

INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS*

por **Carlos Eduardo Solivéz****

Versión del 12 de junio de 2010

* La versión original fue publicada en la revista *Novedades Educativas* N° 163; Buenos Aires (Argentina); julio de 2004; pp. 12-15.

** Dr. en Física y Diplomado en Ciencias Sociales. Véase esbozo biográfico en <http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Usuario:Csoliverez>.

La siguiente propuesta pretende iniciar el desarrollo del concepto de estructura a partir de las propiedades y aplicaciones del componente más simple y estable de las estructuras portantes: la triangular.

Introducción

Cada cuerpo de conocimientos tiene conceptos y métodos que le permiten abordar de manera más eficiente los problemas de su ámbito. Los docentes usamos constantemente el concepto de **estructura** en campos sumamente variados (estructura ósea, molecular, social...), pero lo hacemos de manera implícita y sintética, sin explicitar su enorme potencia ni analizar sus rasgos. En las tecnologías (y también en disciplinas tan dispares como la Psicología, la Gramática y la Biología), el concepto permite identificar características comunes a objetos aparentemente muy diferentes. La noción de estructura es, asimismo, el fundamento tácito del diseño y fabricación de todo tipo de artefactos técnicos. Como Bruner tan bien señalara, *saber cómo está armado un objeto vale más que mil hechos sobre él*.¹ Mi experiencia docente indica que es muy difícil, sino imposible, introducir el término de manera puramente abstracta. Aún en el nivel terciario —donde supuestamente ya tienen bien desarrolladas las indispensables destrezas intelectuales de pensamiento formal²— los educandos encuentran enormes dificultades en asimilar el concepto de estructura. Esta falta de asimilación se pone claramente de manifiesto en la imposibilidad de transferirlo, en la incapacidad de identificación de los componentes básicos (elementos y relaciones) de estructuras diferentes de las dadas en clase. Se memoriza fácilmente la definición de estructura, lo que no sirve para nada porque no se sabe reconocerla ni describirla. Se requiere, entonces, un proceso que introduzca la noción de modo gradual y casuístico, el muy citado pero poco usado desarrollo espiralado señalado por Vygotski.³

El propósito del presente trabajo es mostrar como iniciar este proceso de construcción a partir del concepto muy concreto de **estructura portante**, ejemplificado por uno de sus componentes esenciales: la estructura triangular. El proceso así iniciado en EGB 1 puede servir de base al desarrollo en EGB 2 del concepto más general de estructuras espaciales (por ejemplo, polígonos y poliedros) y la identificación de sus componentes esenciales (los elementos y relaciones, por ejemplo, aristas y ángulos), para luego pasar al concepto más abstracto, como en las estructuras sintácticas que se trabajan en los niveles EGB 3 y Polimodal de Lengua.

¹ Bruner, Jerome; *In search of mind. Essays in autobiography* (En busca de la mente. Ensayos autobiográficos); Harper Colophon Books; EE. UU.; 1984; p. 183.

² Ver, por ejemplo: Labinowicz, Ed; *Introducción a Piaget: pensamiento, aprendizaje, enseñanza*; Fondo Educativo Interamericano; México; 1982; pp. 60-70.

³ Vygotski, Lev S.; *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*; Crítica; Barcelona (España); 2000; p. 92.

Estructuras portantes

Por ser muy usada en el rubro de la construcción, la acepción más divulgada de estructura —tomada por muchos como su definición excluyente— es la correspondiente a estructuras portantes. Este tipo de estructura tiene la función de soportar pesos (cuyo prototipo es la armadura que sostiene un tejado, en Argentina frecuentemente denominada “cabriada”, ver Figura 1) o de mantener unidas entre sí piezas (cuyo prototipo es el chasis de un automóvil o aparato). Los siguientes son algunos tipos comunes de estructuras portantes: andamio, arco, armadura, armazón, bastidor, carcaza,⁴ chasis, embalaje, esqueleto interno, exoesqueleto, ménsula, montura, puente carretero o dental, soporte, sustentáculo... Es un buen ejercicio discutir qué sostiene o mantiene unido cada uno, así como agregar ejemplos.⁵ No deben confundirse las estructuras portantes con contenedores como las mochilas, ollas, portafolios o vasijas de cualquier clase. La discusión de los rasgos comunes y diferenciales de ambas categorías ayuda mucho a fijar el concepto. Algunos de los rasgos a tener en cuenta para esta comparación son: si las partes están sueltas o fijas; si la estructura es interior, exterior o ésto es indiferente; si los materiales a usar deben ser rígidos o flexibles.

