

LA NATURALEZA COMO RESPUESTA

Formas, Sistemas y Procesos


$$\pi \quad \Phi$$

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

Daniel Edgardo Vedoya

LA NATURALEZA COMO RESPUESTA

FORMAS, SISTEMAS Y PROCESOS

Dr. Arq. Daniel Edgardo VEDOYA

Vedoya, Daniel Edgardo

La naturaleza como respuesta : formas, sistemas y procesos / Daniel Edgardo

Vedoya. - 1a ed. - Corrientes : Ediciones del ITDAHu, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-48995-0-7

1. Naturaleza. I. Título.

CDD 690.01

Ediciones del ITDAHU

Av. Maipú 228 – (3400) Corrientes (Rep. Argentina)

Diseño de tapa: Víctor Hugo Cabrera

Impreso por Sistema Gráfico Digital

Departamento de Publicaciones del Área de Técnicas Educativas

ITDAHu

Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental del hábitat Humano

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad Nacional del Nordeste

Impreso en Argentina

Noviembre de 2022



INDICE

Palabras preliminares	4
La Naturaleza como resuesta	6
Formas	21
Sistemas	42
Procesos	48
Palabras finales	54
Bibliografía	56

PALABRAS PRELIMINARES

*“Si la Naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?”*¹. La frase le pertenece a Jorge Wagensberg (2004), doctor en Física, Profesor de la Universidad de Barcelona en “Teoría de los Procesos Irreversibles”.

Titular así este trabajo no es caprichoso.

A mi entender, la frase resume en gran parte el cúmulo de incógnitas que se dan cuando estudiamos a la Naturaleza, y aun cuando son incontables las respuestas que se encuentran en ella, son muchas las preguntas que les dieron origen que aún no han sido encontradas.

La biomímesis ayuda a comprender estas respuestas y enseña cómo aprovecharlas para nuestro bien común.

Presento acá una breve síntesis de las acciones que se están llevando a cabo en el ITDAHu (Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental del Hábitat Humano), que dirijo en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), en la Argentina, en búsqueda de esas preguntas, mediante un grupo de docentes, investigadores y becarios.

El comienzo de este proceso puede precisarse en 2017, con el dictado del Curso de Posgrado sobre **“INTRODUCCIÓN A LA BIOMIMESIS APLICADA A LA ARQUITECTURA”** realizado en la FAU-UNNE, junto a la Dra. Arq. Emma Susana Prat.

Luego, mediante la vinculación ya mantenida desde 2004 con el Politécnico de Turín, recibí la invitación de la Prof. Caterina Mele, del DISEG (Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica), para presentar en forma conjunta el Proyecto sobre **“TECNOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE: EL ENFOQUE BIOMIMÉTICO. Métodos, materiales y aplicaciones”**, que fue aprobado y financiado por el Politécnico de Turín.

En el marco de este Proyecto se realizaron sendos Seminarios/Taller, el primero en el Politécnico de Turín, en Italia, los días 2, 3 y 4 de mayo de 2018, sobre **“APLICACIÓN DE LA BIOMIMÉTICA AL PROYECTO DE ARQUITECTURA SUSTENTABLE. Método, aplicaciones y materiales”**, y el segundo en la FAU-UNNE, los días 28, 29 y 30 de junio de 2018, sobre **“BIOMIMETICA Y PROYECTO SOSTENIBLE. Un abordaje desde las formas, los procesos y los sistemas”**.

Posteriormente, en 2019, me vinculé a la Red Internacional Interuniversitaria Interinstitucional de Estudios sobre Biomimesis, con sede en la Universidad Nacional a Distancia UNaD), en Bogotá (Colombia), y en la Universidad del País Vaco (UPV), en Bilbao (España).

Estas experiencias vividas son las que componen el contenido de este libro, donde se encaran los estudios sobre biomímesis según tres abordajes:

- a. el análisis de casos reales de biomimética;
- b. los casos de diseño de objetos tecnológicos en los que fueron aplicados procesos naturales; y,
- c. los problemas técnicos y las soluciones logradas gracias a la biomimética.

¹ Wagensberg, Jorge (2004): *Si la Naturaleza es la respuesta ¿cuál era la pregunta?*. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.

Cada uno de estos abordajes ha sido desarrollado mediante el enfoque desde tres ejes esenciales: las formas, los sistemas y los procesos.

Proceso de diseño arquitectónico	Diseño biomimético
Durante el diseño, se tiene relación con disciplinas afines al campo de estudio.	Además de las disciplinas afines al diseño, incluye las ciencias naturales de manera estructural: la biología, la química y todas aquellas que ayudan a ver el mundo natural de manera profunda.
El diseño toma en cuenta las condiciones particulares del sitio que incluyen el estudio del clima, sol, vientos, los requisitos del usuario, etc.	El diseño considera además las condiciones operativas del planeta como gravedad, luz solar, no equilibrio dinámico, agua, los límites y las fronteras, los procesos cíclicos, etc.
Parte de un concepto abstracto o una idea central que rige el desarrollo del proyecto.	Parte de la observación de las funciones de los organismos o de los sistemas; o de un problema claramente definido.
El estudio de repertorio está basado en proyectos arquitectónicos o urbanos que responden a problemas similares.	El estudio de repertorio considera las estrategias adaptativas de los organismos que se han enfrentado a los mismos problemas durante 3.800 millones de años.
La evaluación del proyecto en considerables casos carece de parámetros de evaluación.	El proyecto es evaluado mediante los principios de la vida, a fin de probar su integración en el sistema y de estándares ecológicos.
No existen valores declarados en el proceso.	Promueve la gratitud y el trabajo colaborativo.

Experiencia de aprendizaje	Actividades y valoración de la experiencia
EA1 Análisis de un caso real de biomimética	Selección del caso, su referente natural y el principio biológico utilizado. Principio arquitectónico del caso y su relación con el principio biológico. Principio arquitectónico de la propuesta y su relación con el principio biológico. Diferencias entre el principio arquitectónico del caso y de la propuesta. Fuentes de información utilizadas.
EA2 Solución natural aplicable al diseño de un objeto	Observable natural y característica propia. Análisis del principio biológico. Traducción al principio arquitectónico. Grado de relación entre el principio biológico y el arquitectónico. Propuesta de aplicación conceptual.
EA3 Problema técnico y resolución gracias a la biomimética	Definición del marco de trabajo. Definición de las funciones clave. Tabla biomimética, búsqueda de los referentes naturales. Grado de relación. Analogía entre principio biomimético y principio arquitectónico. Propuesta conceptual. Aspectos destacables de los resultados respecto a la metodología.

LA NATURALEZA COMO RESPUESTA

¿Qué es la Naturaleza? ¿A qué nos referimos cuando mencionamos la palabra Naturaleza?

Son muchas y variadas las acepciones del término “Naturaleza”, según estemos hablando de uno u otro tema.

Por Naturaleza se considera la esencia de la vida, el conjunto de los seres vivos y el ambiente en el que están inmersos y también cómo diferenciar clases, especies o géneros de las cosas, en una referencia directa a la ecología y la geología.

Mientras la biología es la ciencia que estudia la vida en sus múltiples manifestaciones, interpretando, observando e investigando los fenómenos que se relacionan con ella, la ecología, por su parte, es la ciencia que estudia procesos internos de los seres vivos en los ecosistemas, su interrelación con el medio ambiente, y el impacto que producen en éste,

El término “Naturaleza” deriva de la palabra latina “natura”, cuya raíz es natus, que a su vez procede de la palabra nasci, cuya traducción es ‘nacer’.

Decir “ambiente natural” es hacer referencia directa al hábitat o al espacio en que las especies desarrollan su vida, donde se suceden las diferentes interrelaciones entre animales, plantas y minerales.

En todos los casos, hablar de la Naturaleza es hacer referencia al ámbito natural en que se desarrollan los seres vivos, animales (incluido el hombre) y plantas y la materia inerte.

Esta referencia a lo “natural” implica que dichos sistemas no han sufrido alteración significativa debido a las acciones de la especie humana.

Resumiendo estos conceptos, la interpretación más tradicional hace una clara distinción entre lo natural, incluida la materia inerte y todo aquello que no ha sufrido la injerencia o acción del ser humano, y lo artificial, que contempla todo lo que, fuere de forma completa o parcial, pueda ser considerado como creación humana. En términos más sencillos, esto último es todo lo que la especie humana ha producido buscando satisfacer sus necesidades primarias, secundarias y superfluas, todo lo que identificamos como “tecnología”.

Mientras el conocimiento científico se preocupa por descubrir los secretos del mundo natural, el conocimiento tecnológico se dedica a la producción del mundo artificial.

El mundo natural actual es la consecuencia de un prolongado proceso de 4.500 millones años, durante el que se fueron produciendo diferentes acontecimientos, desde las primeras moléculas, hace 3.800 millones de años, capaces de bifurcarse, dando inicio a la epopeya de los seres vivos.

Una epopeya en la que se fueron sucediendo múltiples y variadas especies que afloraron para luego extinguirse, dando lugar a nuevas especies que después también se extinguieron, y así, sucesivamente, en un período que va desde 485 millones de años hasta 66 millones de años, antes de nuestra era, en que se focalizaron cinco extinciones masivas. Hasta que hoy, en un proceso en que el hombre participa como especie, y producido por su irresponsable accionar, estamos sufriendo la sexta extinción masiva, que inició en el momento mismo en que el hombre comenzó a manipular los componentes de la Naturaleza: agricultura, domesticación de los animales, deforestación, etc., incrementándose con la quema de nuestros productos naturales, con una proliferación de dióxido de carbono, principal responsable del cambio

climático, calentamiento global, derretimiento de los hielos polares, calentamiento de las aguas de los océanos, etc.

En la Naturaleza nada es casual ni espontáneo. En todo momento se cumple el principio de causa y efecto.

Es aquí donde se hace válido aplicar el interrogante de Jorge Wagensberg: "Si la Naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?". Es también un reconocimiento a la validez de la premisa de Lous Sullivan (1896), "*La forma sigue a la función*" (*form follow function*): "*Ya sea el águila en pleno vuelo o la flor de manzano abierta, el incesante trabajo de los caballos, el cisne alegre, la ramificación del roble, el arroyo que serpentea en su base, las nubes a la deriva, sobre todo el sol que cursa, La forma siempre sigue a la función, y esta es la ley. Dónde la función no cambia, la forma no cambia. Las rocas de granito, las colinas siempre inquietantes, permanecen durante siglos; el rayo, viene, toma forma, y muere, en un abrir y cerrar de ojos. Es la ley que prevalece a todas las cosas orgánicas e inorgánicas, de todas las cosas físicas y metafísicas, de todas las cosas humanas y todas las cosas sobrehumanas, de todas las verdaderas manifestaciones de la cabeza, del corazón, del alma, que la vida es reconocible en su expresión, esa forma siempre sigue a la función. Esta es la ley.*"²

No podemos estudiar la Naturaleza desde un solo eje.

Si analizamos una forma, inmediatamente pensamos en la estructura que la sustenta y el proceso que se produce en su interior, o que le dio origen.

Lo mismo sucede si abordamos el estudio desde el sistema o desde el proceso. Existe una relación imbricada de estos tres componentes básicos, formas, sistemas y procesos, que no se puede estudiar cualquiera de ellos ignorando la presencia de los otros.

"Imitar el modo en el que las plantas y los animales resuelven problemas de la naturaleza puede proporcionar innumerables beneficios, sostenibilidad climática y eficiencia energética. En los ecosistemas naturales nada se deshecha, todo puede emplearse para otra cosa. En lugar de emplear grandes cantidades de energía y productos químicos tóxicos para hacer cosas y enviarlas al otro lado del globo, la naturaleza hace lo que necesita en el lugar donde lo necesita, con una química basada en el agua." (Yanine Benyus,³

Estudiar a la Naturaleza como objeto implica establecer sus límites y alcances.

Límites que fueron incrementándose en el transcurso de la historia de nuestro planeta, a los que fueron paulatinamente agregándose otros, propios del universo, según el conocimiento científico fue desentrañando las preguntas que ocasionaron las respuestas que hoy nos expone la Naturaleza.

Desde pretender que la tierra era el centro de la creación, pasando por descubrir que es una parte más de un sistema mayor, integrando un conjunto de cuerpos que orbitan alrededor de su estrella, nuestro sol, hasta concluir que formamos parte de un grupo de sistemas ubicados en las extremidades de uno de los brazos de una galaxia, la Vía Láctea, que a su vez forma parte de un cúmulo de galaxias, cuyo número es inconmensurable, en un universo cuyas dimensiones supera todo valor considerable, estimado en 93.000 millones de años luz. Sólo podemos librar la imaginación si tenemos en cuenta que un año luz, una medida necesariamente creada para entender este propósito, es la distancia que recorre la luz, a

² Sullivan, Louis H. (1896): *The Tall Office Building Artistically Considered*. Lippincott's Magazine. Págs. 403-409

³ Benyus, Yanine (): *Biomímesis : Como la ciencia innova inspirándose en la naturaleza*. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.

razón de 300.000 km por segundo, en un año calendario. Por establecer una comparación trivial, se estima que la Vía Láctea tiene una extensión de tan solo 100.000 años luz.

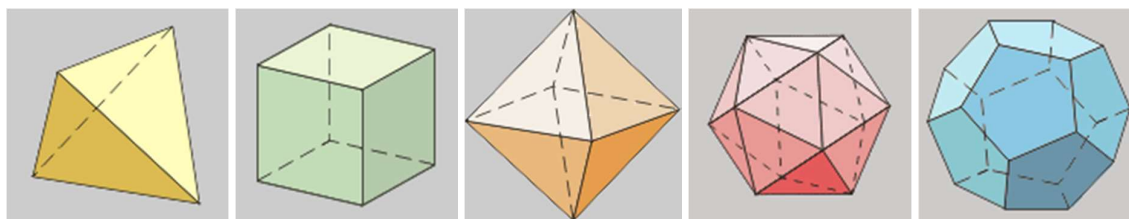
Fue permanente, en la historia de la humanidad, la preocupación por desentrañar los misterios de la Naturaleza. Y en todos los casos, siempre estuvo presente la comprensión de las formas, su esencia y las relaciones entre ellas.

Aristóteles (384 a. C.), se hizo cargo de la teoría de las cuatro raíces, postulada por Empédocles (ca. 450 a. C.), a las que bautizó “los cuatro elementos”, como constituyentes esenciales de la Tierra. La teoría de Empédocles centraba en una sola las postulaciones de Tales de Mileto, el agua, de Heráclito, el fuego, de Anaxímenes, el aire, y de Jenófanes, la tierra.

La propuesta aristotélica se definía en el fuego, caliente y seco, la tierra, seca y fría, el agua, fría y húmeda, y el aire, húmedo y caliente.

Fue Platón quién le dio forma a estos elementos, relacionándolos con los célebres poliedros que llevan su nombre, los cinco poliedros convexos regulares: el tetraedro (el fuego), el exaedro (la tierra), el octaedro (el aire), y el icosaedro (el agua). Al dodecaedro, por su extraña conformación a partir de doce pentágonos regulares, le asignó valores divinos y lo relacionó con la quinta esencia.

“El fuego está formado por tetraedros; el aire, de octaedros; el agua, icosaedros; la tierra de cubos y como aún es posible una quinta forma, Dios ha utilizado el dodecaedro pentagonal, para que sirva de límite al mundo” (Timeo, en el “Diálogo” de Platón, ca. 360 a. C.)



