

FUTUROS ARQUITECTOS Y FUTUROS ESTRUCTURALISTAS

Ingeniero Civil Horacio Andrés Delaloye

Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata

Ingeniero Civil Victorio Hernández Balat

Quasdam Ingeniería – Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata

Resumen: Las falencias en la comprensión mutua entre arquitectos e ingenieros estructuralistas son bien conocidas. Los reproches vienen de uno y otro lado. Estas falencias tienen su origen en la propia formación de los futuros profesionales. Tomando como referencia la situación actual de las facultades de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata se analizan los contenidos y tiempos destinados a capacitar a los alumnos para dicha comprensión y los resultados observados.

Abstract: Problems arising on lack of mutual understanding between architects and structural engineers are very well known. Claims come from both sides. These problems have their origins during undergraduate studies. Contents and time dedicated at Architecture and Civil Engineering faculties of the Universidad Nacional de La Plata to prevent these kind of problems are analyzed and results are commented.

Los tiempos cambian

En la década de 1950 los italianos conducían económicos Fiat 500, los alemanes hacían lo propio con los “escarabajos” Volkswagen y los franceses transitaban con los muy baratos Citroen 2 CV.

50 años después las mismas sociedades ven las carencias de aquellos automóviles con condescendiente nostalgia pero de ninguna manera pensarían hoy en volver a utilizarlos. La tecnología ha avanzado mucho y las exigencias de las sociedades también. Esas exigencias se aplican a cuestiones tan variadas como la estética, la funcionalidad, la seguridad, el cuidado del medio ambiente, etc.

Hace también 50 años, en una Europa empobrecida por la guerra, Eduardo Torroja y Pier Luigi Nervi proyectaban armoniosas y eficientes estructuras de hormigón armado que satisfacían con gran economía los más variados desafíos mientras que en Estados Unidos la pujanza económica permitía algunas pocas y costosas audacias como el museo Guggenheim de Nueva York. En aquel momento seguramente Europa consideraría a esa obra como un exabrupto de ostentación.

50 años después Europa asistió a la construcción del museo Guggenheim de Bilbao totalmente revestido en titanio y con formas geométricas que no permiten imaginar un funcionamiento estructural “eficiente” o un intento de hacer economías en su construcción. Es cierto que existieron quejas pero esa y otras obras de ese tipo se construyeron y se están construyendo.

No hay que ir tan lejos para ver cómo ha variado la aceptación y/o al menos la tolerancia de la sociedad frente a obras que además de cumplir una función cumplen un rol (ser un emblema, demostrar poder, reflejar la imagen de una empresa, etc.). En la ciudad de Buenos Aires tenemos un puente peatonal que ha costado unos U\$S 10.000.000 y lleva la firma de Santiago Calatrava. Como hemos dicho en otro artículo presentado en estas mismas Jornadas, en estos casos, sorprenderse por el costo sería tan desubicado como hacerlo respecto al de una cartera de Louis Vuitton o un traje de Dolce y Gabbana.

Por motivos cuya explicación excede los alcances de este artículo, frente a demandas aparentemente similares, hoy nos encontramos con soluciones arquitectónicas y estructurales que en otros tiempos hubieran resultado impensables o inaceptables, y no solamente en términos de desafíos tecnológicos, claro está.

¿ Lo que se enseña en las universidades, también ha cambiado tanto ?

Las asignaturas universitarias en las que se enseña el dimensionamiento de estructuras de hormigón armado y de acero se ven influenciadas por los reglamentos nacionales que regulan las construcciones en estos materiales. Aunque no es un buen método de actualización de programas, los sucesivos cambios en los reglamentos obligan a una mínima actualización de contenidos que asegura que los conocimientos que se imparten no estén exageradamente desactualizados. Nadie pensaría en enseñar el dimensionamiento de armaduras a flexión simple basado en

el Método Clásico, es decir, nadie podría atrasar 50 años. Como iremos viendo en los párrafos siguientes, en la enseñanza del proyecto de estructuras la situación puede ser diferente.

