



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
Facultad de Arquitectura

# Diálogo estructural entre arquitectura e ingeniería

TESIS  
que para obtener el título de  
Arquitecta

*Presenta*

**Nina Casas Guzik**

*Sinodales*

Arq. Carmen Huesca Rodríguez  
Dr. Benjamín Becerra Padilla  
M. en Arq. Gabriel Konzevik Cabib

México, D.F., junio de 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

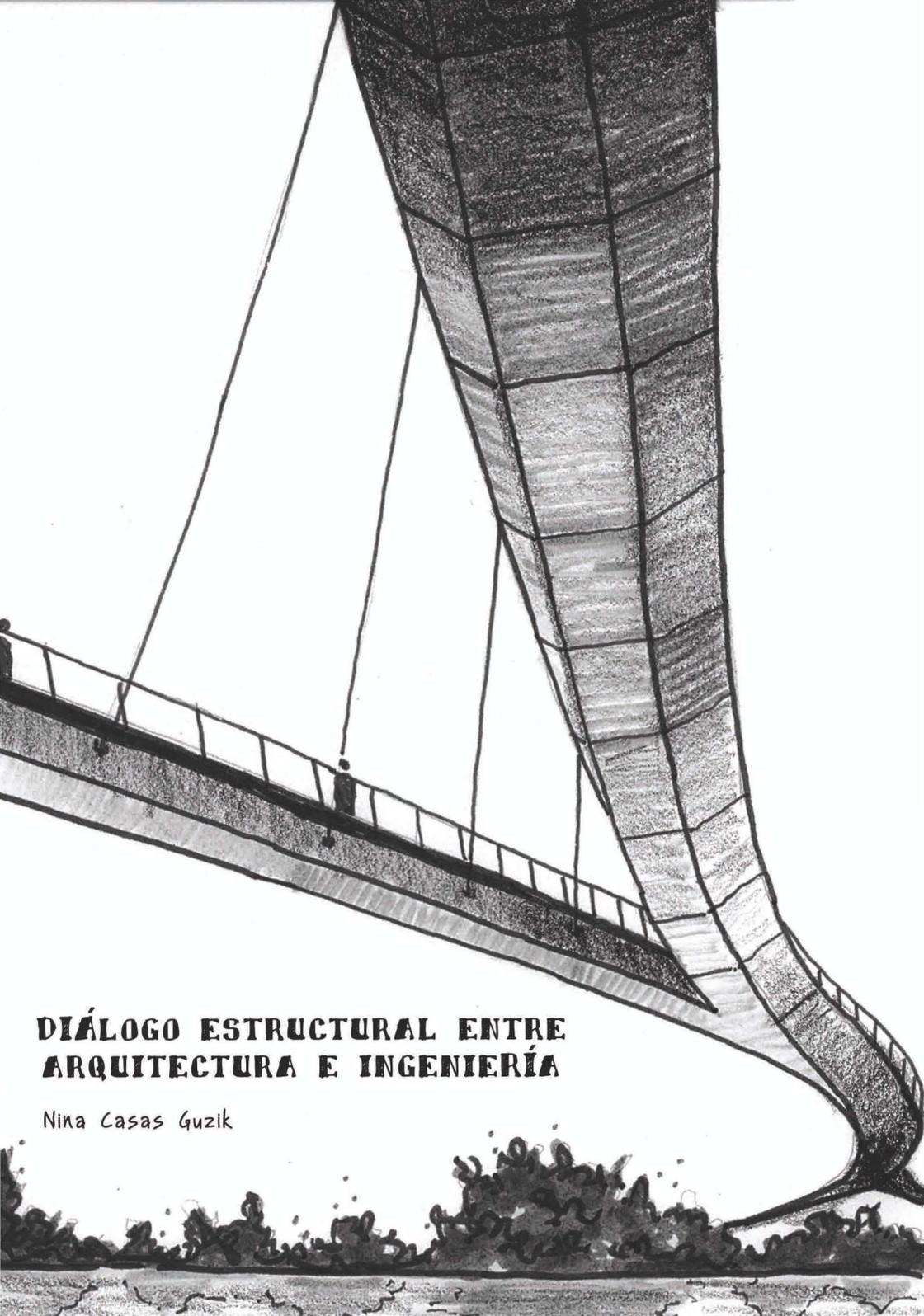


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**DIÁLOGO ESTRUCTURAL ENTRE  
ARQUITECTURA E INGENIERÍA**

Nina Casas Guzik

*A la memoria de Jacobo Guzik*

# A G R A D E C I M I E N T O S

A mis sinodales, por su apoyo constante,  
revisiones, lecturas y aportaciones  
durante todo el proceso:

Dr. Benjamín Becerra Padilla  
M. en Arq. Gabriel Konzevik Cabib  
Arq. Carmen Huesca Rodríguez, con mucho  
cariño por haber sido guía y amiga desde  
el comienzo de mis estudios.

A los profesores que despertaron en mí  
la pasión por las estructuras:

Dr. Benjamín Becerra Padilla  
Dr. Agustín Hernández Hernández  
Dr. Manuel E. Ruiz-Sandoval Hernández  
Ing. Alfredo Carlos Arroyo Vega, por  
enseñarme con su experiencia y por  
ofrecerme todas las oportunidades de  
acercamiento profesional al tema.

A mis padres, a quienes dedico todo mi  
crecimiento y éxito, por ser el mejor  
ejemplo a seguir. A Lucía y a  
Fernando por todo el amor, apoyo  
constante y confianza en mí, y a los amigos  
que siempre han estado conmigo.

# Í N D I C E

Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Objetivos	7
<b>CAPÍTULO 1. Antecedentes</b>	
Los primeros constructores de la Edad Antigua	8
La revolución científica del siglo XIII	13
Artes mecánicas, artes medianas y artes menores	15
Brunelleschi y la Cúpula de Santa María de la Flor	17