Los 5 poliedros regulares o Platónicos: tetraedro, exaedro (cubo), octaedro, icosaedro y dodecaedro

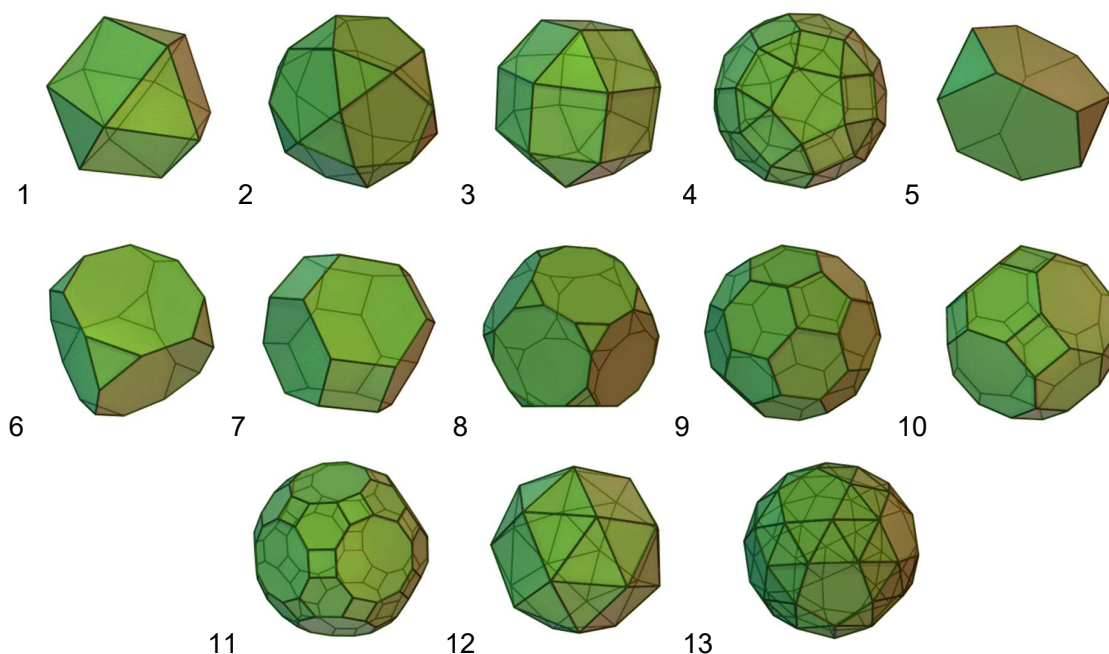
Arquímedes de Siracusa (287 a.C. - 212 a.C.), descubrió que dividiendo por mitades y tercios las aristas de estos poliedros y haciendo lo mismo con los poliedros resultantes, se lograba construir otros 13 poliedros, ahora semirregulares por estar constituidos simultáneamente por dos o tres polígonos regulares, que en su honor se conocen como “arquimedianos”.

Dividiendo por mitades las aristas del exaedro -o cubo-, y el octaedro se obtiene un mismo poliedro de nombre “cuboctaedro”, y lo mismo resulta con el icosaedro y el dodecaedro denominado icosadodecaedro. Aplicando esta operación al tetraedro se logra otro tetraedro.

Los trece poliedros semirregulares, o arquimedianos, reciben respectivamente estos nombres: 1. Cuboctaedro, 2. Icosadodecaedro, 3. Rombicuboctaedro, 4. Rombicosaedro, 5. Tetraedro truncado, 6. Cubo truncado, 7. Octaedro truncado o Poliedro de Lord Kelvin, 8. Dodecaedro truncado, 9. Icosaedro truncado, 10. Cuboctaedro truncado, 11. Icosadodecaedro truncado, 12. Cubo plegado, y 13. Dodecaedro plegado.

Quizá para algunos lectores esta referencia parecerá un tanto fuera de lugar. Si dedico aquí un lugar para hacer estas menciones es precisamente porque más adelante algunos de estos

poliedros serán considerados cuando analicemos aspectos morfológicos relacionados con la materia inerte.



Los trece poliedros semirregulares o Arquimedianos

Euclices (ca. 300 - 265 a. C.), escribió en “Los Elementos”: “Se dice que una línea recta está dividida en el extremo y su proporcional cuando la línea entera es al segmento mayor como el mayor es al menor”. Estaba describiendo al número que se identifica con la letra griega Φ (phi), del que además demostró que número no puede ser descrito como la razón de dos números enteros, lo que significa que es un número irracional.

$$\Phi = 1,6180339887498948482...$$

Fray Luca Pacioli (1447 - 1517), reflatando el concepto del número de oro, escribe un tratado con el nombre de “La Divina Proporción”, que dedica a Ludovico Sforza, duque de Milán, llamado “el Moro”⁴. Ludovico Sforza fue también quién permitió que Leonardo de Pisa desarrollara su talento, gracias a la libertad de acción que le permitió experimentar con aparatos voladores, pinturas, sistemas hidráulicos, etc. hasta llegar a ser uno de los mayores genios de la historia.

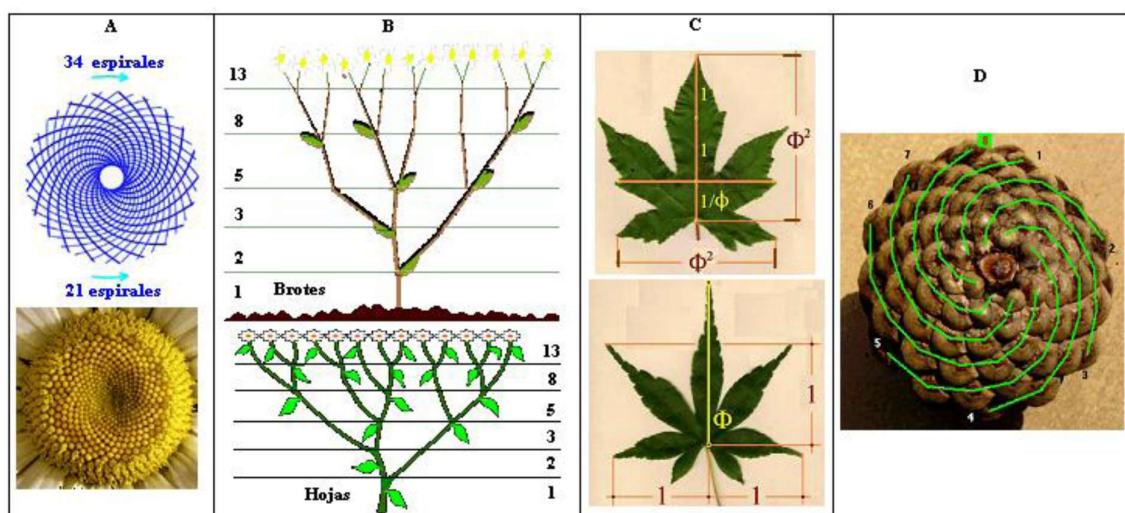
Medio siglo más tarde, Galileo Galilei (1564 - 1642) propone la tesis que resume todos estos antipos: “Las matemáticas son el alfabeto con que Dios ha escrito el Universo”.

⁴ PACCIOLI, Luca (1509): *La Divina Proporción* (terminado en diciembre de 1497 e impreso en Venecia en 1509). Editado por Editorial Losada, Buenos Aires, Argentina (1946)

Las matemáticas están presentes en cada rincón que estudiemos en nuestro recorrido por la Naturaleza. Es una de las preguntas que ha hecho la Naturaleza para entender las múltiples y enigmáticas respuestas con que nos sorprende en cada rincón que visitemos, y que el hombre ha descubierto, no que ha creado, para entender de manera accesible el Universo que nos rodea.

Leonardo de Pisa (1170 - 1240), conocido como Fibonacci, nos acercó aún más a la Naturaleza al descubrir una relación existente que resultó de observar la reproducción de los conejos, según la cual se logra el desarrollo de una serie que, curiosamente (una respuesta cuya pregunta aún no ha sido resuelta), se ve reflejada en las proporciones y secuencias naturales de las flores, la organización del ramaje de los árboles, el crecimiento armónico de los seres vivos y en otras innumerables manifestaciones de la Naturaleza.

La serie de Fibonacci: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987...

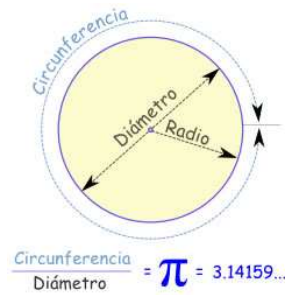


Algunas evidencias de la presencia de la serie de Fibonacci en la Naturaleza

Hago aquí una pequeña referencia a los números trascendentes, que integra todo número que no es algebraico, es decir, que no es solución de ninguna ecuación polinómica con coeficientes racionales, de los cuales menciono dos: π y e .

π (pi) es la relación entre la circunferencia y su diámetro es un número irracional, cuyo nombre es PI e identificado con la letra griega π :

$$\pi = 3,1415926535897932384...$$



Así como el valor de π surge de un estudio geométrico, la constante **e** fue definido por Leonhard Euler (1707 – 1783), mediante un proceso analítico, Las primeras referencias a la constante fueron publicadas en 1618 en la tabla de logaritmos de John Napier, conocidos como logaritmos naturales o “neperianos”:

$$e = 2,7182818284590452353602...$$

La constante **e** aparece en casi todas las ramas de la ciencia y de la tecnología, y también en algunas situaciones de la vida:

- ✓ en economía, en el interés continuo.
- ✓ en química, en la desintegración radiactiva.
- ✓ en la Naturaleza, en el crecimiento demográfico de una población.
- ✓ en arqueología, para determinar la edad aproximada de cualquier objeto o fósil, mediante el carbono 14, c-14.
- ✓ en fenómenos con crecimiento y decrecimiento exponencial.
- ✓ en el crecimiento de una colonia de bacterias.
- ✓ en la absorción de los rayos X por la materia.
- ✓ en la ingesta de alcohol y la conducción de vehículos.

Los números positivos y negativos se pueden multiplicar según reglas bien definidas. Un número positivo multiplicado por otro positivo da un producto positivo. Un número positivo multiplicado por otro negativo da un producto negativo, y un número negativo multiplicado por otro negativo da un producto positivo.

Un número multiplicado por sí mismo da 1. Pero si lo que se pretende expresar es la raíz cuadrada de 1, tendremos dos respuestas posibles: +1 y -1, porque $+1 * +1 = +1$, y $-1 * -1 = +1$.

Muy diferente es el caso si se tratase de la raíz cuadrada de -1. La primera conclusión es que no tiene solución posible.

Sin embargo, si hacemos volar la imaginación, podríamos asignarle una respuesta igualmente imaginaria. Y esto es lo que se hizo, asignando a la raíz cuadrada de -1 una solución imaginaria que se identificó con la letra “i”.

De este modo, la raíz cuadrada de -1, más precisamente “i” pasó a ser un número real.

Y al ser real, la potencia “i” de “i” también lo será, y se le asignó el nombre con la letra griega I (iota).

Y el valor de I resulta ser positivo:

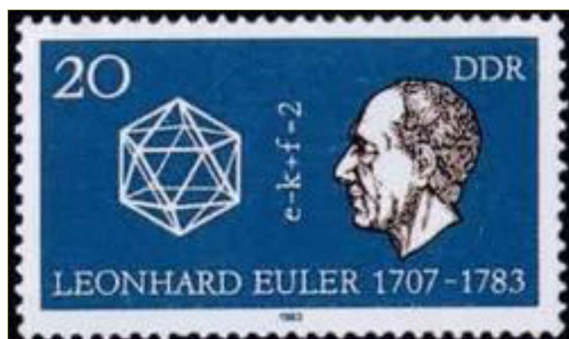
$$I = i^i = 0,20787958140365...$$

Euler fue un poco más allá, y reunió los dos números trascendentes e y π con el número imaginario y arribó a esta expresión que se conoce como la “Fórmula de Euler”:

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

Entre los aportes que ha hecho Euler en el campo de la geometría es la relación existente entre el número de vértices, aristas, caras y regiones en todo poliedro convexo, cuyo valor resultante de su suma algebraica es una constante: 2. A este valor se lo reconoce con la letra E mayúscula, en homenaje a su descubridor:

$$E = V - A + C = 2$$



Homenaje a Euler en un sello postal de la entonces República Democrática Alemana (DDR)

Para completar esta reseña sobre las respuestas que encontramos en la Naturaleza que tienen su correlato en las matemáticas, dedico un espacio para referirme a los números primo, considerados los ladrillos con que se ha construido el edificio de los números enteros.

Se caracterizan porque sólo son divisibles por sí mismos y por la unidad.

Si bien hubo recaudos respecto del 1, desde mediados del siglo XX ha dejado de ser considerado como número primo. Del mismo modo, el cero también creó confusión desde su existencia, pero fue desechado debido a que su producto por cualquier número es siempre cero, y el cociente es indefinido, cuyo valor tiende a infinito.

El 2 es el primer número primo, y es el único número primo par. El resto, todos, sin excepción, salvo el 2 y el 5, son impares terminados en 1, 3 o 7.

Son sorprendentes e inciertos. Se sabe que se encuentran en un entorno dentro de los múltiplos de 6, más o menos 1. No obstante, aun así, tampoco ésta es una regla que permita descubrirlos con certeza. No existe aún algún método para predecir dónde se encontrará el siguiente número primo. El último fue descubierto en diciembre de 2018, y se lo distingue como el número $M_{82589933}$, responde a la fórmula $2^{82589933} - 1$ y tiene 24.862.048 cifras.

Euclides (ca. 325 a. C. - 265 a. C.), predijo que su cantidad era infinita.

Llegado a este punto, veremos cómo las matemáticas está presente en cada recodo del universo, en cada latido de un ser vivo, en cada manifestación de la vida. Los pitagóricos del siglo V sostenían que los números eran entidades vivientes y principios universales, considerando al número uno el generador de todos los otros números y la fuente de toda creación. Para ellos, los números eran agentes activos en la Naturaleza. Por su parte, Platón sostenía que los conceptos matemáticos eran concretos y tan reales como el universo mismo, independientes de nuestro conocimiento de ellos.

Para Euclides, la Naturaleza era la manifestación física de las leyes matemáticas.

Antes de pasar al tema siguiente, me referiré a un insecto muy simpático, parecido a un saltamontes, excesivamente bullicioso a la vez que misterioso: la cigarra, conocido en la región nordeste de la Argentina como “chicharra”.



Imagen de una chicharra

Anuncia su presencia con un chillido ensordecedor que se siente en todo el ámbito, llamando a la hembra para aparearse. Lo vemos por primera vez prendido a la corteza de algún árbol, para luego desaparecer de la vista. Su vida es muy efímera, se aparea, desova y muere. Los huevos eclosionan y las larvas caen al suelo y se sumergen bajo la superficie, donde se para alimentan absorbiendo los fluidos de las raíces de arbustos y árboles. Allí se desarrollan y permanecen hasta la edad adulta. Lo curioso de todo esto es que existen dos especies de cigarras, una de las cuales emerge a la superficie luego de permanecer enterrada durante 13 años, y la otra demora 17 años para emerger. Si se presta mucha atención, se trata de dos números primos. Ya vimos que los números primos sólo son divisibles por sí mismos y por la unidad, y si se considera a cualquier especie predadora de las cigarras, con un ciclo vital determinado, la coincidencia de que ambos se encuentren sobre la superficie de la tierra es incalculable. De hecho, para que coincidan ambas especies sobre la superficie de la tierra deberán pasar 221 años. ¿Responderá esta frecuencia a un mecanismo de protección que se encuentra impreso en el código genético del insecto?

La sucesión de Fibonacci, resultado de observar el crecimiento de una población de conejos idealizada, se encontró luego en innumerables manifestaciones de la Naturaleza, desde el patrón de crecimiento de un helecho hasta el trino de las aves, la disposición de los pétalos en las flores, la estructura del caparazón de ciertos moluscos, la espiral de una galaxia en el universo, etc. Quizá se esta sucesión el denominador común entre los patrones matemáticos y los diseños de la Naturaleza.

Mantenemos la tesis de Galileo, en tanto que las matemáticas son el alfabeto del Universo, y mientras tanto sigamos escribiendo el libro de la vida utilizando nuevos argumentos matemáticos.

No obstante, en la Naturaleza, no todo es matemática.

Encontramos en ella suficientes y abundantes muestras de economía de la sustancia, mínimo esfuerzo, estructuras exitosamente resueltas, verdaderas obras de arquitectura e ingeniería.

Unos pocos ejemplos servirán para entender esto que afirmo.

