y diseño se puede lograr independientemente del uso del pensamiento sistémico, sin embargo, su implementación permite, entre otras cosas, asimilar, e interpretar la información que se obtiene desde ambos campos (biología y diseño) al enfrentarse a un proyecto de diseño que se busca resolver a partir de la biomimética. Así mismo, el aplicar el pensamiento sistémico permite dimensionar el alcance de la analogía, es decir, que se puede observar en que medida la referencia biológica tiene un impacto en el proyecto de diseño.

Particularmente en el ejercicio conceptual desarrollado en este documento fundamentado en la *capacidad de las estrellas de mar para tomar formas diversas a partir de la variación de estados flexibles o rígidos selectivamente.*, el respaldo teórico del pensamiento sistémico, permitió reconocer las dimensiones de la fundamentación de la entidad biológica en la aplicación de diseño. Lo anterior fue posible gracias a que se aplicaron y reconocieron tanto en la estrella de mar, como en el mobiliario de apoyo para cuarto de televisión, los conceptos aprendidos sobre teoría de sistemas. Al visualizar a ambos como sistemas, el nivel y profundidad de la analogía se comprendió más claramente, tanto con respecto a sus semejanzas, como sus diferencias.

La gran diversidad de referencias que representan los organismos vivos en la naturaleza, pueden ser vistos como soluciones específicas, pero a partir del pensamiento sistémico, podemos entender que su existencia va más allá de un aspecto en particular que en él podamos observar. Al hacer referencia a una entidad biológica, mediante la biomimética, podemos visualizar que, en la misma esencia de lo que producimos desde el diseño, se encuentra implícita una cantidad de relaciones complejas y que operan en varios estratos, por lo que un mismo objeto o aplicación de diseño, causa múltiples impactos y soluciones. El pensamiento sistémico en conjunto con la biomimética pueden coadyuvar al diseñador a comprender, tanto a los organismos vivos, como a los proyectos que se le presentan, en diferentes escalas y así, además de contar con la amplia variedad de referencias de la naturaleza, usar una base teórica para explorar y jugar con los alcances de las mismas.

El pensamiento sistémico es sólo una herramienta de apoyo, pues la biomimética es una disciplina que a su vez, se soporta en el conocimiento que surge de la biología y por lo tanto requiere que el diseñador se acerque e indague en la ciencia y las rigurosas interpretaciones que ésta hace de los seres vivos. Pese a que durante años el diseño ha recurrido a las referencias en la naturaleza, la relación que este último sostiene con la biología requiere del desarrollo de puentes que acorten la distancia que representa para los diseñadores incursionar en temas relacionados con la ciencia.

Quizá recurrir al pensamiento sistémico para entender a los sistemas vivos, pueda ser, junto con otras herramientas que colaboran con la biomimética (algunas mencionadas en el Capítulo 2), una base a partir de la cual se contribuya a otros temas de gran interés en la actualidad; la sostenibilidad ecológica de los proyectos de diseño puede ser uno de ellos, ya que la ecología esencialmente se entiende como el estudio de sistemas en la naturaleza. Otro tema que puede ser complementado, en futuras investigaciones, con base en el pensamiento sistémico, es la evaluación que hacemos de los proyectos de diseño. Se podría emplear un enfoque sistémico para evaluar, en diversas escalas, el impacto que causan los proyectos basados en biomimética, y contrastarlos con los resultados de los proyectos que no recurren a la biomimética como parte de su proceso de diseño.

El mundo, como hasta hoy lo conocemos, ha sido diseñado recurriendo tanto a la invención¹³⁹, como a la inspiración en la naturaleza. La validez de un diseño se determina en gran parte por la utilidad y aceptación que encuentra socialmente, la cual se basa en aspectos que van más allá de la fundamentación que pueda o no tener en la naturaleza y en los seres vivos. Si bien el diseño tiene la capacidad de argumentar su trabajo sin recurrir a la naturaleza, también debemos considerar que esta representa la posibilidad de observar ejemplos de diversa índole, tanto presencialmente, como en el amplio registro que ha hecho la biología del conocimiento que ha obtenido; además la naturaleza nos permite observar cómo estos ejemplos responden a los cambios y van evolucionando con el tiempo. La determinación de recurrir o no a la biomimética para diseñar, se define con base en las características de cada uno de los proyectos a resolver y el potencial que el diseñador logre observar en las entidades biológicas según su propio criterio, experiencias y conocimientos. Se decida o no resolver un proyecto a partir de la biomimética, ésta es una herramienta que expande las posibilidades del diseño para hacer frente a los retos que se le presentan y que son cada día más complejos. Por lo anterior es coherente no sólo mantener la posibilidad de acercamiento a la biomimética, sino generar herramientas que le permitan relacionarse con ella, el pensamiento sistémico, como se mencionó anteriormente es una de ellas.

