

LA LEY CONSTRUCTAL

¡SIGUE LA CORRIENTE!

Mathieu Hautefeuille

Parece difícil creerlo, pero el consejo bastante común que nos recomienda dejar fluir y no imponer tanta resistencia a lo que pasa podría ser un principio físico de la naturaleza, ¡una ley, de hecho! Efectivamente, en 1996 Adrian Bejan, profesor de ingeniería mecánica de la Universidad de Duke en Estados Unidos y recién galardonado con la medalla Benjamin Franklin en 2018, afirmó haber descubierto la Ley Constructal. Ella estipula que “para que un sistema de flujo de tamaño finito persista en el tiempo (o sea, para que viva), debe evolucionar para proveer un acceso cada vez mayor a las corrientes que fluyen en él”. Sigue la corriente, pues. Esa ley física ha permitido predecir, no solamente demostrar, muchos diseños, sencillos o complejos, presentes en la naturaleza: desde explicar formas geométricas encontradas en la biología hasta prever una probable evolución de la economía o de los récords de velocidad en las olimpiadas. Gracias al entendimiento de la (todavía poco conocida) Ley Constructal, ingenieros e ingenieras del mundo están logrando diseñar mejores sistemas de transporte, planear redes eficientes de distribución de calor en poblados y ciudades, construir mecanismos de enfriamiento de procesadores para miniaturizar aún más las computadoras. El común denominador en todo lo anterior es sencillo: diseñar los flujos de forma natural.

Pensándolo bien, observando cuidadosamente la naturaleza alrededor, existen muchos sistemas organizados,

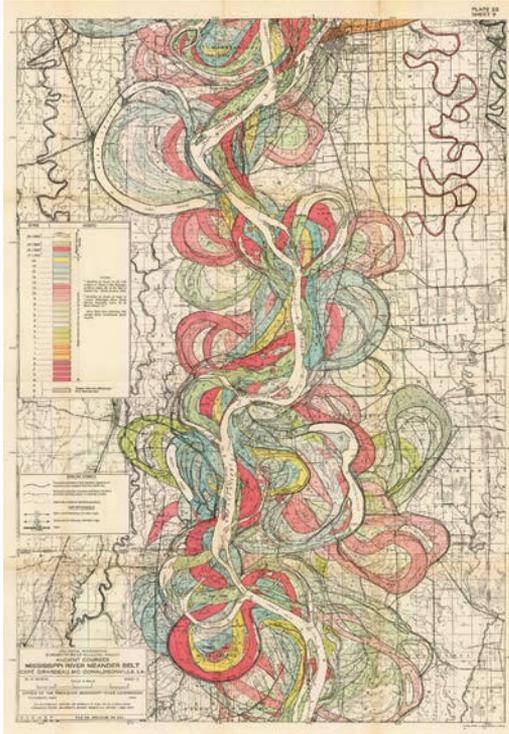
◀ Camilo Golgi, *Bulbi Olfatorii*, Torino, 1837



que parecen seguir un diseño adaptado, optimizado, para su fin. Véase por ejemplo la estructura del panal dentro de una colmena de abejas. Esta forma tan peculiar, bonita, resulta no ser algo que se dejó al azar: todos los compartimentos presentan un patrón hexagonal, geoméricamente ideal para llenar el espacio con el menor esfuerzo, es decir usando la menor cantidad de material para mantener una estructura de almacenamiento. ¿Cómo las abejas lo han podido diseñar así? Pensemos en otras formas naturales, como las estructuras de las conchas de mar, las alas de insectos, el follaje de los árboles o hasta el cauce de un río. Resulta que si buscamos bien, en cualquier escala, en cualquier sistema en el cual fluya algo, parece ser que existe un diseño. Uno de los científicos que más estudiaron las formas naturales fue el escocés D'Arcy Wentworth Thompson Gamgee, conocido como D'Arcy Thompson (1860-1948). Su famoso libro *On Growth and Form* (1917) es todavía muy citado hoy por una amplia comunidad de biólogos, matemáticos y físicos, debido a la alta calidad de las descripciones de diseños naturales que buscaban entender al mundo con un enfoque biomatemático, no solamente catalogar y encasillar las especies. Esta forma novedosa e inspiradora de buscar y explicar las formas observadas en la naturaleza, conjugada con la teoría de la evolución descrita menos de un siglo antes por Charles Darwin, permitió poco a poco dejar de buscar similitudes y analogías en las geometrías y los procesos para, en cambio, utilizar las matemáticas y la física como ciencias para buscar la explicación del origen de los diseños que se repiten a diferentes escalas. La forma proviene del desarrollo, de cómo crece algo, a su vez originado por las múltiples relaciones que tiene la materia en crecimiento

con su ambiente en todo momento. Los seguidores actuales de D'Arcy Thompson, como la bióloga de sistemas Veronica Grieneisen, dicen que "no hay que tratar de buscar respuestas en los elementos separados sino en la interacción entre ellos". Y nuevamente, esto es aplicable y aplicado a todas las escalas, a todo tipo de sistemas. Y justamente es ahí donde Adrian Bejan reconcilia a todos con su Ley Constructal: para explicar una geometría hay que buscar el flujo. Porque si hay flujo (de lo que sea, pero algo que se mueve en el tiempo) entonces crece, "vive" y se observa. Si el flujo se obstruye, ahí se queda.

