

## Patrones en la Naturaleza y su aplicación al diseño

### Autor:

MSc. Fabricio Vanden Broeck, [vandenbro@yahoo.com.mx](mailto:vandenbro@yahoo.com.mx)  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

### RESUMEN

La Naturaleza es una fuente inagotable de soluciones a problemas estructurales, funcionales y constructivos entre otros muchos, ya que sus formas son el resultado de un largo proceso evolutivo y de adaptación que favorece aquellas más eficientes, aquellas que logran más con menos.

Se podría pensar, a priori, que la cantidad de formas y soluciones que vemos en la Naturaleza es infinita. En realidad lo que vemos son variantes sobre algunos cuantos temas, principios y patrones constructivos que constituyen el andamiaje de todas las formas de la Naturaleza y que nos interesa entender en la medida en que como diseñadores, desarrolladores y planificadores estamos sometidos a las mismas reglas que determinan las formas y soluciones en la Naturaleza.

Algunos de estos son:

#### - Flujos

Toda energía y materia fluye según ciertos patrones, como resultado de la confrontación de fuerzas internas con externas.

#### - Tensión superficial

Este fenómeno determina una serie de geometrías de acomodo compacto y antecede a la aparición de las geometrías platónica y arquímedea.

#### - Craquelamientos

Resultan de la ruptura gradual de equilibrios en combinaciones inestables y representan el mapeo en el tiempo de la búsqueda de equilibrios sucesivos.

#### - Apilamiento compacto

Se caracteriza por geometrías de acomodo en el espacio.

#### - Efecto de escala

El cambio de escala es un fenómeno que condiciona directamente el funcionamiento de cualquier organismo u objeto, así como su configuración.

La forma refleja un equilibrio particular de funciones que se altera con el cambio de dimensiones.

### SUMMARY

*Nature is an inexhaustible source of solutions for structural, functional and constructive problems -among others- due to the fact that forms in Nature are the result of a long evolutive process of adaptation that favours those most efficient, those achieving more with less.*

*One could easily assume that the variety of forms and solutions in Nature is infinite. In fact all are derived from the combination of a few schemes and constructive patterns underlying all shapes in Nature.*

*As designers, constructors, developpers and planners, we are confronted to the same constructive laws that determin forms and solutions in Nature and therefore should better understand the logic behind patterns such as, among others:*

**- Fluids**

*All matter, as well as energy, flows as a result of the interaction of intrinsic and extrinsic forces.*

**- Superficial tension**

*This phenomena determines a series of geometric patterns related with compact arrangements in space and precedes platonic and archimedean geometries.*

**- Crackeling patterns**

*They occur as a result of successive changes of state in unstable material combinations and they represent the sequence of successive equilibrium.*

**- Compact spacial arrangements**

*Related to economy of space geometries.*

**- Scale effect**

*Change of scale is a phenomena that directly affects the functioning of all organisms and objects, as well as their shape.*

*Form in Nature is always a result of a particular balance in an ever changing environment.*

## **INTRODUCCIÓN**

Toda forma en la Naturaleza está determinada por la interacción y el balance entre fuerzas intrínsecas (centrifugas) y fuerzas extrínsecas (centrípetas).

Toda forma es un equilibrio entre estos dos sistemas de fuerzas.

Por ejemplo, en un copo de nieve las opciones de formas externas son controladas por la simetría interna del acomodo atómico, y la forma particular adoptada por un cristal es determinada por la acción del medio (temperatura, presión, humedad, etcétera).

Detrás de la aparente diversidad de las manifestaciones de la Naturaleza, existe una unidad debido a que éstas resultan de la combinación de unos cuantos principios constructivos básicos, asociados a unas formas básicas de las cuales se derivan todas las demás.

## **Flujos**

Al igual que la energía, toda materia fluye amoldándose a los esfuerzos externos, acusando una confrontación dinámica con su medio.

Nuestra percepción de que la materia es sólida está condicionada por el breve periodo de observación al que la sometemos.