El fenómeno de la fotosíntesis se realiza en el interior de las hojas del vegetal. Allí no se necesitan herramientas especiales, ni probetas. Sólo participan tres componentes: el agua, que toma del suelo a través de sus raíces y es transportada junto a diversos minerales hasta la hoja más distante, el dióxido de carbono que absorbe del ambiente exterior a través de sus estomas, y la luz del sol. Allí se produce el proceso de fotosíntesis en el cual se combinan el agua y el dióxido de carbono, desprendiendo oxígeno y formando moléculas de azúcar o glucosa que le sirve al vegetal de alimento. De allí, en la cadena trófica se conoce al vegetal como autótrofo, porque produce su propio alimento.



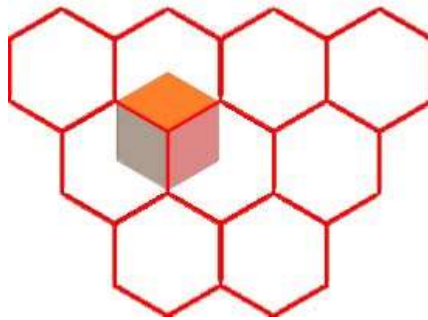
FOTOSÍNTESIS: 1. Agua (H_2O): es extraída del suelo por las raíces y trasladada por la savia, junto a sales minerales; 2. Energía solar: llega a la clorofila contenida en los cloroplastos de las hojas; 3. Dióxido de Carbono (CO_2): la hoja lo absorbe del aire a través de las estomas; 4. Moléculas de glucosa o azúcar ($C_6H_{12}O_6$): dióxido de carbono se combina con el agua, desprendiendo oxígeno; 5. A través de las estomas se expulsa a la atmósfera grandes cantidades de Oxígeno (O_2).

Un caso particular y lleno de interrogantes lo dan las abejas en la construcción de sus panales. Las celdas, que adoptan un ordenamiento hexagonal (según la RAE), con una concurrencia de tres celdas a una arista común, están ordenadas según un plano, con sus bocas orientadas hacia un lado.



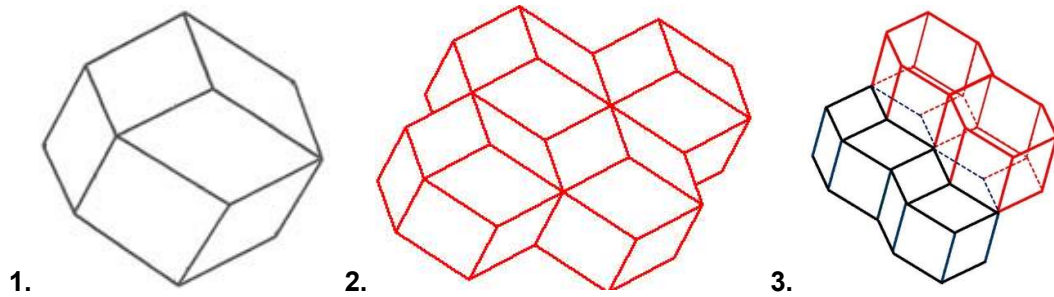
Abejas trabajando en un panal

Por la parte posterior se acomoda otra serie de celdas, organizados de la misma manera pero intercaladas de modo que cada arista de una capa coincida con el centro de la celda opuesta.



Detalle del acomodamiento de las celdas

La conexión de una capa con la otra se da mediante una deformación de las bases de las celdas según rombos que conforman una estructura evitando el desplazamiento de una de las capas en relación con la otra.



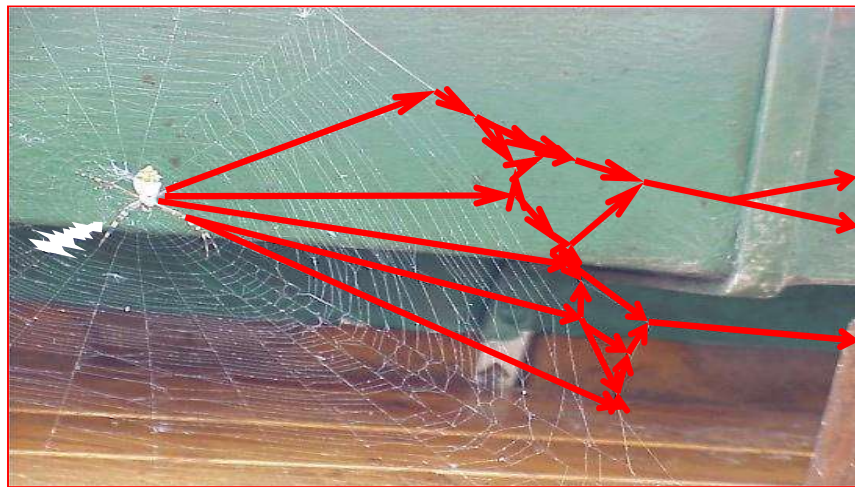
1. Dodecaedro Rómico o Rombidodecaedro ; 2 y 3. Organización en capas

Lo asombroso de este ordenamiento es que esos rombos pertenecen a un poliedro que se conoce con el nombre de dodecaedro rómbico o rombidodecaedro, compuesto por doce rombos regulares que concurren en forma alternada tres y cuatro a cada vértice, y es uno de los cinco poliedros que por adición de sí mismos macizan el espacio.

Los otros cuatro poliedros que también macizan el espacio son el cubo, los prismas triangular y exagonal y el poliedro arquimediano de Lord Kelvin.

Otro insecto, la araña, teje una red con el hilo que ella misma produce conformando una verdadera estructura tensada.

En relación del tamaño y el peso de la araña y la sección del hilo, la tela resulta ser 5 veces más resistente que el acero. En la imagen se han reforzado los hilos que soportan la red para entender cómo se distribuyen las tensiones en la red hasta su anclaje en los apoyos.



Tela de araña donde se destaca la distribución de los hilos que soportan la red

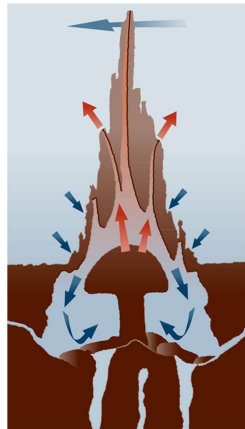
En el campo específico de la arquitectura, los termiteros africanos han sido la inspiración de numerosos edificios. Tienen la particularidad de mantener en su interior una temperatura constante de 30°, necesaria para el cultivo del hongo que le sirve de alimento, a la vez que le resulta necesaria para su subsistencia por ser un insecto muy delicado.



Vista de un termitero

Logran mantener esta temperatura constante mediante galerías internas que permiten el ingreso del aire fresco de la mañana por la parte inferior del termitero, y mediante conductos que ofician de chimeneas, expulsan el aire caliente por la parte superior.

Para la construcción del edificio Eastgate, en Harare (Zimbawe), se ha tomado en cuenta este mecanismo de galerías, con lo que se ha logrado una reducción muy importante del consumo energético.



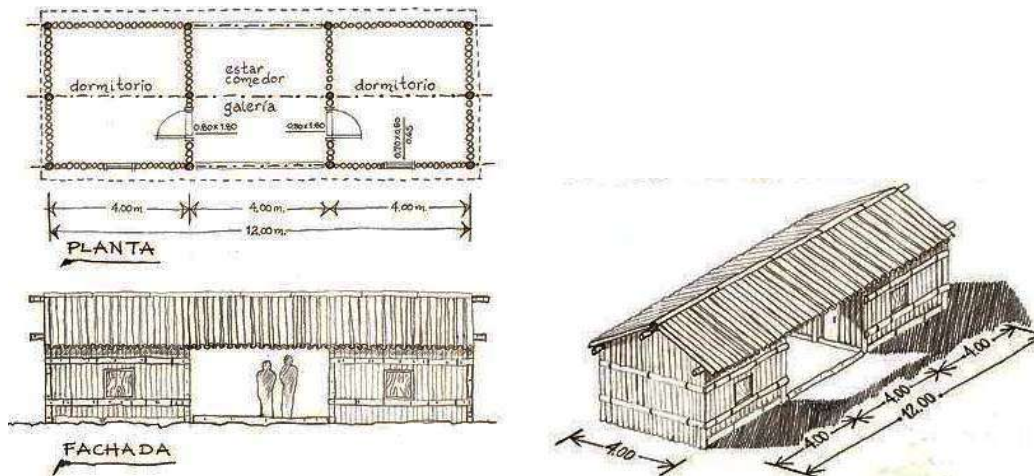
1.



2.

1. *Detalle del interior de un termitero* ; 2. *Vista del exterior del Eastgate*

Algo similar ha logrado nuestro hombre de campo, construyendo su choza según un diseño que se conoce como “Culata Yobai”, término guaraní que significa “habitaciones enfrentadas”, y presenta un partido con un patio cubierto intermedio que permite la circulación del aire, refrescando las habitaciones.



Culata Yobai: planta, fachada y perspectiva

El hornero (*furnarius rufus*), o Alonsito, es un ave americana de costumbres dignas de elogio. En primer lugar, una vez que forma pareja, ésta se mantiene hasta la muerte de ambos. Es un verdadero arquitecto, construyendo su nido con barro y paja. En el año 1928 fue declarado ave nacional en la República Argentina.



Detalle y vista del nido del Hornero

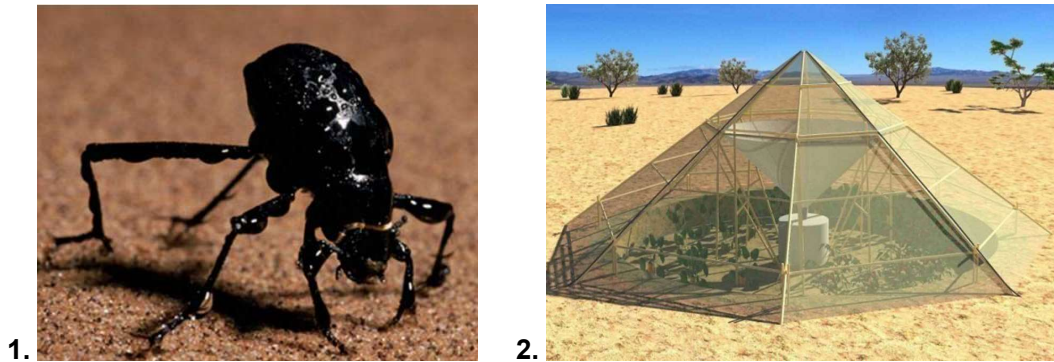
Un caso no menos curioso es el de la avispa conocida con el nombre de “Camoatí”. Su habitáculo es un espacio cerrado, con una sola abertura por la parte inferior. Tiene un sistema de protección térmica lograda mediante una serie de protuberancias que sobresalen del nido, oficiando de disipadores de la temperatura interior.



Nido de avispas “Camoatí”

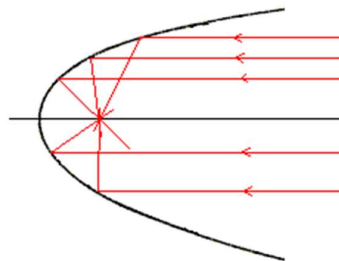
Namibia es un país del sudoeste de África, donde se ubica uno de los desiertos más antiguos y con las dunas más altas del planeta, con lluvias muy escasas en el año.

Allí habita un insecto conocido con el nombre de “Escarabajo de Namibia”, que se caracteriza por coleccionar el agua que necesita haciendo que la niebla se condense sobre su cola, y de allí, la gota resbala por su caparazón hasta llegar a su boca.



1. Escarabajo de Namibia ; 2. Receptáculo para recoger agua potable por condensación

La parábola es una figura muy interesante que nos ofrece la geometría, cuya característica formal hace que los rayos que inciden sobre la línea se reflejen siguiendo un curso que se concentra en un punto interior a la curva.



Detalle de incidencia de los rayops sobre una parábola y su concentración en un punto interior

Aprovechando este principio, una parábola que se desplaza siguiendo una línea recta permite desarrollar una superficie cilíndrica, y si gira alrededor de su eje de simetría, la superficie será un paraboloide. En ambos casos se logra ese efecto concentrando los rayos en un punto, y esto es aprovechado para conformar una verdadera cocina solar.



Cocina solar parabólica circular



Cocina solar parabólica cilíndrica

Todas las criaturas que hoy existen han marchado hasta ahora a través de una más o menos larga prueba de eficacia, y cada ser, en el curso de su propia vida, enfrenta una prueba semejante, la que, junto con el accidente, decide sobre la propia existencia de los seres.

Esto se aplica también para el hombre, el cual influye de manera importante a su favor, con razón y altruismo (amor a la especie, a la familia, al mundo que lo rodea y a la creación en general), en su lucha por la subsistencia.

Haciendo una grosera interpretación de nuestro cuerpo, diremos que es un conjunto de elementos orgánicos y óseos, envueltos en una membrana o piel.

Los elementos orgánicos constituyen el sector 'vital'. Los huesos el sector 'soportante', y la piel, el contorno 'contenedor' de todo aquello.

Realmente, resulta grotesca esta interpretación tomada así, fríamente. Pero si analizamos las funciones de cada sector, veremos que no lo es tanto. Los órganos están coordinados de tal modo que la ausencia de uno solo de ellos podría llegar a producir una brecha por donde se escape la vida. Con todo, el cuerpo humano es sumamente fuerte y adaptativo, superando en ciertos casos estas 'ausencias', produciendo una pequeña metamorfosis imperceptible, y manteniéndose vivo a pesar de aquéllas.

Los huesos sirven de elementos soportantes, y le permiten al cuerpo mantenerse erguido. La piel le sirve de agente protector en primera instancia, y también, hasta cierto punto, de contenedor, de elemento de cierre, de membrana envolvente.

Así interpretado nuestro cuerpo, es además un claro ejemplo del equilibrio de estos componentes que interaccionan entre sí y dan como respuesta una conformación exterior que nosotros identificamos inmediatamente con los sentidos. Esta conformación no es siempre la misma, porque las tensiones internas en el cuerpo humano se ven diversificadas por esa fuerza inmensamente superior, que es la propia vida, que le transmite una serie de impulsos que le producen transformaciones continuas, que se van dando en el tiempo, en sí mismo y en mutaciones propias de la especie.

Nuestro cuerpo actual difiere del de nuestros primeros padres, y aún de cualquiera de nuestros semejantes contemporáneos. Encontramos personas gruesas y delgadas, altas y bajas, etc. ¿Y qué mejor ejemplo de transformación, desarrollo y evolución que el de la gestación de un nuevo ser en el propio seno de una madre?

“El interés del hombre por el espacio tiene raíces existenciales: deriva de su necesidad de adquirir relaciones vitales en el ambiente que lo rodea, para dar sentido y orden al mundo de acontecimientos y acciones.” (Norberg-Schulz, 1980).⁵

Los filósofos griegos hicieron del espacio un tema de reflexión, Platón definió a la geometría como la ciencia del espacio; pero fue Aristóteles el que desarrolló una Teoría del Lugar “TOPOS”; según él, el espacio es una suma de todos los lugares, un campo dinámico con direcciones y propiedades cualitativas (“El todo es más que la suma de las partes”, Aristóteles).

Las teorías posteriores se basaron en la geometría de Euclides y definieron el espacio como infinito y homogéneo: una de las dimensiones básicas del mundo conocido. Digo conocido, porque la ciencia cada día nos sorprende con nuevos descubrimientos, por lo que no podría asegurarse qué sucede más allá de nuestros límites planetarios.

En el siglo XVII tuvo lugar un importante avance de la teoría del Espacio Euclidiano al introducir Descartes el sistema de coordenadas ortogonales que luego tomó el nombre de “cartesianas”, en homenaje a su creador.

En el siglo XIX se produce una mayor aproximación al concepto de espacio físico con el desarrollo de las geometrías no Euclidianas, que dejan a un lado el antiguo concepto de un espacio unificado, y se establecen diferencias entre espacios físicos (concretos), por un lado, y espacios matemáticos (abstractos), por otro. Estos últimos, un producto del hombre que resulta de descubrir la armonía del Universo, surgen como necesarios para describir los primeros, con mayor o menor grado de aproximación.