En el contexto de la enseñanza del proyecto de estructuras es seguramente tan importante conocer las estructuras de Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi, Eugène Freyssinet, Felix Candela, Robert Maillart y tantos otros como saber por qué muchas de las originales soluciones por ellos empleados no se utilizan en la actualidad.

En la bibliografía de los cursos universitarios en que se imparten conceptos de proyecto estructural están casi siempre presentes las obras clásicas de Torroja y de Salvadori pero están casi siempre ausentes las obras de o sobre Peter Rice, Hugh Dutton, Aurelio Muttoni o Jörg Schlaich. Es decir, están ausentes algo así como cuarenta años de arquitectura e ingeniería estructural.

En los programas de las asignaturas de proyecto estructural de las carreras de ingeniería civil y de arquitectura suelen figurar por ejemplo las cáscaras hormigón armado. Las cáscaras aparecen en los apuntes y trabajos prácticos como soluciones vigentes cuando el análisis de las estructuras construidas en los últimos 40 o 50 años las muestras como una especie casi extinguida. El entender el por qué de su evolución hacia otras tipologías estructurales es mucho más importante que realizar trabajos prácticos en los cuales se cubre una superficie con una cáscara indicando que se encuentra dentro del rango económico de luces para su empleo e incluso se llega a predimensionar su espesor. Los “herederos” estructurales de las cáscaras de los años 50 y 60 son desconocidos para muchos de los actuales egresados universitarios. Como veremos enseguida, este desconocimiento suele ser mayor en los ingenieros que en los arquitectos.

Historia de la Arquitectura, si. Historia de la Ingeniería, no
Estructuras en Arquitectura, si. Arquitectura en Ingeniería, un poco o nada
Puentes en Arquitectura, no. Puentes en Ingeniería, si

En los planes de las carreras de arquitectura siempre están presentes los cursos de Historia de la Arquitectura. Cualquier alumno de arquitectura es capaz de nombrar sin dudar cuatro o cinco arquitectos internacionales pasados y presentes y no menos de tres nacionales. Un alumno de Ingeniería Civil seguramente citaría el nombre de sus profesores y el de los autores de alguno de los libros de texto que haya tenido oportunidad de consultar. Tal vez nos sorprenderían al informarnos que Hooke, Poisson y Euler fueron grandes estructuralistas. Esto no pretende ser una crítica ni a los alumnos de Ingeniería Civil ni a los redactores de los planes de estudio es simplemente la descripción de un hecho real que tiene sus consecuencias.

La Historia de la Arquitectura, como cualquier estudio de Historia, permite entender el por qué de las cosas. Todos los alumnos de arquitectura han visto desfilar ante ellos la evolución de las estructuras aún sin que se la hayan hecho notar y conocen la existencia de las cubiertas livianas de todo tipo, de las estructuras de vidrio portante, de las estructuras mixtas y otras varias soluciones estructurales actuales

que, dependiendo de las facultades, pueden resultar desconocidas o casi para los nuevos ingenieros civiles.

En las carreras de Arquitectura es común ver entre tres y cuatro cursos de estructuras mientras que en las de Ingeniería Civil existen muy pocas materias asociadas con el conocimiento de la Arquitectura y, en algunos casos, son incluso optativas.

A nivel mundial se generaliza cada vez más la participación de los arquitectos como integrantes de los equipos responsables del proyecto de puentes y como integrantes de jurados de concursos. Este fenómeno no se circunscribe al ámbito de los puentes urbanos y, en algunos concursos, se indica su participación obligatoria en los equipos de trabajo. El conocimiento de esta situación no se encuentra adecuadamente reflejado en la enseñanza de grado. Es necesario, sobre todo del lado de los ingenieros, que se comprenda la importancia de la participación de los arquitectos en el proyecto de puentes.

¿ Enseñamos a proyectar las estructuras que se construyen hoy ?

Tal vez la pregunta habría que dividirla en dos partes:

- a) ¿Enseñamos a proyectar estructuras?
- b) ¿Las estructuras que enseñamos a proyectar son las que se construyen hoy?