C. Williams plantea que si se le concede el tiempo suficiente, toda la materia resulta fluida:

“La geología como estudio del tiempo y de la materia, ve cómo la rígida estructura de la superficie terrestre se levanta, se incorpora, se pliega y se desliza, igual que una sábana agitada por el viento. La visión del geólogo es desde una perspectiva de billones de años, tras la cual el panorama de las formas terrestres pasa como relámpago”.<sup>11</sup> Williams, Christopher, *Los orígenes de la forma*, Gustavo Gili, Barcelona. 1984.

En general, la materia sufre un proceso ininterrumpido de fluidez, inducido por las fuerzas del medio.

---

Este fenómeno se relaciona con la cantidad de energía presente en la materia, misma que permite una mayor o una menor actividad molecular.

A cierta temperatura, el hierro se vuelve líquido: acusa una gran actividad molecular y deformabilidad; toma la forma del recipiente que lo contiene. Se encuentra en estado fluente y puede estirarse sin perder su cohesión. Todo esto debido a la energía térmica absorbida que provoca la excitación de sus moléculas. Estas vibran alejándose unas de otras: su materia se ha dilatado con respecto al estado sólido. Al bajar la temperatura, disminuye la actividad molecular, el hierro comienza a cristalizarse, el espacio intermolecular se reduce formándose una red cristalina: se dice que el material es un sólido.

Las cargas lentas también transmiten energía a un sólido y, a la larga, lo hacen fluir (vencimiento de una estructura o escurrimiento en un material).

### **Las formas fluidas**

El agua es el arquetipo de los fluidos, y sus características la relacionan con ciertas formas:

#### **- Esfera**

En cualquiera de sus manifestaciones, el agua tiende a minimizar su superficie en relación a su volumen y, según T. Schwenk, en última instancia, tiende a adoptar una forma esférica.

Un charco, como un lago, es una manifestación del agua en situación estable. El agua, al circular sobre un terreno, busca siempre depresiones que le permitan estabilizarse y almacenarse minimizando así su relación superficie/volumen.

#### **- Meandro**

La forma en meandro de un río es, según T. Schwenk, un equilibrio entre la tendencia natural del agua a formar una esfera (tendencia contractiva) y la acción de la fuerza de gravedad que jala al agua hacia abajo: según el autor, el meandro manifiesta, en cada curva, la intención de retomo hacia arriba, finalmente vencida por la gravedad.

#### **- Helicoide**

T. Schwenk explica que la forma de meandro de un río está sustentada por movimientos revolventes más finos: el agua en la superficie de un río fluye del interior hacia el exterior de una curva en donde se sumerge para regresar por debajo del río y emerger en el interior la siguiente curva, más abajo. Este movimiento, combinado con el movimiento descendiente de la corriente del río, forma, según T. Schwenk, dos sistemas independientes de flujos helicoidales.

#### **- Espiral**

Las superficies de interfase que aparecen en el contacto dinámico de dos fluidos de diferente naturaleza, velocidad, temperatura o densidad, generan vórtices.

Los vórtices conforman involuciones localizadas que viajan con la corriente general, pero de manera relativamente aislada, creando un momentáneo espacio diferenciado.

T. Schwenk nos dice que las involuciones son un proceso fundamental ligado a la formación de estructuras orgánicas (invaginación, gastrulación, etc.).

En los espacios formados por las involuciones se genera un microambiente propicio al desarrollo orgánico.

#### **- Ramificaciones**

El agua, nos dice Schwenk, es el elemento circulatorio, el lazo de unión entre sistemas.

En la Naturaleza se observa la tendencia de las corrientes de agua a interconectarse. Los ríos

fluyen a partir de fuentes diferentes y, por su dinámica, tienden a juntarse formando una red ramificada. En última instancia, todos los ríos llegan al mar y, dada la forma esférica de la Tierra que constituye una superficie continua, todos los flujos de agua están interconectados. En el hombre el sistema circulatorio es uno solo e interconecta a todos los órganos.

## Tensión superficial

La tensión superficial está asociada a la capacidad contractiva de un líquido que, oponiéndose a las fuerzas disociativas externas, produce formas específicas.

