

Título **Aprender y enseñar estructuras.**
Autores Ricardo Aroca
Medio "Geometría y proporción en las estructuras"
Fecha 2010/09/10

Aprender y enseñar estructuras.

Cuando inicié mi camino como funcionario docente de estructuras, uno de los temas obligados en las oposiciones era "memoria, método y fuentes" en el que uno debía plantear cómo pensaba abordar la docencia, espero haber escrito algo razonable (al menos el tribunal debió considerarlo así).

Ahora que el benefactor estado me libera, a la fuerza, de un trabajo que me ha gratificado todos estos años, y ya sin la obligación perentoria de comenzar otro curso que además tenga que encajar con los demás, intento una vez más esta reflexión sobre aprender y enseñar estructuras, sin la obligación de agradar a ningún tribunal.

No estoy en absoluto arrepentido de haber dedicado buena parte de mi vida a intentar enseñar estructuras, me he divertido siempre y no hay mejor estímulo para aprender, que la necesidad de tener las cosas lo bastante claras como para explicarlas a otros.

Enseñando se aprende mucho, no tengo tan claro si pasa lo mismo oyendo clases, pero recordando mi época de estudiante sólo tengo la sensación de haber aprendido con muy pocos profesores y he procurado, probablemente sin éxito, ser uno de ellos para mis alumnos.

No trato de hacer un discurso compacto y voy a seguir varias líneas de pensamiento; la primera sobre el aprendizaje y su relación con las clases, que creo aplicable a la mayor parte de las disciplinas.

- Aprender y enseñar-

El aprendizaje es una cuestión personal, uno aprende realmente cuando "se da cuenta de algo". Recuerdo cuando estudiábamos geometría descriptiva en Ciencias Exactas en el ingreso antiguo; aprendíamos las técnicas de representación en diversos sistemas, abatiendo planos, etc., con una casuística muy amplia y una mecánica ingeniosa pero no fácil, hasta que de pronto un día veías la cosa en el espacio y todo adquiría sentido por encima de los trucos técnicos, algo así como "saber montar en bicicleta", que se sabe de pronto y una vez que sabes ya no se olvida.

No recuerdo un caso tan claro de tener la sensación de haber aprendido algo y ser capaz de usarlo para algo distinto de examinarme; y desde luego mi aprendizaje de las estructuras ha sido

mucho más laborioso y con momentos de comprensión mucho menos claros, bastantes de ellos cuando ya era catedrático y había conseguido adquirir el hábito de intentar siempre ver las cosas de la manera más sencilla y saber lo menos posible.

En español e inglés hay dos vocablos diferenciados: enseñar (teach) y aprender (learn), (en francés, se utiliza el mismo verbo “apprendre” para ambas cuestiones). Los docentes enseñamos y procuramos hacerlo de forma que nos resulte satisfactoria y nos dé buena imagen ante los colegas: clases ordenadas y rigurosas que eviten ejemplos ambiguos, en las que todo encaja y cualquier decisión debe ser consecuencia de un proceso lógico (y si es posible inevitable). Medimos el aprendizaje mediante exámenes en los que preguntamos alguna de las cosas que hemos tratado de enseñar, rehuendo, más aún si cabe, las cuestiones ambiguas.

El aprendizaje es una experiencia personal, uno aprende cuando hace suyo un problema que le lleva a plantearse preguntas y, o bien encuentra la solución, o bien le cuentan algo que le ayuda a encontrarla. (Durante unos años, en un curso de especialidad hicimos la experiencia, traumática para los que la sufrieron, de proponer de forma sistemática las prácticas antes de explicar la teoría, conseguimos salir con vida, pero no nos atrevimos a repetir la experiencia).

La realidad es que las circunstancias:

- Tiempo limitado y
- Compatibilidad del tiempo del alumno con otras materias

Hacen que nos pasemos las clases dando respuestas a preguntas que los estudiantes no se han planteado nunca, cuando lo que deberíamos hacer es crear las condiciones para que se planteen preguntas (las preguntas son más importantes que las respuestas) y que entiendan, además, que tratamos de cuestiones relevantes y útiles, lo que choca con la natural desconfianza de quienes llevan oyendo lo mismo desde que empezaron en preescolar y han podido comprobar que casi nunca era cierto.

- La enseñanza de las estructuras-

La enseñanza de las estructuras tiene además unos problemas específicos:

Existe un cuerpo de conocimiento muy sedimentado que permite predecir de manera suficientemente aproximada el comportamiento de cualquier estructura, pero salvo escasas excepciones, es preciso definirla previamente. Ahí se entra en un terreno más inseguro e incómodo y que en consecuencia tendemos a evitar, cuando precisamente el objetivo de la enseñanza debería ser aprender a tomar las decisiones previas, teniendo unos criterios para decidir materiales, tipos y medidas, en un contexto generalmente bastante complejo.