Si se puede enseñar a proyectar o no ha sido y es motivo de polémicas. Sin intención de hilar muy fino podríamos preguntarnos más modestamente si brindamos una información suficiente como para que los nuevos ingenieros tengan el conocimiento de los recursos disponibles para solucionar los problemas que las construcciones plantean hoy en día. No se trata siquiera de que conozcan el detalle de cada uno o la forma exacta de calcularlos sino simplemente el conocimiento del recurso y su rango de utilización.

Con respecto al nivel de conocimientos en términos de proyecto estructural podría argumentarse que por cada promoción que se gradúa cada año en todas las universidades del país ni siquiera el diez por ciento de los egresados tendrá algo que ver con las grandes cubiertas o con los fastuosos museos. En el mismo sentido se podría decir lo mismo respecto a los grandes puentes, las grandes presas, los grandes puertos y así siguiendo y, si no se tiene cuidado, podríamos llegar a enseñar Arquitectura e Ingeniería Civil en cortos y prácticos fascículos coleccionables.

Para identificar falencias no es necesario recurrir al ejemplo de las grandes obras internacionales. Hoy en la Argentina se observa que los edificios de más de 30 pisos han dejado de ser una rareza. Estas alturas ya requieren abordajes estructurales

para dar resistencia y rigidez frente a las acciones del viento que se salen del mero núcleo de ascensores y escaleras y algún aporticamiento. En los últimos 40 años se han desarrollado esquemas estructurales ingeniosos y a la vez sencillos para las estructuras de los edificios en altura. Asimismo, para los nuevos ingenieros será muy útil saber por qué y cuándo puede ser técnicamente necesario y/o económicamente conveniente introducir el estudio en túnel de viento para la valoración tanto la magnitud de las acciones como la respuesta de las estructuras. Los ingenieros y arquitectos encontrarán en estos proyectos de gran altura que las instalaciones cobran una importancia singular por su interferencia permanente con la arquitectura y con la estructura del edificio y que el trabajo en equipo entre todos los diferentes especialistas se hace ya no deseable sino absolutamente indispensable.

La queja más frecuente que los proyectistas de estructuras hacen respecto a los arquitectos es que demandan alturas estructurales incompatibles con los requerimientos de rigidez. Es cierto que se suelen escuchar frases del tipo “no importa si hay que poner mucha armadura pero la altura no debe pasar de centímetros”. También es cierto que algunos ingenieros se aferran a relaciones altura/luz aprendidas en la facultad y se niegan a capa y espada a realizar alguna verificación de deformaciones para ver qué tanto pueden aproximarse a los centímetros. En ambas posturas extremas tiene bastante que ver lo que se enseña en las universidades. También es cierto que en muchos casos la solución a la disputa anterior consistiría en adoptar una estructura mixta pero, también por problemas de formación, estas estructuras suelen estar fuera del catálogo de opciones.

Por el amplio espectro de temas tratados a lo largo de su carrera, los ingenieros civiles suelen tener una formación somera en cuanto a instalaciones y, con gran frecuencia, las soluciones estructurales para edificios en altura reciben un tratamiento similar al de las cáscaras, es decir, con una visión no totalmente actualizada. Su formación en términos de Arquitectura suele ser sólo somera.

Las carreras de ingeniería civil hacen particular hincapié en la enseñanza del cálculo de estructuras asignando la mayor parte del tiempo disponible a las estructuras planas de barras. Los conceptos asociados con el proyecto de estructuras suelen darse en forma fragmentada y parcial en las asignaturas de hormigón armado y pretensado y estructuras de acero y madera. En algunas facultades puede encontrarse una materia específica, no siempre obligatoria, en la que se intenta dar una visión global sobre el tema. En el caso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata esa materia se denomina Proyecto Estructural y es optativa. Esta asignatura optativa tiene una carga horaria total equivalente a la mitad de la que se dedica a hormigón armado y a un cuarto o un quinto de la asignada al cálculo de estructuras.