El concepto de espacio, desde el punto de vista físico y matemático, satisface sólo algunas de las muchas variables involucradas. Piaget indica que nuestra conciencia del espacio se basa en esquemas operativos, es decir experiencias con cosas; los esquemas espaciales pueden ser muy diferentes, el hombre posee más de un esquema capaz de permitirle una percepción satisfactoria de diversas situaciones; y resume sus investigaciones en las siguientes palabras: *“El espacio es el producto de una interacción entre el organismo y el ambiente que lo rodea en que es imposible disociar la organización del universo percibido de la actividad misma”*.⁶

A pesar de que el concepto de espacio no puede ser abordado sólo desde el punto de vista de la geometría, la importancia de esta disciplina es innegable aunque deba integrarse a una teoría más amplia. El espacio forma una parte necesaria de la estructura de la existencia y describir esa estructura importa dos aspectos: uno abstracto, de índole topológica o geométrica; y otro concreto referido a la captación de elementos circundantes (paisaje, edificios, elementos físicos, etc.).

Existe una tendencia que, si bien no es reciente, es bastante joven aún, que consiste en considerar la forma como una geometría de ocupación del espacio, sustituyendo así las percepciones sensoriales imprecisas, por una más correcta noción de organización o arreglo, y en ciertos casos particulares, también de medida. Surge así una nueva rama de la geometría

⁵ Norberg-Schulz, C. (1980): *“Existencia, Espacio y Arquitectura”* – Barcelona (España): Editorial Blume

⁶ Norberg-Schulz, C. (op. Cit.)

que hace a un lado los aspectos dimensionales, centrada en los arreglos, ordenamientos y posicionamientos en el espacio: la topología.

Prescindiendo de la Naturaleza misma de las cosas (sean éstas moléculas, átomos, electrones, etc.) resulta interesante observar el modo en que se arreglan u ordenan las partículas y las características de los conjuntos que las agrupan. Generalmente, cada sustancia posee un tipo de distribución ordenada, y distintas sustancias, diferentes distribuciones.

El estudio de los cristales, por ejemplo, nos muestra la asombrosa riqueza combinatoria que existe en esos arreglos, no sólo en el desarrollo de un motivo determinado, sino más aún en la adaptación a ciertas condiciones dadas, a límites preestablecidos, y lo que resulta más interesante, cómo se puede llegar a modificar dichos arreglos. Por otra parte, el binomio interactuante integrado por las geometrías “limitada” e “ilimitada”, ha sido fuente de gran progreso para las ciencias en general.

Complementando lo dicho con un ejemplo, hago referencia a experiencias con sustancias jabonosas, que denotan esas respuestas a que se hace alusión, deduciéndose allí, justamente, que la observación de ciertas condiciones en los límites, conducen al campo del dominio del misterio de la forma. Ese límite, precisamente, que se da entre dos regiones separadas, donde se produce el curioso fenómeno de tensión superficial que engendra la forma sin intervención humana, por el simple juego de las fuerzas naturales.



Una pompa de jabón en el espacio

Las pompas de jabón son el resultado de un complejo sistema de fuerzas concurrentes que accionan y reaccionan mutuamente, sobre una delgada película jabonosa que ofrece de límite entre el interior y el exterior. Es allí donde se localiza la presencia de las dos leyes fundamentales de la Naturaleza, del mínimo esfuerzo y de economía de la sustancia. La pompa de jabón, sometida a la acción de la presión del aire contenido en su interior, que pugna por expandirse, resiste la acción de la presión atmosférica exterior que se opone y tiende a aplastar la pompa.

Cualquier otro recipiente que contenga el mismo volumen de aire y cuya forma no sea esférica, indefectiblemente necesitará mayor superficie que la de la pompa.

Al apoyar esa misma pompa sobre una superficie plana, inmediatamente se convertirá en una semi esfera perfecta, como lo demuestra la imagen siguiente.



Pompa apoyada sobre una superficie plana horizontal

Si se incorpora más aire al interior de la pompa, el espesor de la membrana se reduce y se rompe el equilibrio con la consiguiente destrucción de la pompa.

Otro ejemplo, aunque parezca trivial, pero que encierra un inmenso poder de síntesis es la gota de un líquido cualquiera, comparada con una masa considerable del mismo líquido. Es necesario que derramemos parte de él sobre un plano horizontal para darnos cuenta inmediatamente que el comportamiento en ambos casos es totalmente diferente.

Una gota de un líquido cualquiera cayendo libremente en el espacio mantiene una semejanza con la pompa de jabón, flotando libremente en el aire. Sin embargo, mientras la pompa, apoyada sobre una superficie, se mantiene casi esférica, el líquido derramado, en cambio, se desparrama casi totalmente formando una superficie similar a un estanque o lago.

Para interpretar este fenómeno conviene que recordemos el concepto de cohesión molecular que tienen los fluidos. Las moléculas de un líquido ejercen cierta atracción sobre las demás que la rodean, produciendo un curioso fenómeno que pasaremos a verificar.



1.

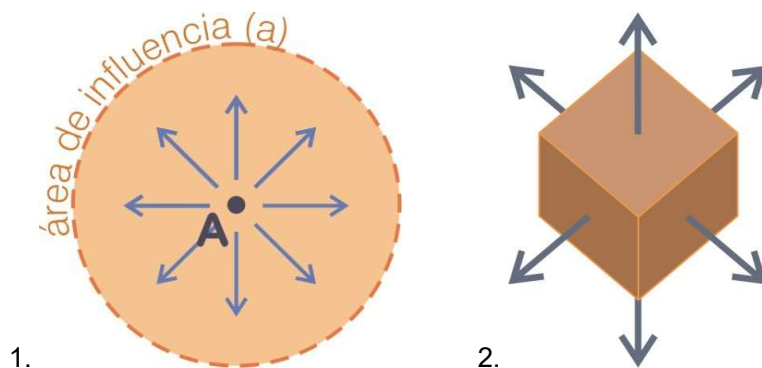


2.

1. Una gota de un líquido cayendo libremente en el espacio ; 2. Superficie de un estanque

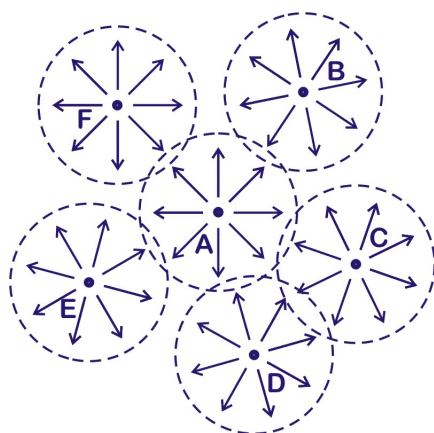
La atracción molecular se produce dentro de un campo relativamente pequeño, en todas las direcciones y en forma uniforme. Considerando que el punto A, en la figura, representa una molécula del interior de un líquido determinado, el campo de influencia de su atracción molecular está representado por el círculo 'a', que la rodea (aunque en realidad la forma de este campo se aproxima a lo esférico). La atracción de la molécula A se ejerce en todas las direcciones.

Si la representamos con la forma de un pequeño cubo, las direcciones de la atracción que ejerce pueden referirse a los tres ejes coordenados. Todas las moléculas que rodean a la que estamos considerando serán atraídas por ella, con cierta intensidad, que irá disminuyendo a medida que nos acerquemos a los límites de su campo de influencia, y será nulo a partir de ese momento.



1. Atracción ejercida hacia el interior ; 2. Distribución según los ejes coordenados

No obstante, tanto la molécula A, como las otras (B, C, D, E y F), tienen sus propios campos de influencia y, por lo tanto, la atracción que ejercen es mutua. De esta manera tenemos que, aún aquellas que no se encuentran dentro del campo de influencia de la molécula A, lo estarán dentro del de algunas que están próximas a A, y el sistema, en un determinado momento, estará totalmente integrado. El resultado es conocido como 'fenómeno de cohesión molecular', dando lugar a una gota.



Es a este fenómeno al que se debe la formación de pequeñas gotas más o menos esféricas de un líquido cualquiera, manifestando cada una de ellas un estado de equilibrio, entre un volumen máximo para una superficie periférica de película dada. Una experiencia tal demuestra que lo que vulgarmente se denomina forma, es una consecuencia de una organización interna, resultante de la atracción que han provocado las moléculas que integran el grupo.

La masa del líquido tiene un peso que supera en mucho la capacidad de tensión superficial de su 'piel'. Pero si reducimos su volumen de manera considerable, habrá un momento en que la piel será suficientemente apta como para contener la masa líquida en su interior. Éste es el caso de la formación de una gota.

Un fuerte impacto producirá una tensión interior tal, que la tensión superficial será superada, y es cuando la gota que cae libremente en el espacio, choca contra el piso produciéndose un fenómeno que conocemos como 'salpicadura', o sea que la gota se descompone en un sinnúmero de gotitas más pequeñas.

La gota es la forma más económica que responde, para cada líquido, a las dos leyes universales, de "*economía de la sustancia*" y del "*mínimo esfuerzo*".

El fenómeno de tensión superficial localizado en la pompa de jabón es similar al que se define en la superficie de cualquier líquido. Esto lo veremos en detalle el siguiente capítulo dedicado a los SISTEMAS.

El hábito nos ha insensibilizado al milagro del fenómeno sólido y de la paradoja existente entre la distribución molecular de un cuerpo y la estabilidad del mismo, que constituye en realidad el diagrama de equilibrio de las fuerzas internas.

En una escala inmensamente más compleja se encuentra el fenómeno de la vida, resultado de arreglos que responden a la necesidad de un orden dado y prescripto.

Hacer una referencia a todas las formas que se manifiestan en la Naturaleza sería una tarea casi imposible.

No obstante, en el presente trabajo se analizarán sistemáticamente las posibles combinaciones y arreglos que se presentan, ahondando en el campo de referencia del espacio, tal como lo pretendemos conocer, aunque si bien nos resulta difícil definirlo correctamente, sabemos cómo está poblado.

Para la comprensión y el ordenamiento de las formas en general, cuando observamos al mundo con intención de conocerlo, de comprender qué y cómo son las cosas que vemos, iremos descubriendo gradualmente que aquello que nos era ajeno comienza a ser nuestro. Nuestra relación con la realidad exterior se realiza por medio de sensaciones (visuales, táctiles, olfativas, auditivas, etc.), generalmente la percepción a través de los sentidos es asociativa aunque en el ser humano es fácilmente comprobable la preeminencia de las percepciones canalizadas por medios visuales. Una forma es inherente a una determinada cosa, es aquello que conocemos de la cosa en primera instancia, lo observable, lo que percibimos a través de los sentidos. La forma es la manera como la cosa se presenta ante el sujeto, o sea como se nos aparece, es un hecho de base visual; la expresión implica para nosotros el empleo de todos los sentidos coordinados por la vista, que estructura y orienta los datos provistos por los demás sentidos. Es así que el primer conocimiento formal que tenemos de una cosa es siempre sensorial y no inteligente.

Más adelante tendremos oportunidad de ir conociendo otros aspectos, con la intervención de la razón, que nos dará una noción intelectual de la cosa. Por eso decimos que una forma puede ser casual, real, deseada, pero de todos modos, nuestro conocimiento de la misma es subjetivo. Las formas son para nosotros, visibles, audibles, explorables e incluso odoras y gustables.

La idea de forma se emplea más frecuentemente en el terreno de lo visible, esto nos resulta más familiar. La forma visible, al aparecer, se refiere no solo a cuerpos sólidos, fluidos o

gaseosos, sino también a los acontecimientos visibles inmateriales, como ser la forma de la luz, etc.

Las formas visibles pueden representarse geométricamente, pueden ser lineales, planas, cúbicas, rectas, curvas o quebradas, etc. Conocemos planos abiertos, cerrados, calados, etc. Pero existen además formas en movimiento que acontecen en el tiempo y en el espacio. Nos interesan no los elementos aislados sino la interacción entre los mismos, no las propiedades del proceso independiente sino las propiedades de la totalidad. El concepto de estructura de la forma se hace importante porque pone de manifiesto la “red” de relaciones entre los elementos o entre procesos elementales. Una forma es la mayoría de las veces el fruto de un acontecimiento anticipado.

Para el nacimiento de una forma podemos delimitar tres diferentes campos fundamentales:

- la Naturaleza viva
- la Naturaleza inerte
- el mundo intelectual

En el campo de la Naturaleza, en general, se toman en cuenta las formas compuestas de la materia.

En el terreno de la Naturaleza viva dominan el desarrollo y la evolución de las especies.

Mediante el estudio de la Naturaleza, una tarea sistemática que le corresponde a las ciencias físicas y naturales, se comienza a descubrir el mundo formal de la materia y su evolución, y de allí se deduce la ley orgánica del concepto o visión del mundo.

La forma compleja de los cuerpos sólidos es ilimitada, aunque no así la máxima dimensión de determinada forma, bajo determinadas condiciones. El mundo de las formas de los cuerpos fluidos y gaseosos es estrecho y dependiente, dependiendo del envase que las contiene.

Las formas de la Naturaleza viva corresponden a la de los vegetales, animales y humanos, considerados individualmente, o como un todo constituido por los mismos elementos que también subsisten en la Naturaleza inerte: átomos, moléculas, pero con otra organización. Aquí dominan el carbono, el hidrógeno y el oxígeno, acompañados de muchos otros elementos, como el fósforo, el silicio, el calcio, etc.

En la Naturaleza viva se presentan cinco variantes: móneras, protistas, funguis, plantas y animales. Su función y desempeño serán analizados en el capítulo PROCESOS.

La Naturaleza inerte envejece, se transforma. La Naturaleza viva, por el contrario, se desarrolla, evoluciona. Las formas de la Naturaleza viva no presentan un cuadro envejecido, como el polvo de los desiertos, por ejemplo.

La Naturaleza viva se renueva, salvando los más increíbles obstáculos.

Mientras para la Naturaleza inerte la constitución física de la estructura de los tejidos, las propiedades de la materia en reposo y en movimiento, y el 'accidente', son formalmente determinados, así también, en la Naturaleza viva, lo son las leyes del desarrollo.

La Naturaleza viva se sirve de la inerte, siempre que puede. Se sirve de la misma energía y está en constante lucha contra sí misma y contra los elementos de la Naturaleza inerte. Una lucha que estimula el desarrollo, donde sobrevive en el tiempo la criatura más capaz.

El mundo intelectual es, sin lugar a dudas, parte de la Naturaleza viva; sin embargo, difieren en su mundo formal, ya que se rigen por leyes diferentes.

Son múltiples y variadas las formas que nos ofrece la Naturaleza. Tratar de mencionarlas a todas resultaría una ímproba tarea.

No obstante, puede apelarse a mecanismos reduccionistas, que permitan sintetizar las formas en genotipos y fenotipos.

Wagensberg (2004)⁷ se plantea por qué ciertas formas son más frecuentes en la que otras en la Naturaleza, y por qué precisamente éstas y no otras, observando cómo perseveran, cómo emergen. Según él la forma es una profunda propiedad superficial y la función es el valor añadido a esa propiedad por el solo hecho de haber superado algún tipo de selección.

Con este modo de pensar, analiza y considera como las más frecuentes y sus funciones elementales: *“la esfera protege, el hexágono pavimenta, la espiral empaqueta, la hélice agarra, el ángulo penetra, la onda mueve, la parábola concentra, la catenaria soporta, el fractal coloniza”*⁸.

La naturaleza es un sistema complejo y cooperativo, en el que se producen complicadas interacciones entre sus componentes, en una red ecosistémica construida en los límites de los recursos disponibles. Como resultado, el sistema logra la coherencia interna de sus patrones orgánicos, cuyo tamaño se adapta a la función.

La naturaleza optimiza en lugar de maximizar. En ella los organismos coevolucionan adaptándose a los cambios de los demás componentes, lo que produce que cualquier estructura desempeñe varias funciones en su entorno.

El árbol de pino, que pertenece a la familia de las coníferas, ha recibido esta calificación precisamente por la similitud de su forma a la de un cono.



Vista de una conífera

⁷ Wagensber, Jorge (2004): *La rebelión de las formas*. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.