Durante la formación profesional del diseñador, es común que nos enfocamos en entender y aprender sobre una limitada cantidad de temas, básicos y necesarios para el ejercicio de nuestra labor. Lo anterior, por un lado representa la capacidad de dominar a fondo un campo de estudio, pero por otro lado, también nos marca un camino preestablecido y seguro a seguir. El ejercicio sistemático de una profesión u ocupación permite que exista cierta estabilidad al interior de la misma, sin embargo, las profesiones deben responder al surgimiento de nuevas demandas desde el exterior, es decir, desde el contexto social, económico y cultural del mundo.

Si bien es necesario establecer límites en el alcance y papel de una disciplina, tanto como profesión, como en la enseñanza académica, el conocimiento requerido en el campo laboral es mucho más complejo. El mundo demanda de disciplinas como el diseño, la capacidad de interactuar y convivir con otras áreas del conocimiento para que su labor responda a la complejidad implícita en la sociedad.

Por lo anterior, el entrar en áreas de estudio ajenas a las de la formación natural de la disciplina propia, en este caso del diseño, es una de las experiencias más enriquecedoras para un profesionista, pues en la relación con la otra disciplina se expande el alcance de las profesiones involucradas. El conocimiento no se acumula en un sólo individuo, más bien el individuo permite el acercamiento del conocimiento entre diferentes campos.

La experiencia personal en el desarrollo de la presente tesis, me permitió comprender que el diseño no es una actividad pertinente a una disciplina aislada, sino un conjunto de conocimientos y

¹³⁹ Concebir algo sin hacer referencia a la naturaleza.

experiencias que se reinventa dentro de un contexto social y cultural, el cual se modela también a partir del soporte de los campos del conocimiento con los que convive. Una de las habilidades más importantes del diseñador, es su capacidad para abstraer conocimiento del mundo y proyectarlo en su labor.¹⁴⁰

El cuestionamiento y el continuo impulso por entender temas fuera del ámbito del diseño, pueden ser actitudes que lleven a la disciplina a relacionarse de una manera más consistente con la sociedad y la cultura, pues la experiencia histórica nos ha mostrado que la humanidad cambia a cada momento. Día a día el conocimiento del mundo y de todo el universo es más profundo, así como también se vuelve mayor la incertidumbre sobre el futuro. Esta paradoja, en la que se relacionan el conocimiento y la incertidumbre, nos plantea un panorama en el cual la colaboración entre ciencias y disciplinas puede formular nuevas respuestas y nuevas preguntas que redefinan constantemente al mundo.

El científico ejerce su profesión frente a una constante incertidumbre pues, aunque existan teorías y paradigmas establecidos que en el momento presente sostengan una verdad, su validez puede transformarse a partir del surgimiento gradual de nuevo conocimiento. Por lo anterior la ciencia se realiza bajo experimentación rigurosa y documentada, pues aun cuando el conocimiento se expande y reinterpreta constantemente, la ciencia continúa siendo una de las formas más objetivas de acercarse a la verdad.

Quizás el diseño también deba tomar una postura en la cual tenga conciencia de los constantes cambios de paradigmas y sea capaz de asumirlos, con el propósito de ser una disciplina enfocada más en las transformaciones y menos en la formulación de patrones estáticos. Considero que la enseñanza y el desarrollo de la capacidad de entendimiento entre disciplinas, es uno de los principales ejes sobre los que le es posible al diseño crecer, desarrollarse y responder al continuo cambio.

El desarrollo de la presente investigación, implicó no sólo estudiar y asimilar conceptos para volcarlos posteriormente, mediante la escritura, en una serie de ideas que fueron tomando forma a lo largo del proceso. Significó también un cuestionamiento de las motivaciones en mi labor personal como profesionalista, específicamente frente a la postura con respecto a la biomimética; inicialmente ésta representaba para mí una herramienta con soluciones “ideales” en la naturaleza, ante la problemática que el diseño busca resolver. Considero que el cambio principal, en cuanto a mi postura sobre la biomimética, radica en que comencé a visualizarla como la posibilidad de explorar un fuente con una gran diversidad de referencias y soluciones válidas y coherentes en la naturaleza, que incluso cumplen con propósitos similares entre ellas. Lo cual me llevó a replantear mi pensamiento de buscar soluciones ideales y únicas, a la posibilidad de encontrar, en la diversidad y en las múltiples soluciones, una manera alternativa de dar forma a los proyectos, misma que puede ser fundamentada en una estructura que tiende a la objetividad, es decir, en una estructura científica, representada por la biología.