En ciertas fases de la interacción de un fluido con otro (agua / gas; membrana celular / citoplasma) observamos una relación contenedor-contenido asociada a un patrón, la agregación celular, en donde el fluido más denso juega el papel de contenedor del fluido menos denso, esto sin perder su cohesión.

La tensión superficial mantiene en cohesión las moléculas del agua en la superficie de contacto con el aire u otro fluido. A esa fuerza contractiva se asocia una serie de superficies mínimas características del agua a un cierto nivel de observación: las superficies de revolución de Plateau.

## Superficies de Plateau

Las superficies de revolución de Plateau, relacionadas entre sí, surgen todas de curvas derivadas del cono: la elipse, el círculo, la recta, la parábola y la hipérbola.

Si se genera un sólido de revolución a partir de la trayectoria de uno de los focos de una elipse que se desplaza rotando sobre una línea, se obtiene un **onduloide**.

El centro de un círculo rodando sobre una recta describe una recta. El sólido de revolución generado por la segunda recta, con respecto al eje de traslación, es un **cilindro**.

La recta puede considerarse un caso particular del círculo. Cada uno de sus extremos genera, al rodar sobre una línea, una serie de semicírculos que, revolucionados con respecto a la recta, forman unas esferas tangentes.

La parábola produce, en revolución con respecto a un eje, una superficie llamada **catenoide**.

La hipérbola genera una superficie llamada **nodoide**, difícil de visualizar y que consiste en una superficie con involuciones.

De hecho, en la Naturaleza y en los fenómenos cuyo comportamiento es análogo al de los líquidos, se presentan estas diversas superficies, por separado o relacionadas. La salpicadura es un modelo en donde observamos la transición del cilindro a la esfera, pasando por el onduloide.

A un nivel relativamente micro de observación, el agua agitada interactúa con el aire formando burbujas en donde la presión del aire es compensada por la tensión superficial del agua. Se puede visualizar mejor este fenómeno agregando jabón al agua, lo cual aumenta su viscosidad y confiere mayor estabilidad al fenómeno.

Cada burbuja tiene dos superficies, una interna y otra externa. Dos burbujas separadas tienden a unirse ya que cada una minimiza su superficie al poner una parte de ésta en contacto con la otra.

El acomodo de las burbujas de jabón en conglomerado, regido por la tendencia a la minimización de superficies, responde a unas reglas geométricas y matemáticas muy precisas. La intersección de los conglomerados flotantes sobre la superficie que los soporta (agua por ejemplo) forma patrones geométricos caracterizados por uniones triples.

Las tangentes a los segmentos curvos que convergen en cada unión conforman ángulos de

120 grados. Cuando las burbujas son todas iguales, el patrón geométrico es una red hexagonal.

En el espacio, las burbujas dentro de un conglomerado generan uniones cuádruples que tienden a formar ángulos de  $109^{\circ} 28' 16''$ . Cuando todas las burbujas son iguales y se encuentran apiladas en el espacio, se forman **rombododecaedros**.

### **Craquelamientos**

Aparecen en emulsiones (por ejemplo tierra con agua) cuando las fuerzas externas vencen a la fuerza contractiva (p. ej.: tensión superficial), que daba cohesión a la emulsión. El proceso de vencimiento de la fuerza contractiva es un proceso gradual en el que los craquelamientos se suceden jerárquicamente: primero aparece una escisión primaria, luego varias secundarias, y muchas más terciarias después, etc...

Se establece un nuevo equilibrio con la formación de módulos separados por uniones triples y ángulos que tienden a los 90 grados. A la unidad (líquida) sucede la multiplicidad (sólida) por división.

De manera análoga, los asentamientos humanos se efectúan siempre gradualmente, siguiendo etapas parecidas a las de la formación de un craquelamiento: los primeros asentamientos se dan a los lados del camino de acceso al lugar seleccionado para el asentamiento, camino que se vuelve el eje del desarrollo del asentamiento, la principal vía de acceso y abastecimiento, como lo son los ríos importantes en Europa (Rhín, Danubio, Sena, etcétera).

Con el tiempo y el crecimiento del asentamiento aparecen las primeras vías secundarias, generalmente a  $90^{\circ}$  con respecto a la vía principal.