⁸ Wagensber, Jorge (op. Cit.)

Del mismo modo que la conífera, en general, todas las formas presentes en la naturaleza se pueden asociar tanto a formas regulares conocidas, como también a ideas abstractas, existentes sólo en la mente del pensador, en el caso de formas irregulares, difíciles de describir, como una piedra, una montaña, la orilla del mar, una nube, etc. Son formas tan irregulares que no pueden ser asociadas con alguna de las figuras geométricas regulares: triángulos, cuadrados, círculos, polígonos, etc.

Así como se presentan estas formas irregulares que no pueden identificarse con alguna de las geométricas conocidas, son innumerables las que podemos encontrar, como el pino que vimos recientemente, de características muy regulares que pueden ser descritas con precisión matemática como el *Abalone Shell*, por ejemplo, que se asocia con una espiral logarítmica. El *Abalone Shell* es, además, una muestra fehaciente de una de las leyes del crecimiento armónico de los seres vivos.

Llegó el momento de volver sobre nuestros pasos, y reabrir la página que dejamos cerrada en el capítulo anterior, para retornar al campo de la matemática, necesaria para entender lo que viene a continuación.

Las formas pueden representarse geoméricamente, y así pueden ser lineales, planas, cúbicas, rectas, curvas, quebradas, etc., y se conocen también planos abiertos, cerrados, calados, etc. Pero existen además formas en movimiento que acontecen en el tiempo y en el espacio. Nos interesa no sólo cada uno de los objetos, en forma aislada, sino la interacción que se produce entre ellos, no sólo las propiedades de cada proceso en forma independiente, sino las propiedades de la totalidad.

Aquí adquiere relevancia el concepto de estructura de la forma porque pone de manifiesto la “red” de relaciones entre los componentes o entre los procesos que los involucran. Toda forma es el fruto de un acontecimiento anticipado. Toda manifestación formal es consecuencia de un complejo proceso que parte de una causa, la función que dio origen a la conformación de la cosa, la forma propiamente dicha, y la trascendencia que implica la presencia de esa forma en su entorno.

“La filosofía [natural] está escrita en ese grandioso libro que tenemos abierto ante los ojos, (quiero decir, el universo), pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto.” (Galileo Galilei, 1592)

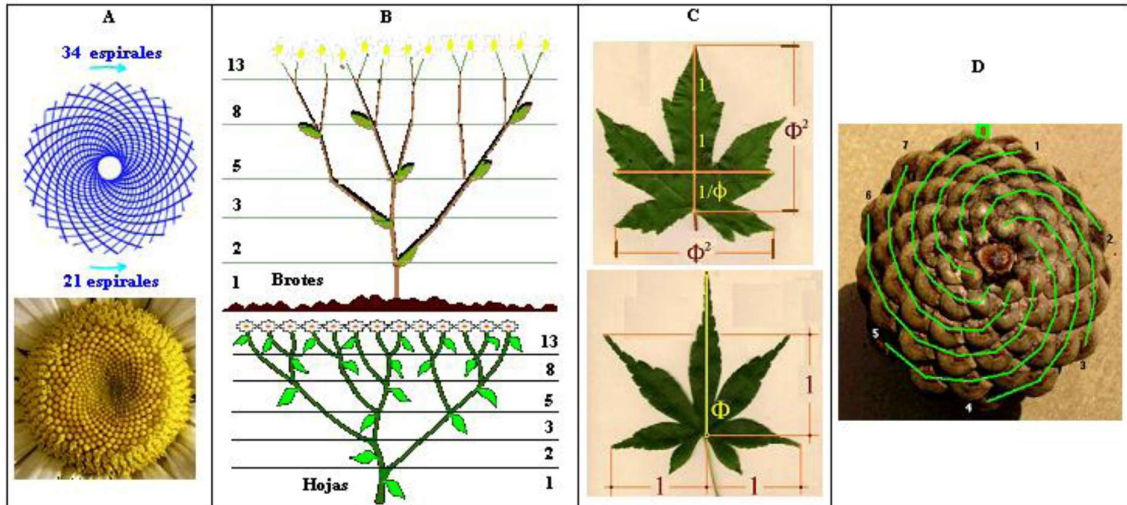
En el capítulo anterior “La Naturaleza como respuesta” hice una corta mención a la “*serie de Fibonacci*”, resultante de observar la hipotética reproducción a partir de una pareja de conejos.

Esta serie, muy sencilla, se construye a partir de la suma de dos números consecutivos, y así, sucesivamente, cada número de la serie resulta de la suma de los dos precedentes:

La serie de Fibonacci: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987...

Hasta aquí, todo es simple e intrascendente.

Pero, luego, observando la Naturaleza a nuestro alrededor, comenzamos a descubrir una asombrosa relación de los números de esta serie con cada uno de los individuos que se nos presentan: flores, frutos, ramajes, etc.



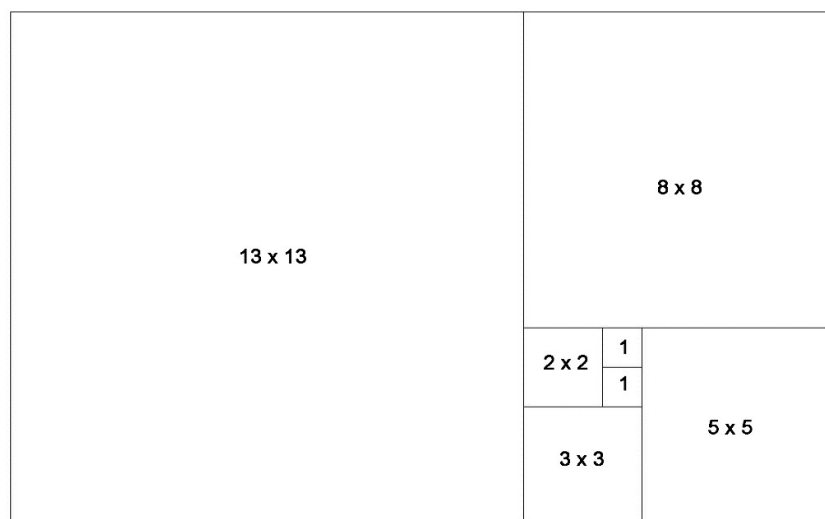
Algunas evidencias de la presencia de la serie de Fibonacci en la Naturaleza

Los matemáticos han ido más allá todavía, y encontraron además una íntima relación de esta serie con el número de oro Φ .

Anexando a un cuadrado de lado 1 otro cuadrado igual, tendremos un rectángulo de lados 1 x 2.

Si a este rectángulo le anexamos un cuadrado de lado 2, tendremos un nuevo rectángulo de lados 2 x 3.

Si, sucesivamente, hacemos este procedimiento anexando a los rectángulos obtenidos cuadrados de lado igual al lado mayor del rectángulo, iremos construyendo una cuadrícula con cuadrados de lados 5, 8, 13, 21, 34, etc., es decir, cuadrados cuyos lados corresponden a cada uno de los números de la serie de Fibonacci:



Reticula formada con cuadrados cuyos lados son números de la serie de Fibonacci

Recordemos el valor de F: 1,6180339887498948482...

Calculemos ahora las sucesivas potencias de F:

$$\Phi^{-4} = 0,14589803375... = \Phi^{-6} + \Phi^{-5}$$

$$\Phi^{-3} = 0,23606797750... = \Phi^{-5} + \Phi^{-4}$$

$$\Phi^{-2} = 0,38196601125... = \Phi^{-4} + \Phi^{-3}$$

$$\Phi^{-1} = 0,61803398875... = \Phi^{-3} + \Phi^{-2}$$

$$\Phi^0 = 1 = \Phi^{-2} + \Phi^{-1}$$

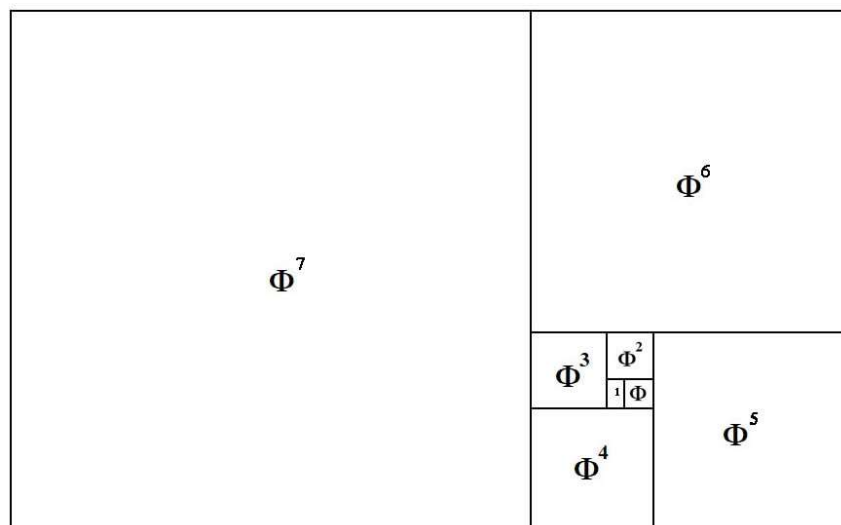
$$\Phi = 1,61803398875... = \Phi^{-1} + \Phi^0$$

$$\Phi^2 = 2,61803398875... = \Phi^0 + \Phi^1$$

$$\Phi^3 = 4,23606797750... = \Phi^1 + \Phi^2$$

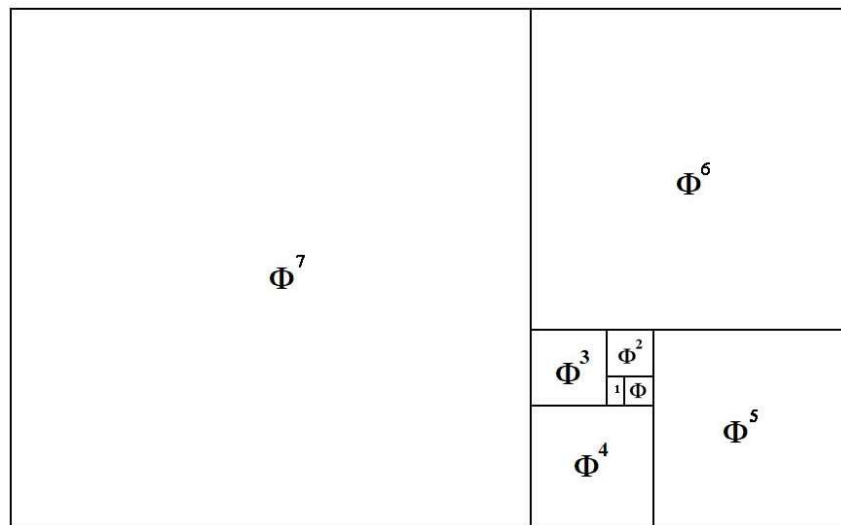
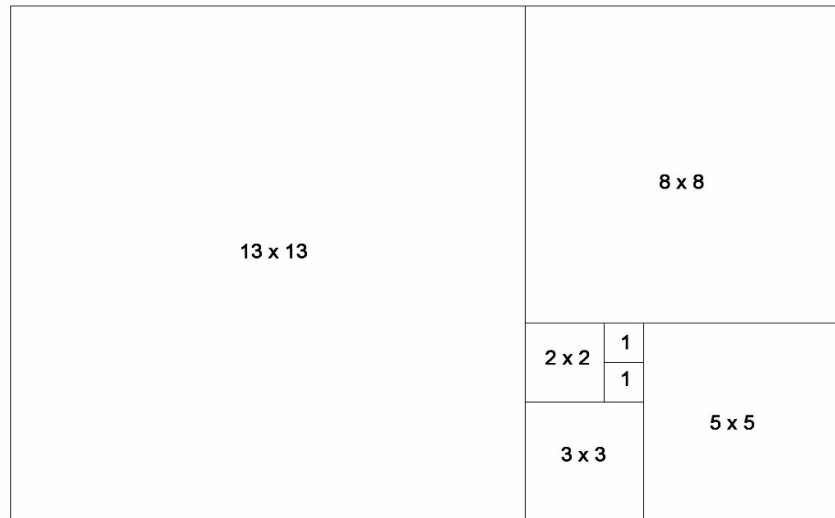
$$\Phi^4 = 6,85410196625... = \Phi^2 + \Phi^3$$

Construimos ahora una retícula similar a la de Fibonacci, siguiendo el mismo principio de crecimiento, pero tomando ahora estos valores que surgen de la serie a partir del número F:

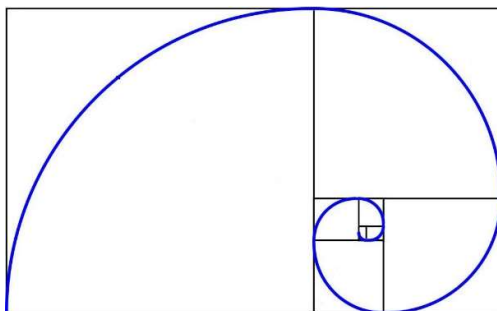


Retícula áurea

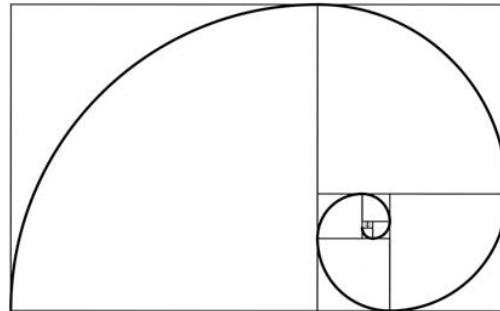
Para poder apreciar mejor la similitud entre ambas retículas, pongo a continuación ambas una sobre la otra:



Sobre cada una de las retículas trazamos una espiral que una todos los vértices opuestos:



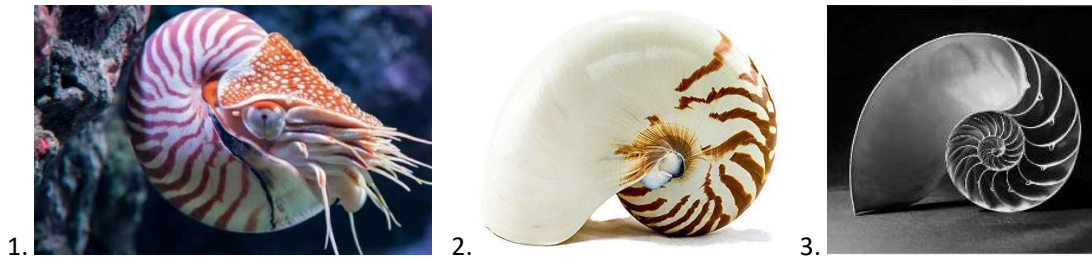
Espiral áurea



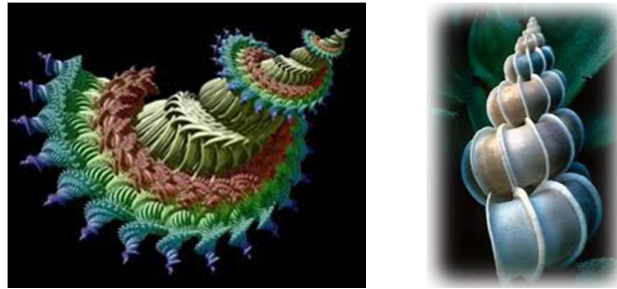
Espirale de Fibonacci

Estas espirales se repiten en innumerables individuos de la fauna y la flora.

Veamos el ejemplo que nos brinda el *Nautilus Shell*.