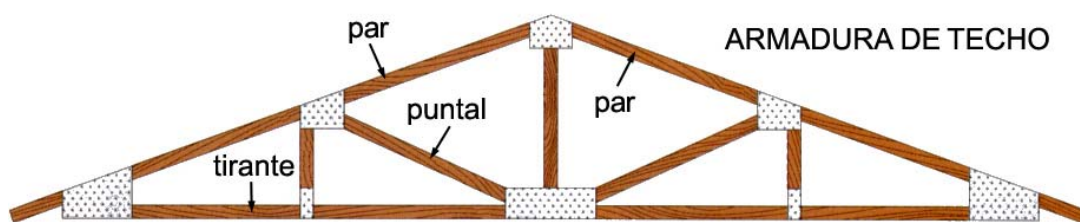


Figura 1. Estructura portante de un tejado.

La más sencilla y estable (en el sentido de “difícil de deformar”) de las estructuras portantes planas es la triangular, razón por la cual tanto la común armadura de techo como las complejas cúpulas geodésicas están hechos de estructuras triangulares. Si analizamos cuidadosamente la Figura 1 descubriremos que la armadura está compuesta de una estructura principal triangular formada por 2 vigas de madera inclinadas (los dos *par*s que soportan directamente el tejado) y una horizontal (el *tirante*). Esta estructura está a su vez reforzada por 6 estructuras triangulares obtenidas mediante la fijación con piezas metálicas apropiadas (las punteadas de la figura) de 5 maderos más cortos. Esta estructura, si se hace de madera dura y sección suficientemente grande, es capaz de soportar, por ejemplo, el enorme peso de una cubierta de tejas.

⁴ Argentinismo que designa la estructura que mantiene unidas las partes de algunos aparatos, como los motores eléctricos.

⁵ Se discuten detalladamente algunos casos de estructuras portantes (las únicas consideradas) en el librito de Terry Jennings *El joven investigador. Estructuras*, Ediciones S. M., Madrid (España), 1986.

Cometeríamos un gravísimo error didáctico si creyéramos que la exhibición de la figura o la reiteración de las afirmaciones del párrafo anterior bastan para la asimilación de la estabilidad de las estructuras triangulares. Recién cuando el educando deba construir una estructura portante estable, como el bastidor de un telar, descubrirá el problema. El concepto es prototípico de los que requieren ser trabajados de manera concreta, sensorial y operativa: por experimentación y descubrimiento. Proponemos para ello una secuencia de actividades que pueden y deben ser trabajadas en diferentes niveles educativos, actividades que —cómo es usual en Educación Tecnológica— requieren y trabajan simultáneamente saberes de otras áreas. En este caso, por tratarse de estructuras espaciales, los conocimientos básicos requeridos son los de la Geometría; al mismo tiempo, al mostrar su utilidad, pueden motivar el interés por su estudio. Recordemos que un hecho central de la Teoría de la Enseñanza es que la adquisición de los saberes espontáneos, los que las personas son capaces de adquirir por sí mismas fuera de la escuela, está motivada por su valor práctico cotidiano.