Durante la experiencia de investigación dentro del campo de la biomimética, comprendí que la comunicación con la biología y los científicos fue indispensable. Los biólogos tienen un amplio conocimiento y experiencia empíricos que clarifican la interpretación, en ocasiones muy limitada, que hacemos de la naturaleza.

La visión sobre la naturaleza y el concepto que sobre ella construimos es fundamental para la biomimética, no sólo porque nos permite avanzar en la capacidad de análisis sobre los ejemplos que se tomen de ella, sino porque, desde el campo del diseño, debemos ser capaces de entender que el trabajo hecho junto con la biomimética no está libre de subjetividad. Es decir que el sustentar o argumentar la manera en que diseñamos en principios o ejemplos naturales nos obliga a ser conscientes de que nuestra percepción es un filtro que está determinado por nuestra fisiología, psicología y cultura, por lo que la interpretación que hagamos de la naturaleza no será definitiva, pero sí puede ser válida y, adquirir mayor objetividad al fundamentarse en resultados obtenidos a partir de una investigación formal.

140 Idea formulada con base en una conversación con el Diseñador Jorge Moreno Arozqueta

Además de aportar valor al diseño, la biomimética enriquece todo el proceso creativo, pues se expande la visión del diseñador hacia la ciencia y, además de encontrar en ella una metodología estructurada y rigurosa, se descubre que es posible la infinita exploración y búsqueda en la de comprensión del mundo.

Bibliografía

- Ackoff, R.L., 2015. A Lifetime of Systems Thinking. Recuperado el 14 de Abril de 2017, de <https://thesystemsthinker.com/a-lifetime-of-systems-thinking/>
- Ackoff, R.L., 1959. *Games Decisions and Organization*. General. Systems. 4, 145–150.
- Benyus, J., 2002. *Biomimicry. Innovation inspired by nature*, 1ra ed. Harper Perennial, Nueva York.
- Bonsiepe, G., 1999. *Del Objeto a la interfase*, 3ra ed. Ediciones infinito, Buenos Aires.
- Broda, J., 2012. *Observación de la naturaleza y ciencia en el México prehispánica*. En: Brígida von Mentz, *La relación hombre-naturaleza*: reflexiones desde distintas perspectivas disciplinarias, Siglo Veintiuno, Ciudad de México.
- Broncano, F., 2012. *La estrategia del sionista. Cultura material para nuevas humanidades*, 1ra ed, Colección La Biología, Delirio, Salamanca.
- Bruggeman, F.J., Hornberg, J., Boogerd, F., Westerhoff, H., 2007. Introduction to systems biology. Recuperado el 22 de Junio de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/6396734_Introduction_to_systems_biology
- Buchanan, R., 2001. *Design research and the new learning*. Des. Issues 17 (4), pp. 3-23.
- Bunge, M., 2014. *Big Questions Come In Bundles, Hence They Should Be Tackled Systemically*. Systema: connecting matter, life, culture and technology. 2, p.p.4-13.
- Campbell, N.A., Taylor, M., Simon, E.J., Dickey, J.L., Reece, J.B., 2012. *Biology*: concepts & connections, 7ma ed. Pearson/Benjamin Cummings, Redwood City.
- Capra, F., 1998. *La trama de la vida*, 2da ed. Anagrama, Barcelona.
- Chávez, N., 1997. *Arte aplicada o técnica de la comunicación: dos vertientes en la práctica del Diseño Gráfico*. En: *Diseño Y Comunicación*. Paidós, Buenos Aires.
- Deplazes-Zemp, A., Biller-Andorno, N., 2012. *Explaining life*. EMBO Reports. 13, 959–963.
- Égido Villarreal, J., 2012. *Biodiseño. Biología y Diseño*, 1ra ed. Designio, Ciudad de México.
- Escalante Gonzalbo, P., 2004. *El México antiguo*. En: Nueva Historia mínima de México, El Colegio de México, Ciudad de México.
- Fernandez, N., Maldonado, C., Gershenson, C., 2013. Information Measures of Complexity, Emergence, Self-organization, Homeostasis, and Autopoiesis. Recuperado el 5 de Diciembre de 2016 de <http://arxiv.org/abs/1304.1842>.