Nautilus Shell: 1. En su valva; 2. Valva; 3. Corte de la valva donde se ven los gnomones del crecimiento



Caracoles con formas exóticas

Un caso característico de la presencia del número 5 de la serie de Fibonacci lo tenemos en una estrella de mar, de la que existen innumerables variedades



Estrella de mar

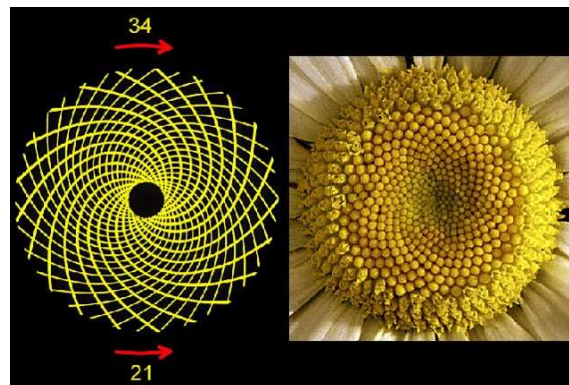


Pycnopodia helianthoides



Ophiopteris_antipodum

Pasando al reino vegetal observamos una flor de girasol en la que descubrimos la presencia de dos números consecutivos (21 y 34), de la serie de Fibonacci.



Flor del girasol destacando las espirales que forman las semillas, ordenadas en dos direcciones



Brócoli



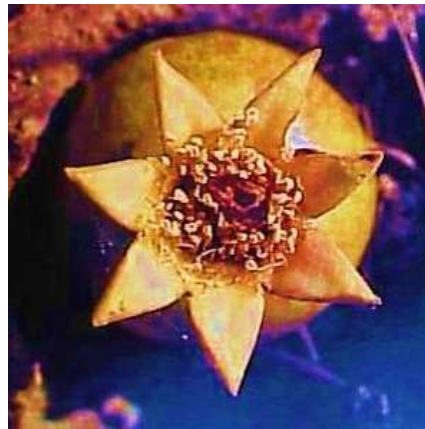
Alcachofa

Si bien muchas especies cumplen con la serie de Fibonacci, también están aquellas a las que les adjudican coincidencias de todo tipo, como es el caso de la flor del Mburucuyá, también conocida como la “Pasionaria”, por su relación con la “Pasión y Muerte de Jesús”, por tener tres estigmas (los tres “clavos”), cinco estambres (las cinco “lagas”), y un abultado conjunto de sépalos que conforman lo que se identifica como la “corona de espinas”. Todo este conjunto se apoya en los pétalos, ubicados en la parte inferior de la flor.



Passiflora caerulea, Mburucuyá.

No todas las flores respetan la secuencia de Fibonacci, como la de la granada, de siete pétalos.



Flor de la granada

Un ejemplo de la forma circular en la Naturaleza lo da la Victoria Regia o Irupé (nombre guaraní), en la que además se destaca la estructura de sostén



Colonia de Victoria Regia

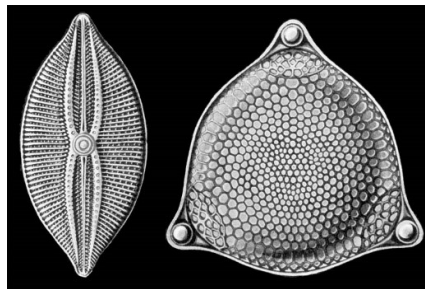
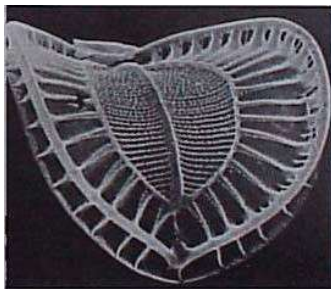


Estructura inferior de una hoja



Red de vinculación de la colonia

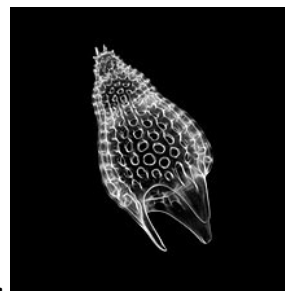
Son muy interesantes los fósiles de organismos microscópicos.



Diatomeas

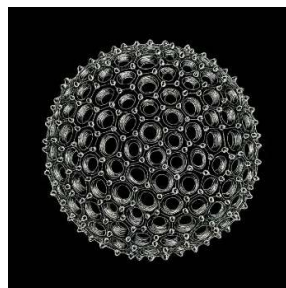


1.

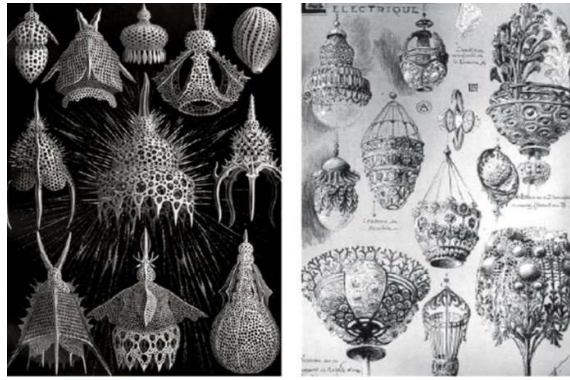


2.

1. Esqueleto de radiolario con prolongaciones o cuernos del Jurásico; 2. Esqueleto del grupo Nassellaria

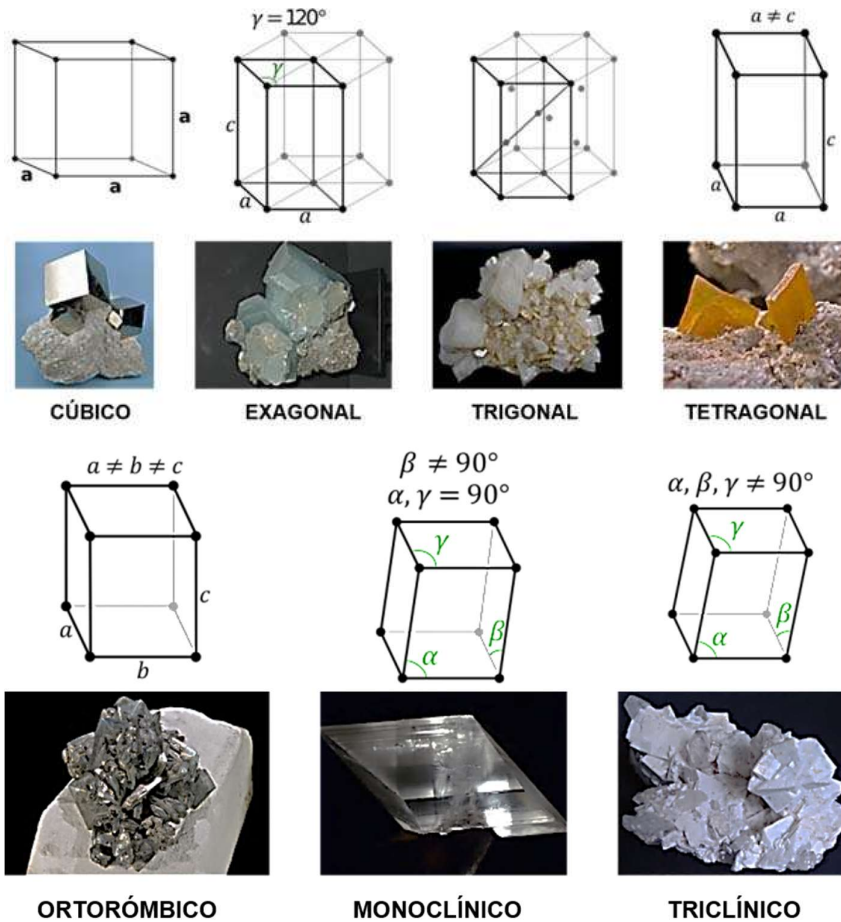


Morfología de Radiolarios (Aulonia hexagona) en el extenso trabajo de Ernst Haeckel. (imagen tomada del estudio de la ilustradora británica Christina Brodie en Geometry and Pattern in Nature 3: The holes in radiolarian and diatom tests)



Esqueletos minerales de sílice de organismos microscópicos

El reino mineral nos asombra con representaciones que también responden a leyes matemáticas, dentro de la geometría, a partir de las cuales se desarrollan redes de distribución que resultan importantes en el campo del diseño estructural



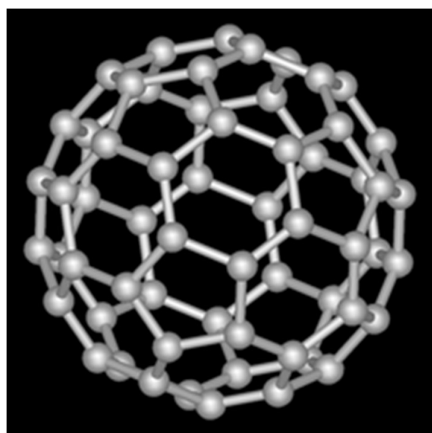
Sistemas cristalinos



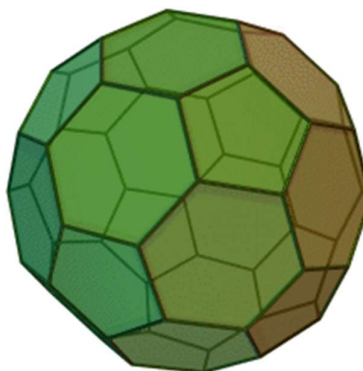
Grupo en piña de cristales piritoedros (dodecaédricos pentagonales) modificados por las caras del cubo, de caras y aristas muy definidas y brillantes. Mina de Ambasaguas, la Rioja, España

El carbono es un elemento químico de número atómico 6, trivalente, con especiales características muy notables y quizá uno de los más importantes que se conocen. En la prehistoria, el hombre ya tuvo contacto con el carbono, mediante la combustión incompleta de materiales orgánicas, y lo conocieron en sus formas de carbón vegetal y negro de humo.

Tanto el diamante como el grafito son formas alotrópicas del carbono, que se completa con otras tres: el grafeno, el carbino y el fullereno. Con una estructura parecida a la del grafito, los fullerenos completan su empaquetamiento incorporando pentágonos y, en algunos casos, heptágonos (polígonos de 7 lados). De todos, el que ocupa la atención de este trabajo es el C60, del que asombra, aún más, su similitud con el poliedro arquimediano, el dodecaedro truncado, ya mencionado al comienzo de este capítulo.



Buckminsterfullereno C60



Poliedro arquimediano icosaedro truncado

Su conformación, compuesta de 12 pentágonos y 20 hexágonos, hace recordar también al balón de fútbol y, más precisamente, a las cúpulas geodésicas creadas por el arquitecto Buckminster Fuller, cuyo nombre, debido a esta coincidencia, fue motivo para bautizar esta nueva forma alotrópica del carbono con el nombre de “*buckminsterfullereno*”, o simplemente “*fullereno*”.

Los fullerenos fueron descubiertos en 1985 por los científicos H Kroto, R. Curl y R. Smalley. Debido a este descubrimiento fueron galardonados en 1996 con el Premio Nobel de Química.

Lo más asombroso es que la Naturaleza siempre está unos pasos delante de nosotros.

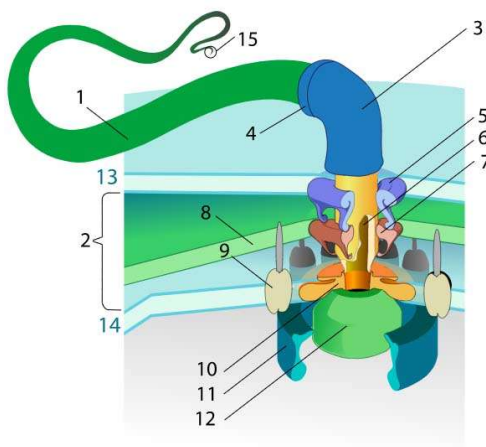
Cuando observamos la naturaleza descubrimos que la creatividad humana ha sido superada sobradamente. Investigaciones recientes han descubierto que los humanos no fueron la primera especie en inventar varios de los mecanismos que se le hubieron atribuido. La rueda, este supuesto “invento” que ha evolucionado y revolucionado en todos los ámbitos de la industria, ya la naturaleza, muchos millones de años antes, la ha aplicado en ámbitos microscópicos, imposible de ser percibidos por el ojo humano sin la ayuda de instrumentos de precisión.

Y lo mismo sucede con algunos derivados, como las tuercas y tornillos, los engranajes, etc.

El primer caso, el de la rueda, consiste en una especie de rotor que, girando a gran velocidad, hace vibrar un filamento externo de las bacterias que les permite desplazarse en el medio en que habitan, y que se conoce con el nombre de “flagelo bacteriano”.

El flagelo bacteriano es una estructura filamentososa que tiene una estructura única, completamente diferente de los demás sistemas presentes en otros organismos, como los cilios y flagelos eucariotas, y los flagelos de las arqueas. Es la máquina más pequeña que existe, un dispositivo diminuto capaz de convertir una corriente eléctrica (de protones) en rotación, y permite propulsar a las bacterias, en relación a su tamaño, a la mayor velocidad registrada en un ser vivo, equivalente hasta 100 veces su longitud por segundo.

El flagelo bacteriano es un filamento hueco helicoidal, de 20 nm de espesor y 5 a 10 mm de largo, movido por un motor rotatorio. Este motor, o rotor, puede girar a 6.000-17.000 rpm, aunque el apéndice sólo alcanza entre 200-1000 rpm.



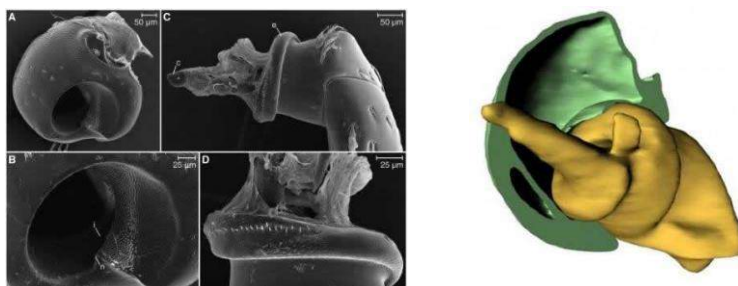
Flagelo bacteriano: 1. filamento, 2. espacio periplásmico, 3. codo, 4. junta, 5. anillo L, 6. eje, 7. anillo P, 8. pared celular, 9. estátor, 10. anillo MS, 11. anillo C, 12. sistema de secreción de tipo III, 13. membrana externa, 14. membrana citoplasmática, 15. punta

El mecanismo de tuerca y perno que es empleado para atornillar una cosa a otra, ya los gorgojos hacen lo mismo para unir sus piernas a sus cuerpos en lugar de usar la bola más familiar de articulación de zócalo.

Se ha descubierto en los gorgojos un sistema músculo esquelético hasta ahora desconocido en el mundo animal. La cadera del *Trigonopterus oblongus* no consiste en el gozne de costumbre, sino en articulaciones basadas en un sistema de tornillo y tuerca. Este primer tornillo roscado biológico tiene un tamaño de aproximadamente la mitad de un milímetro y se ha estudiado en detalle utilizando radiación de sincrotrón. El descubrimiento es reportado en el último número de la revista *Science*.



Trigonopterus Oblongus. Fuente: <https://whyfiles.org/2011/biology-as-engineer/index.html>



Vista aumentada del Sistema de articulación y detalle del encastre en la cadera.

Fuente: <https://phys.org/news/2011-07-papuan-weevil-screw-in-legs.html>

“Este tipo de montaje en el movimiento de la pata de los animales es bien inusual, donde grandes áreas de partes del esqueleto se mueven encima de cada pata. La alimentación de la pata se lleva a cabo a través de una incisión muy pequeña en el centro del tornillo”, dice Thomas Van de Kamp, del Instituto de Tecnología de Karlsruhe. En la naturaleza, las caderas y los hombros por lo general se basan en sistemas de bola y cavidad o bisagras, que se pueden utilizar más fácilmente por los organismos. Los tornillos y tuercas se conocen a partir de la ingeniería y se utilizan para la fijación de componentes. “Ahora, hemos encontrado que la naturaleza fue la primera en inventar los tornillos y tuercas, porque los gorgojos han estado utilizando este montaje desde hace unos 100 millones de años”, dice Alexander Riedel del Museo Estatal de Historia Natural de Karlsruhe.

Otro ejemplo, en este caso de mecanismo de locomoción, lo tenemos en el *Issus coleoptratus*, un pequeño saltamontes que, si bien no puede volar, sí puede saltar, y lo hace muy bien gracias a que sus patas cuentan con un mecanismo especial en sus extremidades.