<b>CAPÍTULO 2. Independencia entre disciplinas y primeras desavenencias</b>	
Surgimiento de la figura del ingeniero	24
Oposición forma - estructura	25
La Razón como inspiración estética	30
Los nuevos materiales como expresión arquitectónica	32
El uso del hierro	
Polémica en torno al Palacio de Cristal	
La invención del concreto reforzado	
El Racionalismo Estructural	42
La Escuela de Chicago	44
<b>CAPÍTULO 3. Arquitectura del siglo XX e ingeniería estructural</b>	
Investigación científica en la ingeniería estructural	51
La arquitectura de los ingenieros	52
El dilema de los arquitectos	55
La arquitectura total	57
Influencia de la Bauhaus	61
<b>CAPÍTULO 4. Arquitectura e ingeniería en México</b>	
La organización de los constructores	66
Instauración de academias	70
Desarrollo de la investigación científica	75
Práctica después de La Revolución Mexicana	76
Conclusiones y visión a futuro	81
Fuentes de consulta	92
Referencias de imágenes	97
Anexos	101

# INTRODUCCIÓN

El conflicto y la unión que existe entre arquitectos e ingenieros es un tema que invita al estudio. Este texto se propone presentar la manera en que arquitectos e ingenieros han trabajado en cooperación a través de la historia, mostrando algunas obras cuyo reconocimiento se valió debido a la conjunción de ambas disciplinas. El texto relata el estado del arte de la construcción y cómo se vincula con los avances tecnológicos y narra aspectos históricos fundamentales desde el punto de vista de las relaciones entre forma y estructura.

El objetivo de este estudio no es detallar métodos constructivos, ni el desarrollo de los materiales u obras construidas, sino el de exponer de manera cronológica los aspectos fundamentales de la arquitectura en relación con la ingeniería desde el punto de vista formal y estructural, desde la antigüedad hasta nuestros tiempos.