El hecho de que los procesos constructivos sean con frecuencia determinantes en la decisión, añade otra variable más al problema y propicia el que, huyendo de la incertidumbre, la enseñanza se centre en los procesos de análisis (sustituyendo con frecuencia además la palabra por “cálculo”, como si fuera un proceso que a partir de unos datos produjera la estructura y no la simple comprobación de unas decisiones previas).

Si además tratamos de conceptualizar al máximo para ganar rigor y tiempo, acabamos operando sobre un conjunto de líneas, triangulitos y muelles que no tienen ninguna relación, que el alumno pueda vislumbrar, con el objeto físico que es una estructura real.

A esto se añade el que la indudable ventaja de que pueda razonarse el comportamiento de las estructuras mediante modelos matemáticos de forma rigurosa y compacta se torna un inconveniente, ya que desde que las matemáticas fueron exiladas de la “cultura” en el siglo XVIII (cualquiera puede afirmar que no entiende nada de matemáticas sin ser tenido por inculto), el que haya razonamientos matemáticos en una disciplina la clasifica automáticamente como “difícil” a ojos de los estudiantes.

La consecuencia es que hay que buscar la forma de plantear el proceso enseñanza-aprendizaje, de manera que se cree en los alumnos la esperanza de que van a aprender cuestiones realmente útiles que les ayudarán a comprender mejor uno de los aspectos de la realidad en la que opera el arquitecto, les abrirá posibilidades y les dará seguridad en su lucha por dar forma a las cosas.

- El estado de la cuestión en cuanto al conocimiento de estructuras-

Para entender la cuestión procede una breve aproximación al proceso histórico de la relación del conocimiento de estructuras con la arquitectura.

Hasta el siglo XIX la arquitectura se manejaba con reglas de proporción, aunque desde mediados del XVII tras la publicación en 1638 de la obra de Galileo “Diálogo de dos nuevas ciencias”, comienza el análisis científico del funcionamiento estructural que progresa de forma independiente de la mano de matemáticos.

Durante el siglo XIX se produce la conexión entre los modelos matemáticos y las estructuras reales, impulsado en la segunda mitad del siglo por los nuevos materiales y las nuevas construcciones: puentes, estaciones de ferrocarril, etc.

A principios del siglo XX ya existe teóricamente la capacidad de predecir el comportamiento de cualquier estructura. El problema es que no es posible resolver el sistema de ecuaciones que formaliza el modelo matemático que la representa más que si se recurre a simplificaciones, bien del modelo, bien de la propia realidad física de la estructura.

A mediados del siglo XX el desarrollo de los ordenadores permite progresivamente manejar el aparato matemático de modelos cada vez más complejos, lo que cambia completamente las reglas de juego, ya que la resolución de las ecuaciones había sido la preocupación dominante de todo el siglo anterior, y en la actualidad pese a que los materiales en sí no han cambiado mucho desde el siglo XIX (salvo el pretensado y aún se espera la fibra de carbono), es posible analizar cualquier cosa.

Un factor nuevo que ha surgido con los ordenadores es la posibilidad de representar y obtener medidas exactas de sus elementos y por tanto construir estructuras de una complejidad increíble. Probablemente la capacidad de representación del ordenador ha sido más determinante que su capacidad de cálculo en el cambio formal de la edificación de "lucimiento" en estos últimos años.

-La construcción-

Hasta mediados del siglo XIX los procesos constructivos están integrados con los de diseño y comprobación de la idoneidad estructural, se opera por repetición de tipos, y los materiales (fábricas y madera) no cambian.

Las dos únicas revoluciones constructivas en Occidente son:

- La introducción de arcos y bóvedas por los romanos.
- El desarrollo de la bóveda de crucería por la orden del Cister, a finales del siglo XII, que da posteriormente origen al Gótico.

En el siglo XIX, los nuevos materiales plantean nuevos problemas no abordados con anterioridad:

- cómo conformar con eficacia un material tan resistente como el acero
- cómo construir obras de unas dimensiones no manejadas hasta entonces
- cómo ejecutar las uniones.

Y surge pronto la incógnita:

- cuales son los ajustes precisos entre el modelo matemático universal del comportamiento estructural y la realidad constructiva para cuantificar la seguridad.

Éste último punto acaba dando lugar a una normativa específica asociada a materiales, a tipos estructurales o a ambos que llega incluso a la formulación de modelos matemáticos específicos según el material.

La especialización de grupos de técnicos en el manejo de materiales y/o de tipos estructurales favorece esta disgregación que dificulta enormemente el trabajo de quienes trabajan desde el lado del problema y no del de la solución.