En números gruesos el tiempo dedicado al hormigón armado y pretensado suele ser del orden del doble del destinado a otros materiales. El tratamiento de las estructuras mixtas suele ser, en términos generales, superficial. En el mejor de los casos la prefabricación de elementos estructurales de hormigón armado y pretensado suele presentarse como un corto capítulo dentro de alguna otra materia (Hormigón, Puentes, etc.).

Aunque el párrafo anterior pudiera parecer una crítica a la forma en que se enseña en nuestras universidades en realidad no lo es. Se trata de una descripción bastante genérica de una realidad dada por carreras de ingeniería civil de cinco años de duración (en algún caso de seis).

Como ya se ha dicho, las carreras de arquitectura presentan siempre varios cursos de estructuras. En muchos casos los programas de esos cursos tampoco reflejan las soluciones estructurales más recientes pero, como ya se ha mencionado, otras materias permiten compensar aunque más no sea parcialmente estas falencias. En lo que hace a las carreras de arquitectura puede afirmarse que se le asigna un tiempo importante al conocimiento de las estructuras. Podría eventualmente opinarse sobre el contenido de las materias y sobre los resultados finales que se obtienen.

Cuando se analiza el listado de conocimientos que hoy se consideran necesarios para la formación de un ingeniero que se dedique al proyecto de estructuras se concluye rápidamente que no hay manera de que los mismos puedan ser tratados en detalle durante una carrera de grado de Ingeniería Civil donde se debe abarcar con igual profundidad y atención áreas tan variadas como la Hidráulica, las Vías de Comunicación, la Organización de Obras, etc.

Los trabajos prácticos que desarrollan los futuros ingenieros suelen incluir edificios de 10 o 15 pisos. Durante el proceso de proyecto de la estructura se les enseña insistentemente a optimizar el partido de la misma. Esa formación cubre una parte de la realidad. La otra parte de la realidad, que cada vez se plantea con mayor frecuencia, incluye la necesidad de proyectar estructuras que están muy lejos de ser óptimas porque, por ejemplo, el hecho de ganar tres o cuatro cocheras en un subsuelo compensa casi cualquier costo extra proveniente de alguna "ineficiencia" estructural. En otras palabras, el nuevo ingeniero debe estar preparado para entender que el concepto de economía debe pensarse en función del conjunto.

Con el objeto de subsanar muchas de las deficiencias enumeradas anteriormente hace unos veinte años se creó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata la Cátedra de Proyecto Estructural. Se trataba de una materia anual y obligatoria para el plan de cinco años de Ingeniería en Construcciones. El plan de Ingeniería Civil incluía un año más. Luego de algún cambio intermedio la materia ha pasado a ser optativa y semestral (80 horas) en un plan de cinco años de Ingeniería Civil. Por su parte, los conceptos relacionados con la Arquitectura e instalaciones se ven en las asignaturas semestrales obligatorias Edificios I y II.

Así como Proyecto Estructural vino a llenar un bache en la formación de los ingenieros civiles de La Plata el hecho de pasarla de anual a semestral y luego de obligatoria a optativa casi ha retrotraído la situación a la existente antes de su creación. Nuevamente no se trata de una crítica sino de la descripción de la realidad.

En lo que hace a la formación estructural de los arquitectos, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata en un plan de seis años de duración se dictan cuatro cursos anuales de estructuras (de primero a

cuarto año) con una carga semanal de cuatro horas (unas 120 horas anuales). En el primer curso se abordan los temas básicos de Estática y Resistencia de Materiales, en el segundo curso se estudian las estructuras para edificaciones de poca altura, en el tercer curso se presentan estructuras más complejas y soluciones para edificios en los que el viento es una acción significativa y, finalmente, en el cuarto curso se introducen las estructuras pretensadas y las destinadas a cubrir grandes luces.

La idea con la que se abordan estas materias es dar al futuro arquitecto nociones suficientes como para que la estructura forme parte de su proceso de creación y no se transforme luego en una limitación al mismo. Se encara un entrenamiento básico en el predimensionamiento de las estructuras más frecuentes.