- Frazer, J., 2012. *Proteus: How Radiolarians Saved Ernst Haeckel*. Scientific American. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016 de <https://blogs.scientificamerican.com/artful-amoeba/proteus-how-radiolarians-saved-ernst-haeckel/>
- Gershenson, C., 2012. *The World as Evolving Information*. En *Unifying Themes in Complex Systems*. pp. 100-115.
- Gershenson, C., Heylighen, F., 2003. *When can we call a System Self-organizing?* Recuperado el 22 de Mayo de 2017 de <http://arxiv.org/abs/nlin/0303020>.
- Gershenson García, C., 2015. *El modelo y lo modelado*. Investigación y Ciencia. Recuperado el 10 de Julio de 2017 de <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/34/posts/el-modelo-y-lo-modelado-12994>.
- Gershenson García, C., 2014. *¡Emergencia, emergencia!* Investigación y Ciencia. Recuperado el 4 de Abril de 2017 de <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/34/posts/emergencia-emergencia-11817>.
- Gershenson García, C., 2011. *The Implications of Interactions for Science and Philosophy*. Foundations of Science. 4 (18) pp.781–790.
- Gershenson García, C., 2007. *Design and Control of Self-organizing Systems*, 1ra ed. Coplt ArXives, México.
- Gershenson García, C., n.d. Pensamiento científico. Recuperado el 17 de Mayo de 2017 de <https://www.coursera.org>
- Gershenson García, C., n.d. Pensamiento sistémico. Recuperado el 17 de Mayo de 2017 de <https://www.coursera.org>
- Dickinson, G. Murphy, K., 2008. *Ecosystems*, 2da ed, Routledge Introductions to Environment: Environmental Science. Routledge, Londres.
- Harkness, Jon M. 2002 *In Appreciation: A lifetime of connections Otto Herbert Schmitt, 1913-1998*. Physics in Perspective 4: 456–490.
- Heskett, J., 2016. *A John Heskett reader: design, history, economics*, 1ra ed. New York: Bloomsbury Academic.
- Heskett, J., 2005. *El diseño en la vida cotidiana*. Gustavo Gili, Barcelona.
- Hickman, C.P., 1973. *Biology of invertebrates*. Mosby, Saint Louis.
- Johnson, S., 2003. *Sistemas emergentes, o que tienen en común las hormigas, neuronas, ciudades y software*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.
- Kelley, T., 1999. *Designing for business, Consulting for Innovation*. Design Management Journal 10(3).
- Khun, T., 2006. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.
- Kiss, E., Bezerra, C., Deos, L., 2011. *Design for BRIC - The New Frontier*. DMI Review. 22(1).
- La cueva Chauvet, última revelación del arte de la prehistoria*, 2013. National Geographic.

- Recuperado el 12 de Diciembre de 2012 de http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/la-cueva-chauvet-ultima-revelacion-del-arte-de-la-prehistoria_7692/2.
- Lee, K., 1999. *The Natural and the Artefactual. The Implications of Deep Science and Deep Technology for Environmental Philosophy*, 1ra ed. Lexington books, Oxford.
- Lovegrove, R. Ross Lovegrove. Recuperado el 19 de julio de 2017 de <http://www.rosslovegrove.com>.
- Manzini, E., 1994. *Design, Environment and Social Quality: From "existenzminimum" to quality maximum*". Design Issues 10, 37–43.
- Margolin, S., Margolin, V., 2002. A "Social model" of Design: Issues of Practice and Research. Design Issues 18.
- Maturana, H., Varela, F., 1984. *El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Meadows, D.H., 2009. *Thinking in Systems: A Primer*, Diana Wright. Ed. Earthscan, Londres.
- Meurer, Bernd, 1997. *La transformación del diseño*. En Frascara, J. Diseño gráfico para la gente. Buenos Aires: Gustavo Gili. p.p. 220–232.
- Milenio Digital. Antes de Entrar Permite Salir: Realizan Pruebas En Balderas. Milenio. Recuperado el 3 de Marzo de 2017 de http://www.milenio.com/df/metro-balderas-proyecto-ordenar-subir-bajar-vagones-filas-usuarios-milenio_0_861514239.html.
- Negrotti, M., 2002. *Naturoids. On the nature of the artificial*. World Scientific Publishing Co., Nueva Jersey.
- Pacheco Esparza, A., 2013. *Biomimética aplicada al Diseño Industrial. Aplicaciones funcionales de los insectos*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Papanek, V., 1985. *Design for the real world. Human ecology and social change*. Thames and Hudson, Londres
- Rafferty, J.P., 2011. *Biomes and ecosystems*, 1ra ed. Britannica Educational Publishing/Rosen Educational Services, Nueva York.
- Real Academia Española, En <http://www.rae.es>.
- Riskin, J., 2016. *The restless clock: a history of the centuries-long argument over what makes living things tick*, 1st ed. University of Chicago press, Chicago.
- Rodriguez, L.A., 2000. *El tiempo del Diseño. Después de la Modernidad*, 1ra ed. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México.
- Sachs, A., Bergdoll, B., Gamboni, D., Ursprung, P., 2007. *Nature design: from inspiration to innovation*, 1ra, Lars Müller Publishers.
- Siebenbrodt, M., Wall, J., Weber, K., 2009. *Bauhaus: A conceptual model*, 1ra ed. Hatje Cantz, Berlin.
- Smallwood, W., Green, E., 1982. *Biología*. Publicaciones Cultural, Ciudad de México.
- Medina Torres, M.A., 2011. *Biología de Sistemas... ¿qué biología de sistemas?* Encuentros en la