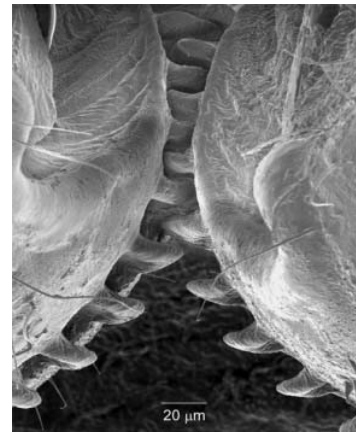
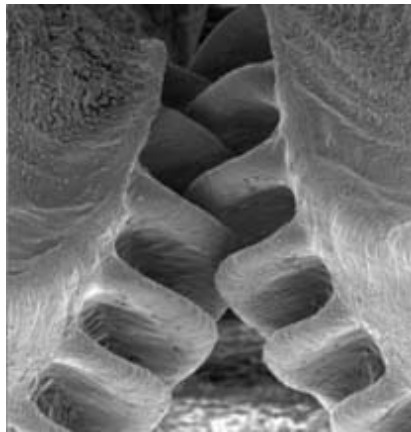
Un grupo de biólogos del Reino Unido, con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido, descubrió que dispone de «engranajes» en la base de sus patas. Es el primer animal del que se sabe que posee unas estructuras en el cuerpo que funcionan como engranajes, los cuales sincronizan el impulso de propulsión de las patas traseras. Este descubrimiento ha sido publicado en *Science*.

No obstante, este mecanismo tiene una vida útil muy reducida, y va desapareciendo a medida que pasa del estado de ninfa al de adulto.

A medida que crece desarrolla distintas técnicas de salto, y sus despegues del insecto se hacen cada vez más rápidos, mientras va dejando atrás los engranajes.



Issus Coleoptratus. Fuente: Malcolm Burrows and Gregory Sutton, University of Cambridge (UK)



Detalle de la articulación de las patas. Fuente:

<https://metro.co.uk/2013/09/12/insects-use-car-like-gear-system-to-jump-higher-new-research-finds-3966098/>

Un grupo de formas muy particulares lo conforman los llamados “fractales”. La Real Academia Española define al fractal como un “objeto geométrico en el que una misma estructura, fragmentada o aparentemente irregular, se repite a diferentes escalas y tamaños”.



Un Pavo Real desplegando su plumaje y detalle



Fractal en un caracol determinado por su crecimiento armónico



Helecho



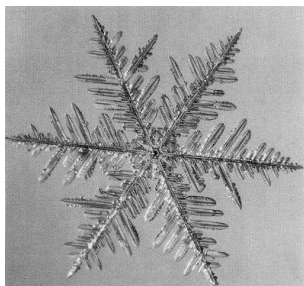
Brócoli



Girasol



Coliflor



Cristal de nieve



Descarga eléctrica

La Naturaleza también nos brinda formas increíbles como las dos que presento a continuación.



SISTEMAS

Un sistema es un conjunto de componentes organizado, que interactúan entre sí, y con un objetivo común.

Es un conjunto de elementos interrelacionados de modo tal que producen un resultado superior a la simple agregación de los elementos y distinto de ella.

- ✓ El todo modifica la Naturaleza de las partes
- ✓ Las partes no se diferencian entre sí dentro del todo
- ✓ Las partes son dependientes entre sí
- ✓ el todo puede ser un conjunto de elementos relacionados entre sí,
- ✓ pero el producto resultante es diferente de los elementos que lo componen,
- ✓ el resultado es superior a la simple agregación de los componentes.

En todo sistema...

- cada elemento está en función de algún otro elemento,
- no existe ningún elemento aislado.

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí funcionalmente, donde cada elemento del sistema está en función de algún otro elemento, no hay ningún elemento aislado, organizados en función de un OBJETIVO común.

Características:

- Estructura: es la condición que cumple todo sistema en cuanto a las relaciones entre sus elementos, donde toda modificación de uno de ellos o de una relación, entraña una modificación de los otros elementos o de sus relaciones.
- Función, esencial en todo sistema: considera la finalidad como requisito previo a toda acción de un sistema, siendo el sistema un objeto dinámico, lleno de operatividad
- Organización: todo sistema está constituido por elementos que tienen relación funcional entre sí produciendo una interdependencia de acuerdo con un conjunto de reglas.
- ❖ Sistémico: A diferencia de lo sistemático incorpora a la solución de problemas su *interdependencia* con el contexto y su capacidad de autocontrol o retroalimentación.

Dos ideas se ocultan en la palabra sistema:

- ✓ la de un sistema como un todo; y,
- ✓ la de un sistema generador

En el primer caso, la palabra sistema se refiere al aspecto particular holístico de una única cosa y se define como *Sistemático*. Es una concepción de sistema que encara la solución de problemas como un proceso *independiente*. En este caso, interesa cómo está compuesto el sistema, cómo funciona, su organización interna, y la interrelación de sus partes.

En el segundo, la palabra sistema no se refiere en absoluto a una sola cosa, sino a un conjunto de partes que interactúa con el entorno, sujeto a leyes combinatorias que lo convierten en un generador de situaciones conexas. Se define como *Sistémico*. A diferencia de lo sistemático,

incorpora a la solución de problemas su *interdependencia* con el contexto y su capacidad de autocontrol o retroalimentación.

Tenemos así, por un lado, un sistema considerado como un todo, que abarca todo el contenido instrumental del proceso, referido al “durante”.

Es decir, el cúmulo de operaciones que le dieron sentido;

- ✓ el procedimiento o modo de ejecutar determinadas operaciones;
- ✓ las operaciones, es decir, la acción y el efecto de operar o realizar una actividad;
- ✓ las acciones, que son el conjunto de tareas;
- ✓ las tareas necesarias para lograr el fin perseguido, para lo cual se hace uso de habilidades o destrezas, propias del actor que ejecuta la acción; y,
- ✓ las actitudes técnicas apropiadas que se aplican para la manipulación del objeto sobre el que se ejecuta la acción.

Por otro lado, tenemos el caso de un sistema generador de nuevos procesos, como resultado del impacto o consecuencia de su presencia en el entorno, sea éste próximo o lejano.

Un sistema generador no es la visión de una cosa única.

Es un conjunto de partes con normas que regulan el modo en que esas partes pueden combinarse (principio sistémico).

Por regla general, cada sistema considerado como un todo está generado por un sistema generador.

Si queremos hacer cosas que funcionen como todos tendremos que inventar sistemas generadores que las creen.

La Naturaleza nos ofrece innumerables ejemplos de sistemas generadores, y de sistemas cerrados.

Recordemos aquí el “*Principio de Dirichlet*”: “*Para que el equilibrio de un sistema cerrado sea estable, bastará que su energía potencial pase por un mínimo*”. La mínima energía potencial para un volumen dado corresponde a la superficie mínima compatible con sus vínculos.

A este principio agregamos el enunciado de la “*Ley de Equipartición de la Energía*” de Curie: “*un cuerpo tiende a adoptar la forma que presente una energía superficial mínima, compatible con las fuerzas de orientación*”.

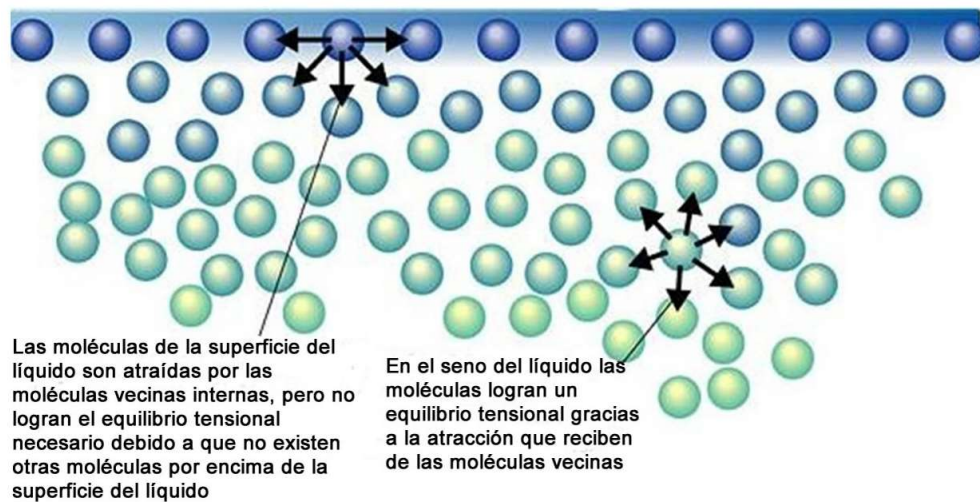
Un ejemplo que aclara estos conceptos lo da la pompa de jabón, cuya forma es la respuesta de equilibrio, compatible con las fuerzas de orientación (sabemos que la presión neumática es isótropa, es decir, que ejerce su acción en forma uniforme, en todas las direcciones posibles).

La membrana jabonosa presenta una respuesta a la presión ejercida por la presión atmosférica que tiende a aplastarla, que se equilibra por la reacción del aire contenido en su interior, que tiende a inflar aún más a la pompa. El resultado es la forma casi esférica que adopta la pompa de jabón suspendida en el espacio.



Pompa de jabón suspendida en el espacio

Refiriéndonos ahora al límite del líquido en reposo, las moléculas ubicadas en su superficie son atraídas por las que se ubican inferiormente, pero sus respectivos campos de influencia trascienden aquel límite.

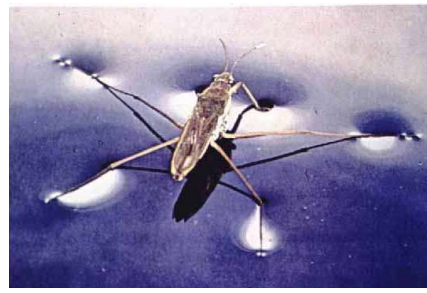
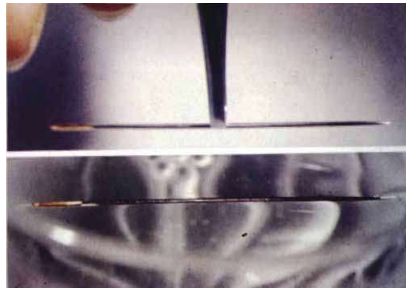


Efecto de la atracción molecular en la superficie de un líquido

Esto produce un desequilibrio en la puja por atraerse mutuamente, ofreciendo una mayor cohesión en las moléculas de la superficie del líquido, que las convierte en una especie de piel.

Si depositamos, en forma horizontal y muy suavemente, una aguja de coser sobre la superficie de un líquido (agua, por ejemplo), veremos que éste resiste el empuje ejercido por el peso de la aguja, impidiendo que se hunda, y le permite flotar libremente sobre la superficie, en una especie de imperceptible lecho rehundido. Un fenómeno similar se tiene en el caso de un pequeño insecto posado sobre la superficie del agua.

Este extraño fenómeno se conoce con el nombre de “*tensión superficial*”.



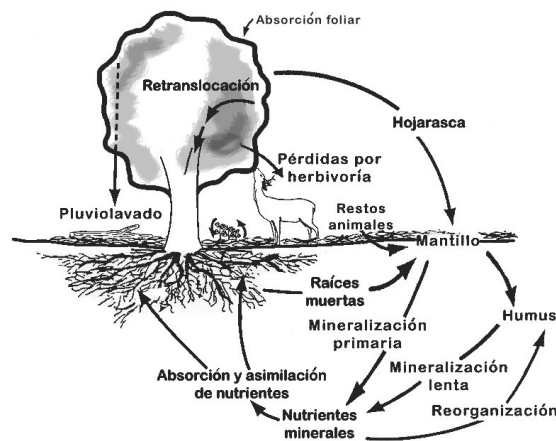
Fenómeno de tensión superficial en un líquido

En los seres vivos, tanto animales como vegetales, también se descubren situaciones similares en las que miembros de una misma especie, o de diferente especie, desarrollan una interacción que resulta beneficioso para el conjunto, que determina un resultado sistémico.

Una situación similar se produce en los bosques, en los que se suelen formar microclimas.

Estos microclimas ayudan a la biodiversidad ya que la una gran variedad de especies que se localizan en ellos crean nuevos hábitats y brindan alimento para otros organismos que hace que éstos sean favorables a la biodiversidad.

Las plantas son la base de la cadena alimentaria en los ecosistemas terrestres. Son las primeras en la cadena y una pieza fundamental en ésta.



La materia muerta de las plantas y las raíces ayudan a generar la gran parte de la materia orgánica en el suelo de los ecosistemas terrestres.

Las plantas son capaces de alterar el clima ya que humedecen el ambiente y detienen los vientos.

Las plantas actúan como filtro del agua de los suelos, interviniendo en el ciclo del agua depurando cauces o extrayendo agua subterránea.

Un bosque es complejo: arbustos, árboles, enredaderas, musgos, hongos, líquenes, monos, jaguares, carpinchos, escarabajos, hormigas, aves diversas, etc.

Se extienden hacia arriba y hacia abajo, llenando cada recoveco de vida.



Una seqoya

Sólo en esta secuoya se visualiza una comunidad heterogénea y compleja de especies animales y vegetales que comparte y respeta cada una su respectivo espacio de vida.



La comunidad heterogénea y compleja que comparte espacios en una sequoia

La simbiosis es cualquier relación a largo plazo entre dos o más seres vivos, sean de la misma especie o no, vegetales y animales.

Los líquenes representan un convenio entre dos especies vegetales: un alga y un hongo. Cuando se juntan, el alga capta la energía solar, el hongo proporciona un soporte seguro



Liquen: una simbiosis de alga y hongo

La anémona de mar es un animal con tentáculos que despiden un ácido protector, similar al de las medusas.

El pez payaso desprende una mucosidad protectora que impide que el fluido de la anémona lo afecte.

Entre la anémona y el pez payaso se forma una sociedad de ayuda mutua, en la que el pez se protege de los predadores dentro de la anémona, y ésta se beneficia porque recibe limpieza, alimento y oxigenación.



La anémona y el pez payaso

Cada uno de los organismos que participan de una simbiosis se llama **simbionte** (griego: sim, juntos; y *biosis*, vivir).

Si bien en una simbiosis no existe competencia entre las especies participantes, éstas se benefician con alguno de estos logros: mutualismo, gregarismo, colonias, sociedades y familias.

Otras formas de sociedades se da en la depredación y el parasitismo, donde uno de los organismos gana, y el otro pierde, y en el comensalismo, donde uno gana mientras al otro le da igual.

PROCESOS

“No sólo basta conocer las especies, también es importante saber su interrelación, es decir, cómo se ayudan para hacer sus procesos. Toda esta parte es muy interesante para el Biomimetismo y para la humanidad”, afirma Melina Ángel, investigadora colombiana del Biomimicry Institute, Nueva York.

Casi todo lo que hacemos cotidianamente en nuestras vidas está ligado a un proceso: preparar una taza de café, ingresar datos en una computadora; tomar apuntes de una clase; recoger datos para un informe, hacer compras en el supermercado.

Ya sea realizando tareas muy simples como éstas, o también aquéllas muy complejas, como investigar los orígenes de la vida en nuestro planeta, siempre se está participando en alguna clase de proceso.

Las tecnologías, en general, son procesos productivos de bienes y servicios y, como veremos más adelante, también son generadoras de nuevos procesos. No obstante, no todos los procesos son tecnologías.

Si bien proceso y tecnología tienen componentes comunes, no son sinónimos, aunque se desarrollan de la misma manera. La diferencia radica en que las tecnologías tienen un fin específico, producir bienes y servicios, mientras que los procesos tienen una meta, sin una finalidad específica.

Vaya esta modesta introducción aclaratoria, anticipándome al momento en que me referiré a los procesos que se desarrollan en la Naturaleza, porque entonces habrá que establecer expresamente la diferencia de éstos con las tecnologías, que son la respuesta que da la producción humana a las demandas que la propia sociedad plantea para satisfacer sus necesidades primarias, secundarias y triviales.

Los procesos no surgen espontáneamente. Son consecuencia de factores previos que le dan significado y razón de ser. Como tampoco son estériles luego de haberse realizado. Dejan secuelas que podrán ser significativas o no.