Sucede en el campo de las estructuras algo semejante a lo que paralelamente ha acontecido en el de la medicina; El principal problema de un paciente en potencia, es a qué especialista acudir (en arquitectura el tema es aún más complicado porque prácticamente cualquier especialista tiene una solución viable para todo problema).

Hay otro factor a considerar que es la proliferación de programas de ordenador que llegan en ocasiones a producir incluso los planos y especificaciones para la ejecución de algunos tipos estructurales, y que dan la falsa impresión de que no es necesario saber estructuras, que ya lo resolverá el ordenador.

-¿Cómo plantear en este contexto el aprendizaje de las estructuras para los arquitectos?-

Enseñar estructuras a los futuros arquitectos tiene un triple objetivo, por orden de importancia:

- 1) Que integren el condicionante estructural en el conjunto de cuestiones que deben tenerse en cuenta en el proceso de diseño.
- 2) Que sean capaces de definir y predimensionar el sistema estructural de un edificio.
- 3) Que sean capaces de producir el conjunto de planos y especificaciones preciso para ejecutar la estructura cumpliendo la normativa vigente.

Desde el punto de vista de un arquitecto, el primer punto es el esencial y la cuestión es cómo conseguir que lo aprendan de la manera más eficaz posible.

Puesto que los procesos de análisis están ya muy automatizados y además para entrar en ellos es preciso tomar una serie de decisiones previas, tanto en lo relativo al esquema como a las dimensiones de los elementos, parece que el camino más directo es empezar por el final, es decir:

- descripción de los tipos estructurales, sus variantes constructivas en relación con los materiales y los procesos de ejecución
- tamaños razonables y máximos asociados a cada uno de los tipos
- dimensiones razonables y extremas de los elementos que componen la estructura
- adecuación de los tipos de estructuras a los distintos tipos de edificios

- relación con el suelo y casos en que esta relación puede ser relevante en el proceso de diseño.
- Casos en que el viento o el sismo son relevantes en el diseño.

Cuestiones todas ellas que pueden ser explicadas desde un punto de vista cualitativo e incluso con algunas reglas cuantitativas de proporciones y tamaños, sin una necesidad absoluta de entrar en el funcionamiento interno de las estructuras, para lo que es inevitable un conocimiento más conceptual que mecánico de los procesos de análisis.

Este enfoque cuyo corpus teórico puede desarrollarse en muy poco tiempo, requiere para el aprendizaje buscar una forma de que los estudiantes se vean obligados a tomar decisiones sobre casos concretos, lo que no parece muy difícil recurriendo a proyectos publicados.

Debe perfeccionarse el conocimiento precediendo (o siguiendo) la información sobre tipología estructural de un módulo en el que se aborden las bases teóricas haciendo mayor hincapié en los aspectos conceptuales que en la mecánica de cálculo, no hay que olvidar que el lenguaje matemático es insustituible como herramienta para un razonamiento riguroso y compacto, pero hay que buscar la manera que desde el principio los cálculos los haga el ordenador, (en la mayor parte de los casos bastan pequeños programas de hoja de cálculo).

Conviene, no obstante recalcar, que hay que tener cuidado con el análisis cuya mayor dificultad está en que la atracción inevitable del aparato matemático resta atención a los conceptos y al objetivo del proceso.

Merece la pena analizar como funcionan las estructuras en la medida en que ello ayuda a tomar decisiones de diseño, y no hay que olvidar que los parámetros de la estructura están implícitos en las decisiones de arquitectura.

Probablemente si el objetivo de quien aprende no es trabajar para otros definiendo el sistema estructural para su ejecución, sino hacer mejor arquitectura, tiene que decidir entre, saber mucho para que ello abra su horizonte o no saber nada, (el saber un poco en lugar de fomentar la creatividad, la limita al reducir artificialmente el arsenal de soluciones posibles).

El módulo de análisis debe estar encaminado, no a resolver problemas concretos, sino a aplicar el conocimiento a tipos genéricos de manera que se obtengan criterios que son los que pueden guiar las decisiones; el que sabe como se han deducido los criterios que maneja lo hace con más conocimiento de causa y mejor que el que opera aplicando criterios ajenos cuyo proceso de génesis desconoce, (para conducir un automóvil no hace falta saber cómo funciona; para ser un piloto de competición, es imprescindible conocer a fondo la mecánica).

A la hora de formar criterios, es posible formalizar un conjunto de atributos que pueden ser asociados con valores numéricos o construcciones geométricas: esquema, proporción, tamaño, material y dimensionado, cuyo manejo permite justificar y ampliar los criterios de diseño del módulo anterior.

Por último, la capacidad de definir sistemas estructurales para su ejecución requiere cursos específicos convencionales con suficiente, aunque no exclusivo, énfasis en la normativa, que en ningún caso debe ser considerada como fuente teórica, pese a la creciente tendencia de sus cultivadores a convertirla en detestables libros de texto.