Construcción de estructuras simples con canutillos e hilos de coser

Se puede construir fácilmente y sin costo tanto estructuras planas como tridimensionales usando canutillos para sorber gaseosas (en Argentina llamados “pajitas” o “sorbetes”) e hilo común de coser. Para ello se pasan trozos de hilo suficientemente largos por el interior de sucesivos canutillos, anudándolos en vértices adecuados. Ilustramos el método, para el docente, con la construcción del tetraedro de la Figura 2. Se forma el primer triángulo pasando un hilo sucesivamente por el interior de los canutillos 1, 2 y 3 y anudando sus extremos. Se sujetan luego, de manera similar, los canutillos 4 y 5 al 3 del triángulo precedente, formando así dos triángulos articulados sobre el mismo eje (el lado 3). Se forma finalmente la base del tetraedro uniendo el canutillo 6 a los lados 2 y 5 (o 1 y 4) — pasando siempre el hilo a través de todos los canutillos involucrados.

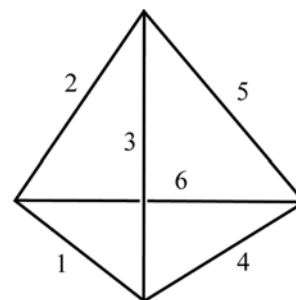


Figura 2. Construcción de un tetraedro.

Es muy difícil pasar los hilos por el interior de los canutillos sin el auxilio de una herramienta apropiada. Es un valioso desafío plantear el diseño y construcción de la herramienta que permita hacerlo: un alambre fino (como los usados en las florerías) con un ojajillo en la punta. Esta parte de la actividad ilustra de modo concreto la necesidad y viabilidad de la fabricación de las propias herramientas de trabajo, destreza esencial para los artesanos.

La actividad anterior era de preparación del docente. Para iniciar el proceso de construcción del concepto de estructura en los educandos propóngales la construcción con el método anterior de las siguientes dos estructuras planas: un triángulo y un cuadrado. Una vez hechas, pídeles que verifiquen la estabilidad de cada una de ellas. Los más pequeños seguramente se sorprenderán al descubrir la indeformabilidad del triángulo y la imposibilidad de mantener la forma cuadrada sin accesorios (por ejemplo, esquineros) que fuercen la conservación de los ángulos rectos. Éste es un ejemplo de lo

que Piaget denominaba *conflictos cognitivos*, la imposibilidad de comprensión de un hecho en base a los saberes preexistentes y la consiguiente promoción de la adquisición de nuevos saberes.

Para verificar la asimilación del concepto de estabilidad de las estructuras triangulares, es decir, la capacidad de los educandos de transferirlo a situaciones diferentes de las directamente experimentadas, plantéelos los siguientes problemas:

- 1) ¿Qué elemento le agregarían a la estructura cuadrada para hacerla más estable? Construyan la nueva estructura verificando su propuesta (hipótesis).
- 2) ¿Cuales creen que es el más estable de los poliedros regulares? ¿Por qué? Constrúyanlo, así como algún otro poliedro regular (el más simple después del tetraedro es el cubo) y compárenlos.
- 3) ¿Se les ocurre un método general para hacer totalmente estable un polígono construido con canutillos e hilos?

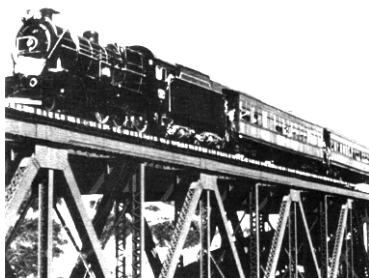


Figura 3. Puente ferroviario.

La respuesta al primer problema es obviamente la formación de subestructuras triangulares mediante el agregado de una diagonal. Como la longitud de una diagonal es mayor que la de un lado y los canutillos típicamente tienen la misma longitud, se requiere disminuir por recorte los lados del cuadrado. Para calcular el factor de disminución se requiere el uso del Teorema de Pitágoras, problema de nivel EGB 3, Polimodal o

Terciario. Los más pequeños pueden encontrarlo por prueba y error, recorriendo paulatinamente los canutillos que forman los lados (todos a la vez para asegurar su igualdad) hasta que la longitud del no recortado coincida con la diagonal del cuadrado. La técnica de formación de triángulos para estabilizar estructuras portantes es muy frecuente y puede verse en todo tipo de estructuras de acero, de las cuales la más famosa es la torre Eiffel. Son ejemplos comunes los puentes ferroviarios como el que se ilustra en la Figura 3 y el apuntalamiento de los postes esquineros de cualquier alambrado rural, pero basta mirar con cuidado a nuestro alrededor, en cualquier lugar que estemos, para encontrar uno equivalente. Los soportes de un estante (ménsulas) son un ejemplo, busque otros.