Todo proceso tiene un “antes”, causas, motivaciones, decisiones previas, etc., que determinaron su ejecución. Preparar una taza de café estará motivada por el deseo de disfrutarlo, ya sea solo o en compañía, ir al cine para ver una determinada película estará inducido por la recomendación de algún amigo, o la publicidad previa vista en la televisión, etc.

El “durante” de todo proceso es el desarrollo del proceso mismo.

Una vez concluido el proceso, su sola ejecución habrá dejado consecuencias, que podrán ser inocuas o no, dependiendo de la intensidad propia del proceso. Esto es el “después” de todo proceso.

En todo esta conjunto de “momentos” habrán participado variados componentes: actores (personas, insumos, etc.), acciones (operaciones, tareas, caja negra o transparente, etc.), y resultados (consecuencias, impactos, etc.).

Generalmente son las personas, aunque no siempre, los actores que ejecutan la acción, motivados por esas consideraciones previas que componen el “antes”.

En la acción se hace uso de los insumos (información, materiales, recursos, etc.), necesarios para lograr la meta que condicionó el desarrollo del proceso.

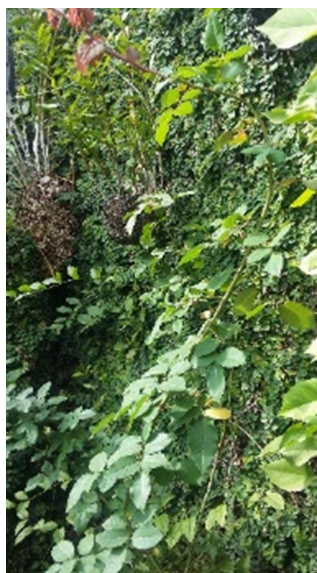
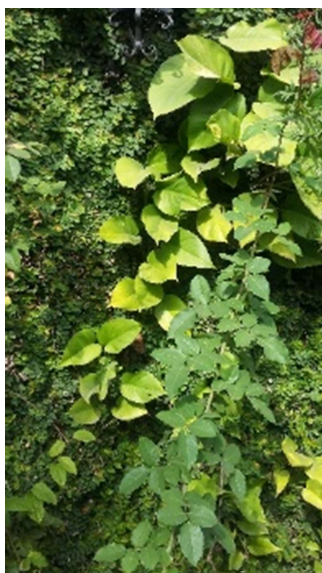
El proceso se inicia con la incorporación de los insumos, y finaliza cuando se alcanza la meta propuesta. A partir de este momento comienza otro proceso, consecuencia de aquél, en el que se producen situaciones diversas, inocuas o no, según sea la implicancia y gravedad del proceso realizado. Estas situaciones corresponden a la transferencia de los resultados logrados, los impactos que produce en su entorno, las consecuencias y derivaciones que se concretan en nuevos procesos.

Una vez concluida la acción, una vez obtenido un resultado, éste produce efectos en su entorno.

Aun cuando no le demos un uso específico al resultado, el hecho de permanecer vinculado a su entorno, ya está produciendo un efecto. Y este efecto es el motor generador de un nuevo proceso, consecuencia de la presencia del resultado obtenido en el proceso anterior.

Estos impactos, consecuencias, derivaciones, etc., son los factores esenciales que se deberán tener en cuenta, cuando se trate de analizar un proceso.

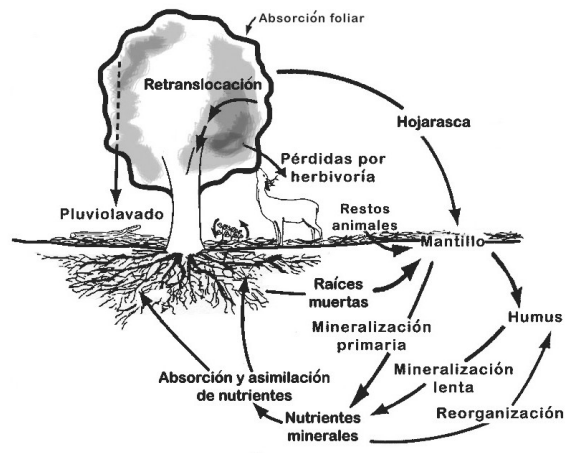
Hice una aclaración hace un instante, en cuanto a que no siempre el actor de una acción es una persona. También existen procesos desarrollados por animales, las plantas, el clima, o algún mecanismo tecnológico aplicado para el logro de algún resultado.



Al visitar un bosque descubrimos el ingenioso colector solar de la naturaleza.

Las hojas se distribuyen a fin de maximizar la exposición, y algunas se inclinan y giran a medida que el sol atraviesa el cielo.

Este proceso de eficiencia proporciona energía a todos los seres vivos



Ciclo de conservación de la

A partir de sus experimentos, Newton (1643 - 1727) enunció su teoría de la emisión, según la cual la luz consiste en partículas materiales y los fenómenos ópticos se deben a interacciones mecánicas tales como atracciones, repulsiones, choques elásticos, etc.



Newton y la descomposición de la luz

En 1704, Newton identificó por primera vez la característica de “*color estructural*” en el plumaje del pavo real.

El color estructural se produce en los animales por la interacción de la luz con moléculas o nanoestructuras de un orden de magnitud similar a la longitud de onda de la luz.

Además de las brillantes plumas del pavo real que describiera Newton, el color estructural se encuentra también en las burbujas de jabón, en algunos charcos en el suelo, en el aceite derramado, etc.

No obstante, el azul es una pigmentación que se da en animales vertebrados y plantas sólo en ocasiones excepcionales.



Tanto en las plumas de un pavo real, en una hoja, como en el insecto, el color es el resultado de la interacción de la luz con su estructura molecular



El color azul característico de las mariposas Morpho azules se debe a un fenómeno físico.

Se estima que existen 174250 especies de mariposas diurnas y nocturnas en el mundo, pero más diverso que el número de especies es la diversidad de patrones y coloración que la evolución ha escrito en sus alas.

Aunque todavía no hay respuestas concretas a este fenómeno, algunos estudios sugieren que ocurre porque se crean compuestos y superficies que reflejen la luz azul, en lugar de absorberla, requieren de sistemas muy complejos y mucha energía para que un organismo vivo pueda producir naturalmente este fenómeno.

Resultados como el del pavo real y las mariposas con su color estructural son una de las formas que tiene la naturaleza para hacernos ver ciertas tonalidades en organismos que, bajo otras circunstancias, no lo tendrían.



Membranas expandidas donde la Naturaleza escribe, como en una tablilla, la historia de las evoluciones de las especies.

Se estima que existen 174250 especies de mariposas diurnas y nocturnas en el mundo, pero más diverso que el número de especies es la diversidad de patrones y coloración que en sus alas ha “escrito” la evolución.

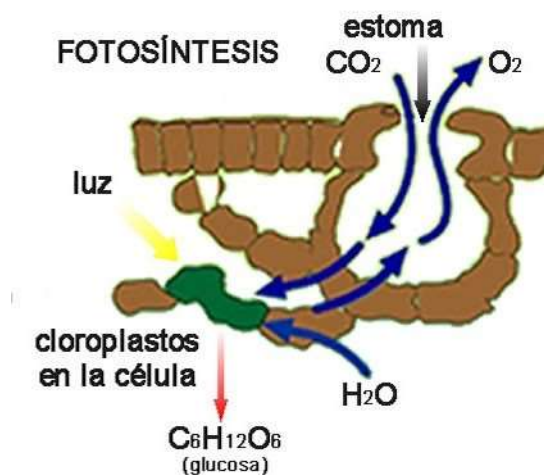


Proceso del ciclo de vida de los vegetales

En la fotosíntesis, las plantas inhalan dióxido de carbono y exhalan oxígeno.

Los animales que respiran inhalan este oxígeno y exhalan dióxido de carbono.

A través de este intercambio, la vida mantiene las condiciones que le son necesarias.



Fotosíntesis

Tomando como ejemplo el modelo cíclico de la naturaleza, la economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción de los elementos: minimizar la producción al mínimo indispensable, y cuando sea necesario hacer uso del

producto, apostar por la reutilización de los elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente.

La economía circular aboga por utilizar la mayor parte de materiales biodegradables posibles en la fabricación de bienes de consumo –nutrientes biológicos- para que éstos puedan volver a la naturaleza sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil.

PALABRAS FINALES

“Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, o sea, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. El desarrollo duradero exige que se satisfagan las necesidades básicas de todos y que se extienda a todos la oportunidad de colmar sus aspiraciones a una vida mejor.” (Naciones Unidas, 1992)

En 1987, las Naciones Unidas encomendó a la doctora Gro Harlem Brundtland, junto a un grupo de científicos, la elaboración de un informe que se dictó bajo la consigna “Nuestro futuro común”, que luego se hizo conocido con el nombre de “Informe Brundtland”. Con este documento se dio comienzo a un nuevo paradigma en la protección de nuestro planeta, centrado en la Biomímesis (de Bio = vida, y mímesis = imitación). En septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, centrada en la sostenibilidad económica, social y ambiental. La Arquitectura compartió estas innovaciones conceptuales aportando propuestas acordes: arquitectura sostenible (o sustentable), arquitectura biomimética (o bioinspirada), y actualmente complementadas con la idea de una arquitectura resiliente. En síntesis, una arquitectura que ofrezca soluciones ambientales acordes con el momento actual, sin descuidar aspectos tales como vida útil, ahorro energético, valor residual, huella de carbono, etc.

Entre otras recomendaciones, el Informe Brundtland fundaba la tesis del desarrollo duradero, que exige que se satisfagan las necesidades básicas y que se extienda a todos la oportunidad de colmar sus aspiraciones a una vida mejor, en el sentido de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las de las generaciones futuras.

En este precepto aparecen dos conceptos destacables: el DERECHO y los LÍMITES.

El derecho que tienen los habitantes de la tierra de hacer uso de los recursos naturales y los límites como condición fundamental de resguardo para ser transferido a las generaciones futuras en igual sentido.

Se trata de disponer de lo dado por la Naturaleza de manera racional, tomando recaudos para su conservación y reproducción, posibilitando así que las generaciones futuras también puedan hacer uso de ellos.

En 2015, en el Septuagésimo Período de Sesiones de las Naciones Unidas, realizado en la ciudad de Nueva York (USA), se aprobó el Documento Final de la Cumbre de las Naciones: *“Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”*.

La Agenda 2030 propone un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad, contenidos en 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Estos objetivos contienen 169 metas y 231 indicadores.

Son UNIVERSALES, porque constituyen un marco de referencia universal para ser aplicado a todos los países, lo que significa que deben enfrentarse a innumerables retos comunes e individuales.

Son TRANSFORMADORES, porque constituyen un programa dirigido a todo el planeta, en particular a los humanos que lo habitan, para brindarles prosperidad y paz y promover alianzas

entre los Estados. El modelo tradicional de desarrollo deja lugar a un desarrollo sostenible, preocupado por la economía, la sociedad y el medioambiente. En resumen, el desarrollo sostenible se centra en las personas y el planeta, tomando como eje principal el de los derechos humanos y la dignidad de las personas.

Son CIVILIZATORIOS, porque la Agenda 2030 se orienta hacia una sociedad que priorice el respeto universal hacia la igualdad, desechando la discriminación, tanto entre los países como en el interior de ellos. El concepto de igualdad se refiere a la responsabilidad de todos los Estados, respetando, protegiendo y promoviendo los derechos humanos, sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de otro tipo, tanto de origen nacional o social, propiedad, nacimiento, discapacidad o cualquier otra condición.

Debemos lograr una relación armoniosa entre los seres humanos y la Naturaleza, reconociendo que la Armonía con la Naturaleza es fundamental para lograr un verdadero desarrollo sostenible, para proteger la biodiversidad; modificar las modalidades de consumo y producción; combatir los efectos adversos del cambio climático; poner fin a la contaminación por plásticos; construir comunidades resilientes; y, reducir la desigualdad en las generaciones presentes y futuras.

La ARQUITECTURA no puede estar ajena a este compromiso que impone RESPETO y RESPONSABILIDAD

Como arquitectos, componedores de espacios habitables, cumplimos un rol excepcional que nos compromete ante las necesidades de la sociedad y la protección de nuestro planeta.

Los arquitectos contamos con las herramientas necesarias y adecuadas para contribuir en esta empresa de características globales.

En diversas ocasiones los arquitectos hemos dado muestras de nuestra disposición para generar proyectos y ofrecer soluciones que, a mediano y largo plazo, han servido para mitigar eventuales desastres, como desbordamiento de ríos, inundaciones, sismos, tsunamis, etc.

Sin embargo, a pesar de ofrecer soluciones, son innumerables las veces en que la arquitectura no es convocada, no obstante ser, entre varias otras, una disciplina con profundas connotaciones sociales.

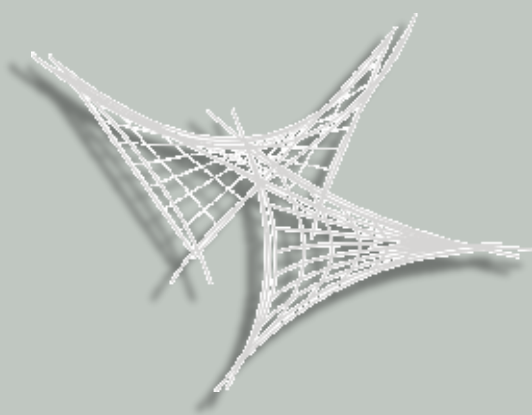
Como profesionales, debemos abordar el análisis sobre estas contingencias, haciendo uso de nuestra capacidad de respuesta, reflexionando y expresando firmemente nuestra convicción de que somos capaces de brindar soluciones adecuadas a estas eventualidades.

Debemos reconocer la importancia indiscutible que representa lograr una relación armoniosa entre los seres humanos y la Naturaleza, estableciendo como meta vivir en Armonía con la Naturaleza. Así, podremos lograr un verdadero desarrollo sostenible.

En pocas palabras, debemos mantener una permanente acción tendiente a proteger la biodiversidad y el respeto de los ecosistemas, adoptando nuevos y adecuadas modalidades de consumo y producción, combatiendo los efectos adversos del cambio climático, poniendo fin al uso discriminado y persistente de plásticos de modo de evitar la contaminación medioambiental, adoptando recursos tecnológicos innovativos para construir comunidades resilientes, y reduciendo la desigualdad en las generaciones presentes y futuras, respetando sus derechos de usufructuar los beneficios que brindan los recursos naturales del planeta.

BIBLIOGRAFÍA

- BENYUS, Janine M. (2012): Biomímesis. Cómo la ciencia innova inspirándose en la naturaleza. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.
- GHYKA, Matila C. (1953): Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes. Buenos Aires (Argentina): Editorial Poseidón
- PACIOLI, Luca (1946): La divina proporción. Buenos Aires (Argentina): Ed. Losada.
- PEARCE, Peter (1979): Structure in nature is a strategy for design. Cambridge (Massachusetts, USA): The MIT Press.
- SANTIBÁÑEZ SAUCEDO, Susana I. (2007): Biodiseño. Aportes Conceptuales de Diseño en las Obras de los Animales. Tesis doctoral, Facultad de Arte de la Universidad de Barcelona.
- SAUTOY, Marcus du (2009): Simetría, Un viaje por los patrones de la naturaleza. Barcelona (España): Acantilado Cuaderns Crema, S.A.U.
- SKINNER, Stephen (2007): Geometría Sagrada. Madrid (España): Gaia Ediciones
- VEDOYA, Daniel E. y HERMIDA, María del C. (2013): Principios básicos para la estructuración del espacio. Corrientes (Argentina): Ediciones del ITDAH.
- WAGENSBERG, Jorge (2006) A más cómo, menos por qué. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.
- WAGENSBERG, Jorge (2004): la rebelión de las formas. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.
- WAGENSBERG, Jorge (2002): Si la naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?. Barcelona (España): Tusquets Editores S.A.



**Ediciones del
ITDAHu**

Av. Maipú 228- (3400)
Corrientes (Rep. Argentina)