Seguirán luego las vías terciarias, paralelas a la principal y así sucesivamente.

Al final se conformará un esquema jerarquizado con características muy cercanas a las de los craquelamientos que observamos en la Naturaleza.

### **Apilamiento compacto**

Se caracteriza por la búsqueda de economía de espacio promovida por la acción de fuerzas externas sobre varios elementos semejantes. Las piedras tienden a acomodarse entre sí del modo más compacto posible, minimizando los intersticios, lo que implica un acomodo cuatrapeado.

Sobre el plano, el apilamiento compacto de una serie de círculos elásticos que son comprimidos hasta eliminar los intersticios, forma una red hexagonal caracterizada por uniones triples.

En el espacio, las esferas comprimidas definen geometrías según el grado de compresión y de acomodo. De aquí se deriva el concepto de modularidad.

El hombre se ha tenido que enfrentar muy temprano en sus construcciones a la noción de módulo, es decir la unidad-base que permite, por apilamiento o yuxtaposición, la construcción de un conjunto de dimensiones mayores.

El ejemplo más obvio de esto es el ladrillo, inventado por los sumerios, aún vigente hoy en día.

Problemas de almacenamiento y de administración de un espacio reducido encuentran soluciones en este patrón de organización espacial.

### **Efecto de Escala**

El cambio de escala es un fenómeno que condiciona directamente el funcionamiento de cualquier organismo u objeto (así como su configuración). La forma refleja un equilibrio particular de funciones que se altera con el cambio de dimensiones.

D'Arcy Thompson hace notar que, aunque los crecimientos lineal, superficial y volumétrico son parte de un mismo fenómeno, uno atrae más la atención que el otro: un pez, al doblar su largo, multiplica su peso por ocho, por lo menos, y basta con que aumente su tamaño de 10 a 12 cms para duplicar su peso.

En la Naturaleza, así como en la Técnica, a cada uno de los componentes dimensionales de un objeto (dimensión lineal, superficie y volumen) vienen asociadas funciones diferentes. El peso, por ejemplo, es directamente proporcional al volumen. La resistencia mecánica lo es a la superficie; de ésta dependen también los intercambios energéticos con el medio. En consecuencia, un objeto que funciona adecuadamente a cierta escala se comportará diferentemente cuando sea transportado a otra, ya que se altera el precario equilibrio funciones/dimensiones.

Esto implica la necesidad de asociar, a un cambio de escala, cambios formales que restablezcan el equilibrio inter-funcional original.

### **Estructura y escala**

De dos estructuras similares, la más grande es la más débil debido a que, con el crecimiento, disminuye la superficie por unidad de volumen y, por lo tanto, la resistencia.

Galileo mostró que en una manzana que crece, el peso aumenta en relación a la superficie resistente (la sección del tallo del fruto) y que, debido a la progresión de la relación  $V/S$ , la manzana termina por caer, al romperse el tallo.

En las estructuras óseas de dos cuadrúpedos estructuralmente similares pero de diferente tamaño, se observan, en el más grande, huesos proporcionalmente más anchos, solución que adopta la naturaleza para compensar el exceso de peso general en relación a la resistencia del esqueleto. Los animales grandes tienen extremidades relativamente cortas y gruesas (patas y cuello). Los árboles son susceptibles a momentos de flexión y Euler demostró que el diámetro de una columna debe aumentar con la potencia  $3/2$  de la altura. Esto explica el perfil logarítmico de los grandes árboles como el roble, mismo que constatamos en la torre Eiffel.

A medida que las estructuras crecen en tamaño disminuye su resistencia relativa. Si en las estructuras pequeñas la amenaza es externa (cargas vivas), en las estructuras grandes el peligro viene de dentro, de la carga muerta. Los antiguos romanos, según J. E. Gordon, apilaban jarrones de barro dentro de los muros de sus construcciones, disminuyendo así sensiblemente las cargas muertas. Esta solución es precursora de las estructuras celulares (sandwich) en las construcciones modernas.

### **Tamaño e intercambios con el medio**

Todo intercambio con el medio, a saber: alimentación, respiración, eliminación y disipación de calor, es función directa de la superficie.