- Biología. 68–70.
- Vanden Broeck, F., 2000. *El diseño de la naturaleza o la naturaleza del diseño*, 1ra ed. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.
- Victor Ruprich-Robert, 1876. *Flore ornamentale: Essai sur la composition de l'ornement, éléments, tires de la nature et leurs application*. París.
- Vincent, J.F., 2001. *Stealing ideas from nature*. Deployable structures, CISM International Centre for Mechanical Sciences 412, 51–58.
- Viollet-le-Duc, E., 1858. *Dictionnaire Raisonné d'architecture*. París.
- von Bertalanffy, L., 1976. *Teoría general de los sistemas*, 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.
- von Mentz, B., 2012. *La relación hombre-naturaleza vista desde la historia económica y social*. En: Brígida von Mentz. *La relación hombre-naturaleza: reflexiones desde distintas perspectivas disciplinarias*. Siglo Veintiuno Editores, Ciudad de México.
- Williams, H.T.P., 2006. *Homeostatic adaptive networks*. Tesis de Doctorado. University of Leeds.
- Wise Bauer, S., 2015. *The Story of Western Science: From the Writings of Aristotle to the Big Bang Theory*, 1ra ed. W.W Norton & Company, Nueva York.
- Yagou, A., 2005. *Rethinking design history from an evolutionary perspective*. Design Journal. 8, 50–60.

Glosario

Acoplamiento estructural- Mecanismo que permite a un organismo establecer una relación con el medio.

Adaptación- Cualidad del sistema de cambiar en función a su preservación.

Agente- 1. Individuo que construye objetos, ya sea artificiales o inventados. (Capítulo 2)

2. Es una entidad que actúa dentro del medio o contexto en el cual se desarrolla el sistema. Puede provenir del exterior o generarse desde el interior. (Capítulo 3).

Anticipación- Capacidad del sistema que le permite actuar previo a una perturbación.

Atomismo- Concepto desarrollado por Demócrito, en el que partía del conocimiento de cada elemento para comprender el todo.

Autonomía- Cualidad de los organismos por la cual son capaces de especificar su propia legalidad.

Auto-organización- Capacidad del sistema de determinar su propia organización para perpetuarse.

Autopoiesis- Patrón de organización de red en el que la función de cada componente es participar en la producción, o transformación de otros componentes de la red, de tal modo que ésta se hace a sí misma continuamente.

Bioma- Asociaciones ecológicas del mismo tipo, que ocupan extensiones geográficas definidas.

Centralización progresiva- Cualidad de algunos organismos, en los cuales algunos de sus órganos toman propiedades conductoras.

Cognición- Proceso del organismo que incluye percepción, emoción y acción, es decir, todo el proceso vital. Su función es capacitar al sistema vivo para enfrentar a las perturbaciones en su entorno.

Complejidad- Balance entre orden y caos.

Comportamiento- Grupo de acciones coordinadas en un sistema, mismas que suceden para lograr un propósito o finalidad.

Congruencia estructural- Relación que se basa en la concordancia entre el medio y la propiedades estructurales del organismo.

Patrón de organización- Relaciones presentes en un organismo que le confieren la esencia de lo que es,

Dinámica- Los cambios en el sistema con relación al tiempo.

Ecosistema- Sistemas definidos desde una perspectiva ecológica, cuyos límites se establecen con base en las interacciones relevantes entre los factores bióticos y abióticos que lo conforman.

Ejemplar- Entidad biológica a la que se hace referencia.

Elemento- Cada una de las entidades existentes en un sistema.

Emergencia- Surgimiento de propiedades o cualidades en un sistema a partir de las interacciones que ocurren en él.

Energía- Dentro de los ecosistemas, la energía es el potencial con el que se cuenta para el desarrollo de la vida, el cual proviene principalmente del sol y, en menor proporción, de reacciones químicas.

Entrada- Información que ingresa al sistema.

Equifinidad- Tendencia en los organismos a alcanzar siempre el mismo estado por diferentes caminos

Individuo.

Especie- Tipo o categoría de los elementos dentro de un sistema, que se definen por características determinadas. Dentro de un sistema pueden haber uno o más elementos de la misma especie, o bien, elementos de diferentes especies.

Estructura- Disposición de los elementos y las interacciones en el sistema.