La respuesta al segundo problema es el tetraedro, único poliedro regular cuyas caras son todas triángulos. Es improbable que los niños más pequeños —que difícilmente hayan visto un tetraedro— encuentren por sí solos la respuesta. Será necesario entonces darles pistas como *¿Y si probamos enganchando triángulos?* u otras similares. La realización más común de esta estructura es el trípode, que tiene además la virtud (consecuencia de la interesante propiedad geométrica *tres puntos definen un plano*) de que siempre queda bien asentado, por irregular que sea la superficie base. Las estructuras de este tipo también son sumamente comunes. Por ejemplo, los tensores que sostienen cualquier estructura delgada y muy alta (en Argen-

tina denominados “vientos”), como una antena de radio, definen un tetraedro alargado (pirámide triangular). Nótese que tanto en el caso bi como en el tridimensional, la estabilidad no requiere que los triángulos formados sean equiláteros (revisa la Figura 1).

La respuesta al tercer problema, que esbozaremos al final de este trabajo, es la base de la construcción de cúpulas geodésicas como la de la Figura 5.

Explicación de la estabilidad de las estructuras triangulares

Durante los más de 500.000 años de su evolución, a partir de las primeras herramientas de piedra, las tecnologías fueron descubiertas por azar y desarrolladas por ensayo y error. Es muy reciente la comprensión de que tan pronto se supera la etapa más rudimentaria estos métodos son ineficaces. Es necesario, por ello, crear en los educandos la conciencia de que las experiencias exclusivamente sensoriales y motrices, la experimentación, no es suficiente para el buen desarrollo de las tecnologías, se requiere también un análisis racional. Esto permitiría, si las hubiera, usar estructuras alternativas apropiadas al problema portante a resolver. Para ello —en EGB 3, Polimodal y Terciario— les planteamos el siguiente problema:

La dificultad de deformación de un triángulo, ¿ proviene de propiedades geométricas del triángulo, de las propiedades físicas de los materiales con que está hecho o de una combinación de ambas? Justifiquen su respuesta de la manera más racional posible.

Las estructuras triangulares hechas de materiales rígidos (como los canutillos) son capaces de mantener invariable su forma aunque las uniones en los vértices no sean rígidas, como se verificó experimentalmente en las actividades anteriores. Triángulos hechos de materiales flexibles, por ejemplo sólo de hilo, no tienen esta propiedad. Sin embargo, no basta la rigidez de los lados para hacer al polígono indeformable, como se vió con el cuadrado.

Cuando uno de sus lados(dos vértices) está sujeto y se aplica en el vértice restante una fuerza cualquiera, las estructuras triangulares tienen la propiedad (sólo demostrable en cursos avanzados de Mecánica) que los lados libres no experimentan torsiones, sólo compresiones o tracciones. Ningún otro polígono tiene esta propiedad, razón por la que su uso es tan generalizado en la industria de la construcción. Los demás polígonos, como los cuadrados, requieren esquineros para mantener invariable su forma (es decir, los ángulos en los vértices) y hay técnicas para su fácil construcción en el aula que esperamos exponer en otro trabajo. Este tipo de explicación física no es viable en un nivel secundario o terciario. Proponemos, en cambio, algo mucho más sencillo, para lo cual es necesario acotar el contexto dando pautas como las del párrafo siguiente.

Para que una estructura poligonal de lados rígidos pueda deformarse es necesario poder variar sus ángulos internos manteniendo constante la longitud de los lados. Entonces, la pregunta a contestar es: ¿se pueden variar los ángulos internos de un triángulo sin variar la longitud de sus lados?

Se trata de un problema geométrico cuya respuesta negativa se justifica con la construcción de la Figura 4.