En los animales de sangre caliente, es decir, de temperatura constante, la producción de calor es proporcional a la masa y compensa la pérdida por irradiación, proporcional a la superficie. La relación pérdida/producción proporcional a  $S/V$ , aumenta inversamente al tamaño.

El animal pequeño produce más calor (por unidad de masa y en relación al tiempo) que el grande, compensando así la mayor pérdida de calor debida a su mayor superficie por unidad de volumen. Para esto, debe comer con mayor frecuencia ya que tiene una masa menor, y

---

esto, a su vez, implica un mayor gasto de energía de trabajo (la musaraña enana come al día dos veces su peso).

En otros términos, el animal pequeño tiene un metabolismo relativamente alto que condiciona su existencia; se consume más rápidamente, invierte gran parte de su tiempo en buscar alimento y comer. Un animal de sangre caliente más pequeño que la musaraña no puede existir, ya que la pérdida de calor superaría su capacidad de producción de energía. En los insectos, el exoesqueleto es impermeable y sellado para reducir al mínimo la pérdida energética por irradiación.

### **Locomoción y tamaño**

Según Spencer, citado por D'Arcy Thompson, de dos peces similares de tamaño diferente, el pez grande tiene ventajas para desplazarse con respecto al chico, ya que la energía disponible para la locomoción es proporcional a su masa mientras que la fricción (resistencia al avance) es proporcional a la superficie.

*E ese orden de ideas, los barcos petroleros tienden a adoptar proporciones gigantescas (supertankers), minimizando así la superficie de fricción por unidad de volumen transportado, reduciendo significativamente el consumo de combustible.*

### **Funciones y tamaño**

Desde un punto de vista estrictamente funcional, no existen diferencias entre una amiba y un elefante. Los dos organismos cumplen con las mismas grandes funciones: alimentación e intercambios metabólicos, reproducción y desarrollo, locomoción, eliminación de residuos del metabolismo, protección, coordinación y comunicación. Lo hacen según los mismos principios, pero las soluciones específicas cambian porque cambia el tamaño. La amiba presenta una forma adecuada a su escala, que le permite optimizar la relación superficie—volumen en términos de intercambios con el medio y de estructura.

A medida que la Naturaleza produce organismos más grandes, la solución “amiba” sufre cambios: la membrana presenta diferenciaciones localizadas, rigidizaciones, e inclusive las áreas de contacto con el exterior se calcifican para cumplir con los requerimientos estructurales, mientras que en ciertas zonas permanece elástica y se expande por medio de involuciones internas complejas para satisfacer las necesidades en alimentación o en respiración: de manera paulatina aparece una diferenciación funcional que culminará con la aparición de órganos especializados.

Los caparazones (de crustáceos e insectos) son variantes articuladas de la “membrana original”.

Con la aparición de formas más grandes surgen necesarios cambios cualitativos: la introducción de un endoesqueleto rígido que, combinado con una membrana externa elástica, la piel, asegura protección con estructura de peso notablemente reducido.

Con la creciente diferenciación los mecanismos se complican y se especializan, pero los problemas se resuelven siempre con base en el mismo principio original. Con la complejidad surge la necesidad de un sistema nervioso central que coordine todos los subsistemas, mismo que, a partir de un cierto tamaño, requerirá para su óptimo funcionamiento de una temperatura constante, apareciendo entonces los animales homeotérmicos.

No podríamos concebir una amiba del tamaño de un elefante o viceversa, y esto por razones funcionales.

Sencillez no es sinónimo de primitivismo, así como complejidad no equivale a optimidad. En este sentido, es importante recordar que la Naturaleza tiende a resolver sus problemas con las soluciones más económicas y sencillas.

---

La complejidad aumenta en proporción a la masa y, en proporción a ésta, decrece la capacidad de adaptación al cambio, condición *sine qua non* de supervivencia. El mecanismo de división celular no es más primitivo que la reproducción sexual, es simplemente menos complejo y, de hecho, los dos mecanismos tienen lugar simultáneamente en los organismos superiores.