El desarrollo, el crecimiento, no son lo mismo que la evolución, afirma Bejan, desmarcándose de D'Arcy Thompson. Todo lo que crece se esparce en el espacio disponible, exhibiendo así un flujo, y por lo tanto Bejan llegó a la conclusión de que algo existe si su flujo persiste. No sólo se limita al desarrollo: si algo vive puede "evolucionar para promover un mejor acceso a las corrientes que se le impongan y deben fluir en él". Para entender esta estipulación mejor, se puede pensar en una necesaria adaptación al ambiente, una organización ideal, en la que se usen los materiales que están disponibles, en fin: una especie de diseño que puede y debe cambiar en el tiempo. La evolución, de acuerdo con Bejan, puede observarse a escalas de tiempo más breves que las propuestas por Darwin y D'Arcy Thompson. Veamos el diseño de un río, por ejemplo, que se encarga de regresar el agua al océano, como parte fundamental del ciclo hidráulico: hacia arriba, proviene de la unión de muchos arroyos pequeños, que a su vez provienen de la unión de otras ramificaciones cada vez más pequeñas. A nivel físico, es la colaboración de todas estas corrientes



Harold Fisk, diagrama de variaciones en el cauce del río Misisipi, 1944

la que permite mover el agua más eficientemente. Y Bejan estipula que la Ley Constructal, física en su naturaleza, describe que hay un balance a alcanzar en una organización: “pocos grandes y muchos pequeños”. Usar sólo autopistas para mover personas y cargas de una zona a otra no es la solución, por ejemplo. Un árbol no es sólo un tronco cubierto de hojas: tiene ramificaciones que lo llevan a contar con más ramitas que ramas gruesas. Nuestras vías respiratorias cuentan con una sola tráquea (grande) pero millones de alvéolos (microscópicos) donde realmente se realiza el intercambio entre los gases y la sangre necesario para la vida. La Ley Constructal puede predecir el diseño natural de cada uno de los ejemplos antes mencionados y muchos otros, observando que las leyes físicas universales explican cómo se permite el mejor flujo posible en el espacio disponible. Y justamente de eso se trata: para predecir un

diseño se pone en ecuaciones matemáticas cómo se reparten las corrientes el espacio disponible y el resultado describe la geometría. En el caso de los pulmones, por ejemplo, utilizando el volumen torácico promedio de un ser humano y suponiendo que la selección natural eligió a quienes podían intercambiar eficientemente el aire con la sangre en ese volumen, se pudo calcular a la perfección el número de bifurcaciones que presenta nuestra tubería responsable de dejar fluir el aire, desde la boca hasta los alvéolos. De igual manera, la Ley Constructal puede explicar la forma de las raíces y follajes de los árboles, la forma exacta de los cauces y ramificaciones de los ríos, etcétera.

Demostrando su enorme potencial en aclarar lo que antes se había observado y no se entendía, la Ley Constructal se empieza ahora a aplicar formalmente para construir mejores estructuras de enfriamiento o calentamiento a cualquier escala, diseñar organizaciones sociales o redes de transporte eficientes según la escala de interés. También se utiliza la Ley Constructal en desarrollo de tecnología, de modelos económicos, empresariales, jerárquicos, etcétera. No importa si lo que fluye es la información, el dinero, las personas o los bienes; una vez definida la corriente de un(os) punto(s) a otro(s) que se tiene que promover, se calcula y diseña la red que la permite y la hace eficiente. También es importante no olvidar el punto clave de la Ley Constructal que no había entendido D’Arcy Thompson: los diseños deben cambiar porque el ambiente y las definiciones de los flujos cambian. Entonces las escalas de tiempo de la evolución no son forzosamente muy largas como decía Darwin. Y de hecho otra manera de interpretar la Ley Constructal que nos afecta directamente a

Esta ley no sólo se trata de una cuestión de balance de dimensiones en diseños y geometrías sino también de equilibrio de tiempos.

todos consiste en considerar el tiempo en las corrientes que deben fluir. Efectivamente, esta ley no sólo se trata de una cuestión de balance de dimensiones en diseños y geometrías sino también de equilibrio de tiempos. La configuración del diseño ideal depende claramente también de los tiempos que se tardan los flujos en cumplir su función. En otras palabras, la Ley Constructal dice que el tiempo para desplazar algo lentamente en un camino corto tiene que ser el mismo que para moverlo rápido en una distancia larga ("pocos rápidos y muchos lentos" como analogía a "pocos grandes y muchos pequeños"). De nuevo tomemos un ejemplo claro y cerca de nosotros: en una gran ciudad no nos duele tanto caminar (lentamente) una cuadra para ir por algo que nos falta a la tiendita, pero necesitamos un amplio eje vial para ir (rápidamente) al trabajo,

lejos de casa. En el caso ideal, bien diseñado, así debería funcionar, aunque no es la realidad de todas las regiones que crecieron sin control. Hubo varios intentos para aumentar la capacidad de los ejes grandes de ciudades con problemas de tráfico, como por ejemplo la Ciudad de México, pero no resolvieron los problemas.

Ahora, la Ley Constructal nos permite ser optimistas si la entendimos bien, porque predice que sí se puede organizar mejor cualquier flujo (también el de la circulación)... y eso se hará naturalmente o el flujo tendrá que desaparecer. Porque en la naturaleza, como se ha demostrado, puede haber ciclos pero si algo no sigue la corriente y evoluciona naturalmente para ello, no sobrevive. **U**



Imagen de archivo