Si bien las relaciones interdisciplinarias entre arquitectura e ingeniería tuvieron lugar en distintos países del mundo, este estudio se basa principalmente en el avance tecnológico desarrollado en Europa, pues fue allí donde se manifestó inicialmente el origen de la ingeniería como una nueva disciplina, reflejado en obras de trascendencia mundial.

El primer capítulo versa sobre las actividades que de manera integral, realizaba el constructor en la antigüedad y abarca desde el diseño arquitectónico hasta la propuesta estructural y constructiva. El segundo aborda el momento histórico en que del oficio de constructor nacieron la arquitectura y la ingeniería como disciplinas independientes, y describe el papel que tuvieron ambos profesionistas dentro del proceso de desarrollo de un proyecto en concordancia con el creciente desarrollo tecnológico. El tercer capítulo estudia los vínculos existentes durante el siglo XX principalmente, momento histórico en que la ingeniería

estructural tomó parte en el desarrollo de proyectos arquitectónicos y comenzó una búsqueda de unir ambas profesiones acuñando el término “arquitectura total”. Finalmente el cuarto capítulo relata la situación en México desde la Colonia hasta la instauración de las Academias y la República Independiente.

El término “ingeniero” resulta anacrónico si es utilizado para referirse a periodos anteriores al siglo XVIII. No obstante, la concepción actual de arquitecto y/o ingeniero existía entre los antiguos griegos cuando utilizaban el término *architekton*, que no significa “arquitecto” como se usa en la actualidad, sino “maestro constructor”. Cada vez que se utilice la palabra ingeniero como referencia previa a este periodo, será con el fin de evitar confusiones, sin embargo el término no se usará para describir la profesión como tal, sino el tipo de actividad realizada. Los ingenieros que se mencionan a lo largo del estudio, a partir del siglo XX, son los ahora denominados ingenieros estructurales, de acuerdo con su rama de especialización.

La experiencia de ser estudiante de Arquitectura en licenciatura, así como estudiante del área de Estructuras en la Facultad de Ingeniería, condujo al deseo de estudiar, escribir y compartir las preocupaciones personales frente a la problemática que existe en la falta de integración de ambas disciplinas como profesiones hermanas. Dada la amplitud del campo de acción del arquitecto, éste generalmente no logra cubrir algunos conocimientos sobre cómo su obra se erigirá en términos estructurales y por ello recurrirá en su vida profesional al apoyo de un ingeniero estructural. La estructura es el requerimiento básico que todo proyecto debe cumplir y por esta razón deberá entenderse como una fuente de confrontación, incorporación, comprensión y de expresión.

Aunque estas disciplinas tengan enfoques diferentes, persiguen un objetivo en común: erigir espacios habitables y funcionales para la sociedad e infraestructura urbana, y como cualquier binomio, deben entenderse, conjugarse e integrarse desde los inicios para generar obras trascendentes.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De manera común, en la actualidad el diseño arquitectónico requiere para su operación los conocimientos y prácticas de otras disciplinas entre las que destaca la ingeniería civil, y derivada de ella la ingeniería estructural. Sin embargo, estas relaciones interdisciplinarias entrañan una tensión entre valoraciones formales, reconocidas como propias y constitutivas de la arquitectura y los criterios estructurales, concebidos como un asunto de carácter técnico, desligados de las primeras.

La arquitectura y la ingeniería civil son dos disciplinas que han permanecido en constante tensión a través de los años, y aunque existen diferencias en el enfoque, deben integrarse de manera consciente e intencional, para lograr propuestas arquitectónicas y estructurales innovadoras y trascendentes eligiendo las mejores opciones congruentes con los avances tecnológicos actuales.