### **Aplicaciones / Estudios de caso**

#### **Huesos y estructuras**

La estructura de los huesos es uno de los temas recurrentes de interés debido a que las estructuras ligeras se han vuelto una imperante necesidad en el campo de la construcción. Los huesos, como las conchas y caparazones, son estructuras muy sofisticadas que solucionan problemas con el mínimo de material.

#### **Pterigoides de pitón**

Desprovisto de miembros anteriores, el pitón cuenta con un sistema cráneo-maxilar que le permite atrapar y tragar animales cuya talla supera, por mucho, el tamaño de su cabeza. Logra esto por medio de una piel extremadamente elástica y de un sistema de huesos, articulados entre sí, que permiten una gran libertad de movimientos.

Los músculos principales que accionan la mecánica craneal convergen sobre un hueso, el pterigoides, haciendo de éste una de las piezas más expuestas a cargas. Estas cargas son muy importantes ya que el grado de libertad de los elementos del cráneo es compensado por un gran volumen muscular.

A pesar de su aparente fragilidad, la estructura del hueso pterigoides está óptimamente resuelta. Estudios de la tipología de cargas a la cual los músculos lo exponen, fueron confrontados con la forma del hueso, gracias al sistema de estática gráfica, llegándose a la conclusión de que la forma es consistente con la función.

Pruebas empíricas con base en la tensión superficial, llevadas a cabo con agua jabonosa, demostraron que el hueso constituye una estructura mínima (en términos de material). La forma del pterigoides, resultado de la interacción de *tres curvas senoidales*, ofrece las siguientes características estructurales:

- En el sentido longitudinal el hueso se divide en dos partes, de manera que siempre hay una trabajando en compresión y la otra en tensión, dirigiendo los esfuerzos hacia el centro geométrico del hueso.
- La estructuración sinoidal es una solución particularmente eficaz para absorber los momentos de torsión generados por esfuerzos que no estén alineados con el eje de la estructura (lo cual generalmente es el caso de las situaciones dinámicas).

Las senoides confieren al hueso tensiones internas en diferentes sentidos que, en contradicción unas con otras, generan, en conjunto, una estructura pretensada, con características a la vez de elasticidad y resistencia.

#### **Semillas voladoras**

Los vegetales han desarrollado sistemas de dispersión de las semillas para maximizar el área de diseminación y, con esto, las posibilidades de éxito de germinación. Existen diversos tipos de dispersión, entre las que destaca el vuelo.

### **Vuelo por rotación helicoidal**

Existen varios sistemas de vuelo en el reino vegetal. Uno de estos, sobre todo en semillas relativamente grandes y pesadas, es el vuelo helicoidal. El giro del ala produce una sustentación que frena la caída de la semilla.

El trayecto varía según las semillas, siguiendo en unos casos una helicoide cilíndrica y en otros una cónica. Esta última optimiza la función del sistema: alejar el punto de impacto con el suelo de la vertical del punto de desprendimiento. Pero, en cualquiera de los dos casos, la trayectoria es inducida por el viento, que participa activamente en la dispersión de las semillas. Según H. Hertel, un viento de 16 m/s transportaría una semilla a una distancia de 200 m. cayendo de 10 m. de altura a la velocidad de 0.8 m/s.

### **Sistema de abastecimiento aéreo de zonas de desastre**

En zonas de desastre, como en el caso de un terremoto, la fase más crítica de las necesidades por satisfacer corresponde a las primeras 72 horas después de ocurrida la catástrofe. Los equipos que llegan por tierra permanecen generalmente en la periferia del desastre, en donde la magnitud de las necesidades les impide avanzar hacia el centro.

Una hipótesis de apoyo a la solución de este problema es el abastecimiento aéreo de víveres y medicamentos con base en el sistema de dispersión helicoidal de las semillas de arce. Uno de los aspectos interesantes de este sistema reside en que las semillas tiradas desde un solo punto elevado, tienden a cubrir uniformemente un área relativamente grande de tierra. Se trabajó el principio a nivel experimental con resultados que indican la viabilidad de esta hipótesis a un costo bajísimo, utilizando cartón prensado.

