

TENSEGRIDAD: Arte, Arquitectura, Biología

Pedro García Barreno

Conferencia de clausura 2010-2011 (SPMYCM)

28 de junio de 2011

En otoño de 1948, mientras experimentaba nuevas estrategias para construir torres modulares flexibles, el joven artista Kenneth Snelson inició una clase de esculturas nunca vista antes. Tan etéreas en apariencia como los *mobiles* de Alexander Calder y sin elementos obvios que soporten peso alguno, sin embargo mantienen su forma y estabilidad. En el verano siguiente mostró cierta estructura —todavía no una escultura— a su mentor, el polifacético y aún no famoso Richard Buckminster Fuller, quién incorporó de inmediato el hallazgo de Snelson como una pieza central de su sistema de sinérgica, y, en ese proceso, se referiría a los nuevos objetos en términos de ‘mis estructuras’. En el proceso de apropiación, Fuller acuñó la denominación por la que hoy se conocen y que hace referencia a su propiedad de integrar la tensión de la estructura confiriéndola estabilidad. El término *tensegrity* —tensegridad— se forma a partir de ‘tensional integrity’: integración tensional o tensión integrada. Las esculturas de Snelson, en que barras o componentes de compresión aparecen como suspendidas en el aire por cables casi invisibles o alambres extremadamente finos, pueden admirarse por todo el mundo. Valiosos juguetes —tensegrijuguetes— infantiles y para adultos, y figuras decorativas utilizan los mismos principios que las tensegridades originales de Snelson. También los futuros tensegrirrobot operarán con esos mismos principios. Aunque podría argüirse que las primeras tensegridades no fueron hechas por humanos: una tela de araña es una estructura de tensegridad (tensegridal), aunque sin partes rígidas o componentes de compresión.

En resumen, se establece un sistema de tensegridad cuando un conjunto discontinuo de componentes de compresión interacciona con otro conjunto continuo de componentes de tensión, para definir un volumen estable en el espacio. Los componentes de una estructura de tensegridad están siempre en tensión o sometidos a compresión. Los componentes tensiles suelen ser cables o elementos elásticos, y los componentes de compresión secciones de tubos. Los componentes de tensión forman un entramado continuo, con lo que las fuerzas de tensión se transmiten instantáneamente a través de toda la estructura. Los componentes de compresión son discontinuos, con lo que solo trabajan localmente; dado que no transmiten cargas a distancia no están sujetos a la carga global de la estructura con lo que pueden ser más gráciles sin sacrificar la integridad estructural. En palabras de Richard Buckminster Fuller, las estructuras tensegridales son «islas de compresión en un océano de tensión».

La teoría celular de tensegridad fue, inicialmente, un modelo intuitivo, utilizándose estructuras tensegridales preestresadas, construidas de palillos y de gomas elásticas para visualizar el concepto. Sin embargo, tan simples construcciones remedaban fielmente el comportamiento celular. Por ejemplo, la célula y su núcleo, en un modelo esférico de tensegridad, se comportan de manera coordinada: cuando la célula se adhiere a una superficie rígida, el núcleo se desplaza hacia la base (se polariza), tal como sucede en una célula en cultivo. La formulación matemática del modelo de tensegridad celular representó el salto cualitativo que afianzó la teoría. La primera formulación teórica del modelo asentó la idea de que la arquitectura (la disposición espacial de los elementos de soporte) y el preestrés (el nivel de tensión isométrica) en el citoesqueleto son las llaves para que la célula sea capaz de estabilizar su forma. El análisis conjunto de los resultados obtenidos señala que la formulación actual de la teoría celular de tensegridad, a partir de modelos todavía simples, predice con eficacia numerosos comportamientos mecánicos estáticos y, más sorprendente, insinúa ciertos comportamientos dinámicos.

Está bien establecido que la forma celular es importante para la función de las células adheridas. Numerosos estudios apuntan a que fuerzas mecánicas a nivel del citoesqueleto juegan un importante papel regulador. Se han propuesto diversos modelos mecánicos microestructurales

del citoesqueleto para explicar cómo tales fuerzas inducen la distorsión del perfil celular: entramados esponjosos abiertos, redes de cables preestresados y modelos tensegridales. Estos modelos utilizan diferentes mecanismos microestructurales para resistir la deformación.

Huesos, músculos y tendones utilizan tensegridad para autoestabilizarse. El corazón y los pulmones son estructuras preestresadas sobre la base de fuerzas de distensión (fuerza hemodinámica y presión de aire). Las arquitecturas neurales cerebral y de la retina o la del cristalino están también gobernadas por fuerzas tisulares internas, en este caso generadas en el citoesqueleto de sus células constitutivas. Las fuerzas en esos tejidos y órganos están soportadas por una rígida MEC y por fuerzas de contracción opuestas generadas por células vecinas. Por ello se separan los bordes de una herida o colapsa una estructura anatómica al ser lesionada. Pero la jerarquía tensegridal no acaba en el nivel celular. El citoesqueleto interno, que se comporta como una estructura de tensegridad, se conecta con el citoesqueleto submembranar, en la periferia celular, y con el andamiaje nuclear, en el centro de la célula; una estructura que se extiende por toda la célula gobernando múltiples funciones básicas. Las tres estructuras tensegridales subcelulares —citoesqueletos submembranar e interno, y el núcleo— pueden actuar de manera independiente, pero cuando se acoplan mecánicamente funcionan como un sistema tensegridal jerarquizado. Ello hace que la compleja estructura de la cromatina, donde ADN e histonas protegen códigos genético y epigenético, pudiera incorporar un tercer código, tensegridal, regulado por la interacción entre el citoesqueleto interno y el andamiaje nuclear. En resumen, el modelo de tensegridad celular ha incorporado el concepto que células, tejidos y otras estructuras biológicas de mayor y menor tamaño, exhiben comportamiento mecánico integrado sobre la base de compartir una arquitectura de tensegridad. El reconocimiento de que la naturaleza utiliza estructuras preestresadas y geodésicas a escalas celular y subcelular sugiere que las estructuras de tensegridad son manifestaciones de un principio de diseño común.