Estructura antifrágil- Aquella estructura que mejora su funcionalidad con los cambios.

Estructura frágil- Aquella estructura que se altera con facilidad frente a los cambios.

Estructura robusta- Aquella estructura que tiene una gran resistencia con respecto a los cambios.

Factores abióticos- Componentes no vivos, tanto físicos como químicos, tales como la temperatura, energía, agua y nutrientes.

Factores bióticos- Organismos vivos en todos sus niveles.

Hábitat- Conjunto de condiciones ambientales particulares en el lugar de residencia de un organismo.

Holismo- 1. Concepto desarrollado por Aristóteles, el cual basaba en afirmar que el todo es más que la suma de las partes. Proponía un acercamiento del todo hacia sus elementos.

2. Desde la antropología, es un enfoque que relaciona a los distintos campos de la vida social.

Homeostasis- Proceso dinámico en el cual los sistemas se auto-regulan y adaptan a través del tiempo

Información- Dentro de un sistema, es cualquier cosa que un agente pueda sentir, percibir u observar.

Información novedosa- Información basada en datos variables y aleatorios.

Información regular- Información basada en la repetición de datos que tienden a seguir un patrón.

Interacción- Relación entre dos o más elementos que conforman un sistema.

Interacción relevante- Relación entre los elementos que determina, aunque sea de manera parcial, el futuro del sistema.

Límite /frontera- Alcance del sistema, el cual se define por la relevancia entre las interacciones de los elementos.

Metasistema- Sistema que contiene otro sistema.

Nicho- Comportamiento que presentan los organismos en respuesta a la competencia, consumo y depredación a los que se encuentran expuestos.

Número- Cantidad de elementos en un sistema.

Nutrientes- La materia orgánica que requieren los organismos vivos para llevar a cabo sus actividades vitales.

Objeto artificial- Objeto construido a partir de una referencia de la naturaleza.

Objeto inventado- Objeto construido sin hacer referencia a la naturaleza.

Organización- Configuración de las relaciones de los elementos que conforman al sistema.

Perturbación- Evento contingente, externo al sistema que provoca un efecto en el mismo.

Pirámide trófica- Clasificación en niveles, basada en el consumo y depredación entre las diferentes especies que conforman una comunidad en un ecosistema.

Prealimentación- Selección de información que entra al sistema, con lo que se busca contrarrestar los cambios provocados por posibles perturbaciones.

Predicción- Capacidad de conocer la información resultante del sistema antes de su salida.

Productores primarios- Organismos que absorben energía en sus formas más básicas, ya sea a partir del sol o de reacciones químicas. Generalmente producen su propio alimento y se encuentran en los estratos base de las pirámides tróficas.

Propiedades cualitativas- Aquellas que surgen de las interacciones de los elementos dentro de un sistema.

Propiedades emergentes- Cualidades que surgen en el sistema a partir de las interacciones de los elementos que lo componen.

Propiedades sumativas- Características en los elementos que conforman un sistema, las cuales no varían independientemente de que los elementos se encuentren dentro o fuera del sistema.

Propósito/ finalidad- Intención u objetivo por el cual el sistema existe.

Red trófica- Clasificación basada en las relaciones de alimentación entre los miembros de la comunidad de un ecosistema. Dichas relaciones comúnmente se dan como consumo y depredación.

Retroalimentación- El regreso del efecto de un sistema a sí mismo

Retroalimentación negativa- Información que regresa al sistema y evita cambios en el mismo.

Retroalimentación positiva- Información que regresa al sistema y promueve cambios en el mismo.

Salida- Información que resulta de los procesos que ocurren en el sistema.

Segregación progresiva- Cualidad de un organismo de segregarse durante su desarrollo para formar sus componentes.

Sistema- Conjunto de elementos que interactúan coherente y organizadamente, de manera en que logran un propósito.

Sistema abierto- Sistema en el cual entra y sale información, desde y hacia el exterior.

Sistema cerrado- Sistema que no permite ni la entrada ni la salida de información.

Sistema lineal- Sistema que tiene inicio y final, en el cual no hay retroalimentación

Sistema no lineal- Sistema en el cual hay retroalimentación

Subsistema- Sistema contenido dentro de otro sistema.

Tecnología- Procesos y/o materiales distintos a los que hay u ocurren en la naturaleza.

Usuario- En el contexto de un ecosistema, es un organismo cuya relación con otros organismos se basa en alimentarse de ellos. Un usuario puede ser también alimento de otro organismo.