Se parte del lado de longitud a comprendido entre los vértices P y Q . Sean b y c las longitudes de los dos lados restantes, el primero con vértice común con el primero en P y el segundo en Q . Se traza la circunferencia de centro P y radio b , primero, y luego la de centro Q y radio c . Estas circunferencias, indicadas con líneas de trazos en la figura adjunta, se intersectan a lo sumo en dos puntos, aquí denotados 1 y 2 . Por lo tanto, hay a lo sumo dos triángulos, los $PQ1$ y $PQ2$ de la figura adjunta, cuyos lados tienen longitudes a , b y c . Ambos triángulos tienen los mismos ángulos internos y no hay posibilidad de pasar de uno a otro o de deformarlos sin variar la longitud de por lo menos uno de sus lados.

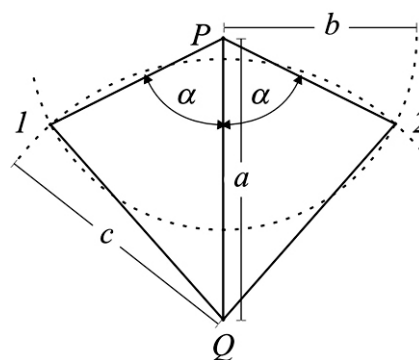


Figura 4. Construcción de un triángulo dados sus lados.

En conclusión, la explicación de la estabilidad de los triángulos es una combinación de propiedades geométricas (imposibilidad de variar los ángulos internos sin variar la longitud de los lados) y físicas (debido a que la rigidez del material impide cambiar la longitud de los lados).

La cúpula geodésica



Figura 5. Esfera geodésica de Epcot Center.

La culminación de las estructuras portantes basadas en triángulos es la esfera o cúpula geodésica inventada por el arquitecto estadounidense Richard Buckminster Fuller (1895-1983). Está basada en la estructura del icosaedro truncado inventado por el geómetra griego Arquímedes (287-212 aC),⁶ la forma de la pelota olímpica de fútbol. Las caras de este poliedro son exágonos y pentágonos cuyos ángulos interiores se estabilizan mediante pirámides triangulares. El resultado es una estructura extremadamente liviana y resistente, como la del Epcot Center que se muestra en la Figura 5. He marcado allí, para mejor comprensión de la estructura, un pentágono y un exágono, ya que las pirámides triangulares son claramente visibles.

⁶ Ver, por ejemplo, Ghyka, Matila C.; *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes*; Editorial Poseidón; Buenos Aires (Argentina); 1953; pp. 87-95.

Reflexiones didácticas finales

Además de ilustrar el desarrollo espiralado del concepto de estructura (reintroducción en diferentes niveles escolares), las actividades muestran claramente la combinación de procedimientos (experimentación, técnica de construcción usando canutillos e hilos), conocimientos (razonamientos sobre propiedades geométricas de triángulos y tetraedros) y de actitudes (motivación por la necesidad de resolver conflictos cognitivos). El principal aspecto didáctico es que todos los contenidos y actividades están centrados, como debe ser siempre en la Educación Tecnológica, en la resolución de un problema práctico: la construcción de estructuras portantes efectivas y su reconocimiento en contextos familiares, preferentemente no escolares. Se recalca y se proponen modos de evaluar la asimilación del concepto mediante su aplicación a situaciones diferentes de las ejemplificadas en clase, verificación imprescindible para no cometer el error de fomentar un conocimiento meramente memorístico. Finalmente, nótese que se evita cuidadosamente el error de comenzar las actividades con una definición de estructura portante, solamente se dan sus rasgos semánticos esenciales.⁷ El desarrollo espiralado requiere que la definición no sea el punto de partida sino la meta final del proceso de construcción personal del concepto del cual el presente trabajo es sólo el comienzo.

⁷ El método de conceptualización basado en rasgos semánticos está detalladamente descrito en Pittelman, Susan D. – Heimlich, Joan E. – Berglund, Roberta L. – French, Michel P.; *Trabajos con el vocabulario. Análisis de rasgos semánticos*; Aique; 1991.