El origen de las formas se encuentra en la sensibilidad e intuición, cualidades innatas al hombre y podrían desarrollarse de manera consciente. Desde el momento en que se construyó la primera edificación, el hombre determinó la estructura intuitivamente. A partir de la praxis (práctica – teoría – práctica) encontró el comportamiento lógico de las estructuras y experimentó sobre la resistencia de los materiales. De igual manera, en la actualidad el arquitecto deberá tener nociones de diseño de estructuras y orientarse por el camino de un método de análisis de estructuras, para así formular un criterio lógico sin delegar necesariamente su trabajo en otros campos disciplinarios.

Desde la arquitectura renacentista hasta la producción de finales del siglo XVIII el arquitecto se encargaba de

llevar a cabo todo el proceso de diseño y construcción de un proyecto. Los conocimientos sobre el comportamiento de los sistemas estructurales y las propiedades de los materiales eran parte integral para hacer arquitectura. Reconocía Vitruvio: "Quien confiese ser arquitecto [...] conviene que sea instruido, hábil en el dibujo, competente en geometría, lector atento de los filósofos, entendido en el arte de la música, documentado en medicina, ilustrado en jurisprudencia y perito en astrología y en los movimientos del cosmos."<sup>1</sup> Sin embargo a consecuencia de la división del trabajo y de la especialización, provocados principalmente por la moderna civilización industrial, se desdobló la figura del constructor en arquitecto e ingeniero. Se fundaron escuelas politécnicas y surgió la "arquitectura de la ingeniería"<sup>2</sup> como manifestación más significativa de la cultura en el campo constructivo a lo largo del siglo XIX y marcó la transición más clara entre el pasado y el presente de la historia de la arquitectura.

La importancia del método científico se introdujo en todas las disciplinas en la segunda mitad del siglo XIX y una vez considerada la ingeniería civil como separada de la arquitectura, el espíritu "científico" y "exacto" del cálculo estructural se alejó del sentido humanista y estético ahora propio del diseño arquitectónico. Como consecuencia de ese divorcio disciplinar, en la actualidad muchos arquitectos rehuyen o temen activar su "sensibilidad mecánica"<sup>3</sup> y observar los ejemplos presentes en la naturaleza del proceso de diseño; se engañan pensando que las soluciones a las estructuras que proyectan son de un orden matemático complejo y las evitan por completo. Esta situación conduce, por un lado, al rechazo sistemático de ciertas propuestas sustituyéndolas por reiteradas tipologías, o bien conduce a la generación de propuestas meramente formales, en las que la estructura no es congruente con la expresión del edificio.

---

1 Marco Vitruvio Polión, *Los diez libros de arquitectura*, Madrid, Alianza Forma, 2006, p. 59.

2 Renato de Fusco, *Historia de la arquitectura contemporánea*, Madrid, Celeste Ediciones, 1994, p. 30.

3 Félix Cardellach, *Filosofía de las estructuras*, Barcelona, Editores Técnicos Asociados S.A., 1970, pp. 2-23.

Como afirma Hans Sedlmayr,<sup>4</sup> el arquitecto de nuestros tiempos ha llegado a tal inseguridad, que mira al ingeniero por encima del hombro y se sitúa en el papel de inventor e incluso de reformador de vidas humanas, olvidándose de ser realmente arquitecto.<sup>5</sup> El desligamiento entre razón práctica y comprensión estética es un tema que requiere replantearse para restablecer la relación profesional entre arquitectos e ingenieros.

Paralelamente, persiste la postura de que la finalidad del arte no es la búsqueda de la belleza sino de la verdad, no de una verdad científica sino de aquella propia del arte. Cuando se dice por ejemplo que la ingeniería estructural es una de las más bellas ramas de la ingeniería como disciplina, significa que hemos experimentado una emoción estética. Autores como Arturo Rosenblueth afirman que “[...] la ciencia además de aspirar a la verdad debe, también, aspirar a la belleza.”<sup>6</sup>

Por su parte, algunos ingenieros sostienen que los arquitectos son artistas que intuyen el universo por un método sintético mientras algunos arquitectos acusan a los ingenieros de desmenuzar el fenómeno estudiado con tal afán analítico, que en su minucioso examen olvidan la existencia del fenómeno como un todo. El ingeniero se preocupa tanto por alcanzar tal precisión analítica de una estructura, como el arquitecto por definir los materiales, iluminación, volumetría, recorridos y texturas de la obra arquitectónica.