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Fragmento de pinturas rupestres en la Cueva de Chauvet	10
<i>La cueva Chauvet, última revelación del arte de la prehistoria</i> , 2013. National Geographic. Recuperado el 12 de Diciembre de 2012	
Ilustración 2: Johann Wolfgang von Goethe, Durchgewachsene Nelke (Clavel prolífico).....	11
En Sachs, A., Bergdoll, B., Gamboni, D., Ursprung, P., 2007. <i>Nature design: from inspiration to innovation</i> , 1st ed. Lars Müller Publishers.	
Ilustración 3: Ernst Haeckel , Discomedusae/Plattentiere.....	12
En - Ibid	
Ilustración 4: René Binet, Porte Monumentale, Exposición Universal de Paris , 1900.....	13
En - Ibid	
Ilustración 5: Detalle de tela decorada con inspiración floral de William Morris.....	13
En Ibid	
Ilustración 6: Detalle de herrería en "La pedrera" o "Casa Milá" de Antoni Gaudí.....	13
Ilustración 7: Johannes Itten. Form des feuers. 1920. Reconstruido en 1995-1996. .	14
En - Siebenbrodt, M., Wall, J., Weber, K., 2009. <i>Bauhaus: A conceptual model</i> , 1ra ed. Hatje Cantz, Berlin.	
Ilustración 8: László Moholy-Nagy. Nickel-Konstruktion. 1921.....	14
En Ibid	
Ilustración 9: Esquema de Geodésica . Buckminster Fuller.....	14
En https://www.bfi.org/	
Ilustración 10 Interior del museo Guggenheim, proyectado por Frank Lloyd Wright....	14
Autoría propia Ilustración 11: Alvar Aalto. Savoy vase. 1936.....	15
En Sachs, A., Bergdoll, B., Gamboni, D., Ursprung, P., 2007. <i>Nature design: from inspiration to innovation</i> , 1st ed. Lars Müller Publishers.	
Ilustración 12: Ross Lovegrove. Silla para exteriores Biophilia. Plástico	

rotomoldeado. 2013.....	15
En - http://www.rosslovegrove.com	
Ilustración 13: Mapa de Mesoamérica y Aridoamérica.....	17
Ilustración 14: Proceso de Biodiseño de Janitzio Égido.....	28
En- Égido Villarreal, J., 2012. Biodiseño. Biología y Diseño, 1ra ed. Designio, Ciudad de México.	
Ilustración 15: Bone Chair, Joris Laarman, 2006.....	31
En - http://www.jorislaarman.com	
Ilustración 16: Floral girators, Ross Lovegrove, 2006-2008.....	32
En - http://www.rosslovegrove.com	
Ilustración 17: Marine City, perspectiva. Kiyinory Kikutake. 1958.....	32
En - http://www.domusweb.it/en/news/2011/05/03/metabolism-the-city-of-the-future.html	
Ilustración 18: Turning torso. Santiago Calatrava. 2005.....	33
En - Sachs, A., Bergdoll, B., Gamboni, D., Ursprung, P., 2007. Nature design: from inspiration to innovation, 1st ed. Lars Müller Publishers.	
Ilustración 19: Entidad biológica, Ostracion cubicus.....	33
En - http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Taking-its-clues-from-nature--Mercedes-Benz-bionic-car.xhtml?oid=9361190	
Ilustración 20: Abstracción.....	33
En - Ibid	
Ilustración 21: Aplicación de diseño. Bionic car. 2005.....	33
En - Ibid	
Ilustración 22: Modelo de diseño de un objeto artificial. Basado en Massimo Negrotti	
.....	36
Elaboración propia	
Ilustración 23: Nivel de valores en objetos artificiales. Basado en Massimo Negrotti	
.....	36
Elaboración propia	
Ilustración 24: Esquema de los 4 órdenes del diseño de Richard Buchanan.....	39
Basado en- Buchanan, R., 2001. Design research and the new learning. Design Issues 17.	
Ilustración 25 Esquema basado en la descripción sobre "Modelo de mercado" y "Modelo social" de Silvia y Victor Margolin.....	40
Elaboración propia	
Ilustración 26: Biología - Pensamiento sistémico- Diseño.....	41
Elaboración propia	
Ilustración 27: Comparativo Conjunto de elementos/Sistema.....	43