Uno de los obstáculos más serios que se enfrenta, particularmente en el primer curso, consiste en la insuficiente base físico-matemática que los alumnos han adquirido en el colegio secundario. Se trata de una situación que no puede componer una cátedra de estructuras y que dificulta la consolidación de los conceptos básicos que luego se emplearan en los cursos siguientes.

COMENTARIOS FINALES

No se trata aquí de quejarse amargamente de los planes de estudio vigentes dado que ellos resultan de la necesidad de satisfacer simultáneamente una cantidad de requisitos en cuanto a contenidos y tiempos asignados que siempre dejarán a alguien insatisfecho. Haremos simplemente unos comentarios finales realizados desde la óptica de ingenieros que ejercen la profesión de proyectistas de estructuras, que son docentes universitarios en Arquitectura y en Ingeniería Civil, que contratan a jóvenes ingenieros y que trabajan con jóvenes y no tan jóvenes arquitectos.

- a) Las carreras de Ingeniería Civil (particularmente las de cinco años de duración) se enfrentan con la necesidad de abordar una cantidad de temas tan grande que, inevitablemente, conduce a un escaso tiempo destinado a la enseñanza del proyecto de estructuras.
- b) En el caso de Ingeniería Civil, las orientaciones por áreas (elección de algunas materias optativas orientadas), que no están disponibles en todas las Facultades, mejora parcialmente la situación anterior.
- c) Seguramente no existen razones de peso para aumentar en gran medida el tiempo que se asigna a las estructuras en las carreras de grado (tanto en Arquitectura como en Ingeniería Civil) pero tal vez merecería algún tiempo de discusión la importancia relativa que dentro de ese tiempo se le asigna al proyecto, al cálculo de solicitaciones y al dimensionamiento.
- d) La valoración de la importancia relativa de la estructura dentro de cada obra debería permitirles a los ingenieros tomar posiciones suficientemente flexibles al momento de tener que adoptar y adaptar soluciones estructurales.
- e) La formación de los arquitectos en cuestiones estructurales debería permitirles pensar a la estructura en forma simultánea con el proyecto

- arquitectónico aún sin estar en condiciones de resolver el dimensionamiento de la misma.
- f) En Ingeniería Civil la enseñanza compartimentada de estructuras de hormigón armado y pretensado y estructuras metálicas es inevitable pero la presencia de una materia “no numérica” integradora en términos de materiales y tipologías estructurales es de extrema utilidad.
 - g) En términos generales una forma de optimizar resultados podría consistir en revisar los contenidos de algunas asignaturas de modo de asegurarse de que no existan temas “de arrastre” que deban ser reemplazados por otros que resulten más útiles a los jóvenes profesionales. En los párrafos precedentes se ha dado algún ejemplo al respecto.
 - h) Algunas de las situaciones que pueden mejorarse en términos de educación no hacen necesariamente a contenidos o existencia de materias sino a actitudes. El caso del puente es un ejemplo claro. El joven ingeniero debe egresar con la convicción que la participación de los arquitectos en este tipo de proyectos es necesaria. Como contrapartida, el joven arquitecto debe egresar con la convicción que la participación del ingeniero estructuralista en un edificio debe producirse desde las primeras etapas del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Tony Robbin, “Engineering a New Architecture”. Yale University Press. 1996
- Rowland J. Mainstone, “Developments in Structural Form”. Architectural Press. 1998
- Aurelio Muttoni, “L'art des structures : Une introduction au fonctionnement des structures en architecture”, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 2004
- Alan Holgate, “The Art of Structural Engineering: The Work of Jörg Schlaich and His Team”. Edition Axel Menges. 1997
- Jörg Schlaich et al., “Leicht Weit/Light Structures”. Prestel. 2004
- Andrew Charleson, “Structure as Architecture: A Source Book for Architects and Structural Engineers”. Architectural Press. 2005
- Angus J. MacDonald, “Structure and Architecture”. Architectural Press. 2001
- Angus J. MacDonald, “Structural Design for Architecture”. Architectural Press. 1997
- Stewart Watson et al, “Esthetics in Concrete Bridge Design”. American Concrete Institute. 1990