### **Estructuras celulares**

A pesar de ser rígido, el material que constituye a los cactáceos es ligero debido a que combina dos tipos de materiales: unas *fibras largas en forma de banda*, resistentes a la tensión, que se juntan y se separan alternativamente formando huecos que son llenados por un material de baja densidad que juega el papel de separador de fibras.

Este sistema puede ser simulado por bandas de papel unidas en puntos desfasados que generan un sistema altamente resistente.

El estudio de un sistema puede conectarse de repente con una aplicación aparentemente lejana o, por lo menos, en donde la analogía sea menos evidente. En este caso, el tema de estudio sirvió de catalizador y, a través de la modelización, sugiere las posibles aplicaciones.

### **Contenedor de tomates**

Para efectos de transporte los tomates son generalmente aplicados dentro de cajas de madera de forma tal que, debido al peso y a la falta de un sistema adecuado de circulación de aire, se pierde hasta un 20% aproximadamente del contenido de la caja (en general, las camadas superior e inferior).

A partir del principio de refuerzo interno de las cactáceas, se ideó un sistema de empaque de tomates que minimiza los puntos de contacto con el fruto reduciéndolo a tres: dos laterales y uno en la parte inferior. Los tomates asumen el rol de separadores de tiras de papel, dejando espacios que permiten la circulación del aire. Cada camada está desfasada con respecto a la otra y un pequeño suaje permite optimizar el apoyo del tomate en su base.

## **CONCLUSIONES**

El equilibrio en la naturaleza es cambiante y precario y, por lo mismo, difícil de percibir. Es un equilibrio dinámico: lo que vemos ya ha pasado.

El equilibrio no es uno solo, es el conjunto de muchos equilibrios en continuo nacer y morir. Este equilibrio compuesto determina, por medio de los ciclos, los flujos de energía y de materia.

La organización de la naturaleza se sustenta en esta lógica de la eficiencia, del hacer más con menos, del hacer lo máximo con lo mínimo.

Del reencuentro con la Naturaleza y del diálogo renovado que podamos establecer con ésta dependerá nuestra capacidad de afrontar retos cada vez mas complejos y de resolver los problemas de manera amplia para lograr un equilibrio sinérgico con el ambiente, base del desarrollo sustentable.

El estudio de los sistemas naturales puede llevarnos a una nueva visión ecológica, una ecología rescatada del desgaste al que la han sometido los medios, una ecología que nos permita comprender como la materia organiza sus equilibrios dinámicos y cuáles son las formas y patrones que adopta para lograrlo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alexander, R., *Size and Shape*, Edward Arnold Publishers, Londres, 1971.
- Bejan, A., J. P. Zane, *Design in Nature*, Anchor Books, New York, 2013.
- Beljon, J. J., *Gramática del Arte*, Celeste Ediciones, Madrid, 1993.
- Coineau, y Kresling, B., *Les inventions de la Nature et la Bionique*, Hachette, Paris, 1987.
- Feininger, A., *The anatomy of Nature*, Dover, Nueva York, 1956.
- Freeland, J. H., *La búsqueda de respuestas*, Fondo Educativo Interamericano, México, 1984.
- Hertel. H., *Structure, Form, Movement*, Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York, 1966.
- Huyghe, R., *Formes et Forces*, Flammarion, París, 1971.
- Joly, L., *Forme et Signe*, Tricorne, Ginebra, 1980.
- Pearce, P. *Structure in Nature is a Strategy for Design*, MIT Press, Cambridge, 1978.
- Schmidt-Nielsen, K., *How Animals Work*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- Schwenk, Theodor, *Sensitive Chaos*, Rudolph Steiner Press, Londres, 1965.
- Stevens, P., *Patterns in Nature*, Little Brown & Co. Inc., Nueva York, 1976.
- Thompson, W. D'Arcy, *Sobre el crecimiento y la forma*, Hermann Blume, Madrid, 1984.
- Williams, R., *The Geometrical Foundation of Natural Structure, A Source book of design*. Dover Publications, Nueva York 1979.
- Wunderlich, K., y Gloede W., *Nature as Constructor*, Edition Leipzig, 1979.