Elaboración propia	
Ilustración 28: Galaxia-Sistema solar-Sistema tierra-luna.....	43
Elaboración propia	
Ilustración 29: Complejidad, balance entre Emergencia y Auto-organización.....	48
Elaboración propia	
Ilustración 30: Ruta cotidiana de dos automóviles.....	49
Elaboración propia	
Ilustración 31. Zonas afectadas por perturbaciones.....	49
Elaboración propia	
Ilustración 32. Rutas alternativas según aplicaciones de mapas de tránsito en tiempo real.....	49
Elaboración propia	
Ilustración 33: Composición de la biósfera.....	59
Elaboración propia	
Ilustración 34: Niveles de organización de la vida.....	60
Elaboración propia, basado en Gordon Dickinson, Murphy, K., 2008. Ecosystems, 2da ed, Routledge Introductions to Environment: Environmental Science. Routledge, Londres.	
Ilustración 35: Pirámide trófica.....	62
Elaboración propia, basado en Campbell, N.A., Taylor, M., Simon, E.J., Dickey, J.L., Reece, J.B., 2012. Biology: concepts & connections, 7ma ed. Pearson/Benjamin Cummings, Redwood City.	
Ilustración 36: Red Trófica.....	62
En - Campbell, N.A., Taylor, M., Simon, E.J., Dickey, J.L., Reece, J.B., 2012. Biology: concepts & connections, 7ma ed. Pearson/Benjamin Cummings, Redwood City.	
Ilustración 37: Insecto/Entidad biológica pata.....	68
Elaboración propia basada en ilustración obtenida en https://losartropodos.jimdo.com/insectos-y-sus-partes/	
Ilustración 38: Sistema cerrado. Sofá cama.....	70
Elaboración propia	
Ilustración 39: Sistema abierto. Juguete para brincar.....	70
Elaboración propia	
Ilustración 40: Sistema circulatorio.....	73
Elaboración propia	
Ilustración 41: Recorrido de la práctica de campo.....	76

En <https://www.google.com/maps>

Ilustración 42: Bahía de San Carlos, Guaymas.....	77
Autoría propia	
Ilustración 43: Observación desde cubierta.....	77
Autoría propia	
Ilustración 44: Monitor de ecosonda.....	77
Autoría propia	
Ilustración 45: Calderón <i>Globicephala macrorhynchus</i>	78
Autoría propia	
Ilustración 46: Lobo marino <i>Zalophus Californianus</i>	78
Autoría propia	
Ilustración 47: Vista desde la Isla de San Pedro Nolasco.....	78
Autoría propia	
Ilustración 48: Vegetación en la Isla de San Pedro Nolasco.....	79
Autoría propia	
Ilustración 49: Clasificación de Phylum equinodermata.....	82
Elaboración propia	
Ilustración 50: Estrella en el fondo del mar sobre roca.....	85
Autoría - Araceli Pacheco Esparza/Victoria García	
Ilustración 51: Ranuras ambulacrales en la estrella de mar.....	85
Autoría - Araceli Pacheco Esparza	
Ilustración 52: Pies de la estrella de mar al microscopio.....	85
Autoría propia	
Ilustración 53: Estrella resguardada en roca a la orilla del mar.....	85
Autoría propia	
Ilustración 54: Pies saliendo de las ranuras ambulacrales.....	85
Autoría propia	
Ilustración 55: Abstracción gráfica del sistema de relaciones entre la estrella de mar, sus acoplamientos estructurales y sus actividades vitales.....	86
Autoría propia	
Ilustración 56: Abstracción en modelo físico.....	87
Autoría propia, con esquema de Motokawa, T., Wainwright, S., 1991. Stiffnes of Starfish arm and involvement catch connective tissue in the stiffnes change.	
Ilustración 57: Sistema "Cuarto para ver televisión".....	88
Elaboración propia	
Ilustración 58: Comparativo Entidad biológica-Aplicación de diseño.....	89

Elaboración propia	
Mecanismo	91
Elaboración propia	
Configuraciones del mueble	92-93
Elaboración propia con la colaboración de José Francisco Fraga Villanueva	

Índice de tablas

Tabla 1: Niveles de innovación de TRIZ de Genrich Altshuller.....	29
Basado en: Vincent, J.F., 2001. <i>Stealing ideas from nature</i> . Deployable structures, CISM International Centre for Mechanical Sciences 412, 51–58.	
Tabla 2: Tipos de investigación, Richard Buchanan.....	34
Basado en: Buchanan, R., 2001. <i>Design research and the new learning</i> . Des. Issues 17 (4), pp.3-23.	
Tabla 3: Tipos de finalidad según von Bertalanffy.....	47
Basado en: von Bertalanffy, L., 1976. <i>Teoría general de los sistemas</i> , 1ra ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.	
Tabla 4: Ramas de la Biología.....	52
Elaboración propia	
Tabla 5: Conceptos de vida. von Bertalanffy, Maturana y Varela y Capra.....	57
Elaboración propia	
Tabla 6: Organismos observados.....	81
Elaboración propia	
Tabla 7: Características observadas en las estrellas de mar.....	84
Elaboración propia	
Tabla 8: Propuestas de aplicación de diseño.....	86
Elaboración propia	
Tabla 9: Distinciones entre “Entidad biológica” y “Aplicación de diseño”.....	90
Elaboración propia	