Ambos profesionistas buscan modelar un edificio a la medida de su propia personalidad, que finalmente es la

---

4 Hans Sedlmayr, *Verlust der Mitte*, Salzburg, 1964.

5 Roger Scruton, *La estética de la arquitectura*, Madrid, Alianza Editorial, 1985, p. 9.

6 “La estética de la ciencia”, en Arturo Rosenblueth, *El método científico*, Ciudad de México, Ediciones Científicas La Prensa Médica Mexicana Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2000, p. 85.

medida de la mente humana. Aunque ambas disciplinas tienen como finalidad la aplicación misma de sus postulados, se puede afirmar que la estructura en la arquitectura no necesariamente debería ser resultado de un cálculo, sino la materialización de una intuición artística, que puede o no tener como soporte una fórmula algebraica.

A través de un recorrido de carácter histórico y cronológico, el presente texto describirá la evolución de la actividad del constructor desde la antigüedad, describirá las causas por las que se desdobló su ejercicio en dos profesiones –la arquitectura y la ingeniería- y expondrá la manera en que se han vinculado hasta los tiempos actuales. Se recurrirá a ejemplificar con obras significativas acordes a los planteamientos conceptuales, para entender la necesaria vinculación entre las disciplinas, con el fin de que impacten positivamente en el desarrollo futuro de edificaciones y obras de infraestructura.

# OBJETIVOS



través de esta investigación, que asumirá el carácter de tesis teórica, se pretende realizar un estudio de particular pertinencia sobre los aspectos de frontera que existen entre la arquitectura y la ingeniería estructural como disciplinas afines, de tal manera que se puedan formular propuestas encaminadas a reafirmar su integración e interdependencia para el futuro.

Entre los objetivos específicos se encuentran: describir el origen de la aparición de la ingeniería como disciplina independiente a la arquitectura, a partir del siglo XVIII; puntualizar a la luz de ejemplos precisos las consecuencias de este divorcio disciplinar en la arquitectura del siglo XX y actual; identificar los vínculos entre arquitectura e ingeniería estructural como disciplinas afines; argumentar la importancia del diseño estructural en la composición arquitectónica, simultánea y complementariamente en todas las etapas conceptuales y constructivas del proyecto y formular alternativas conceptuales de integración de las estructuras a la arquitectura.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

Diseñar es la habilidad de expresar el esquema para el objeto final a otros y proporcionar una explicación racional para el esquema usando conocimientos de ingeniería y principios científicos

Marco Vitruvio Polión

### Los primeros constructores de la Edad Antigua

Podrían llamarse “ingenieros” todos aquellos miembros de culturas previas al entendimiento de la disciplina como tal, que con su *ingenio* lograron construir obras como las pirámides de Keops o Stonehenge; dirigiendo, planeando, organizando y motivando a miles de trabajadores para cumplir en tiempo el trabajo. Estos líderes comenzaban a planear o diseñar –término utilizado en la actualidad– antes de que la construcción comenzara.

El uso de las matemáticas y el diseño para la edificación de las grandes obras y ciudades se introdujo a Europa desde India y el Medio Oriente. Alrededor del año 1500 al 500 a.C. los egipcios y antiguos griegos desarrollaron la habilidad conocida actualmente como diseño dentro del proceso constructivo, pero no fue sino hasta el año 450 a.C. cuando surgió la evidencia más clara de la aplicación de la ingeniería como ciencia, formal y metodológicamente, en tierras del Mediterráneo bajo la influencia de la civilización griega. A pesar de que los griegos aprendieron a diseñar grandes edificios por influencia de los egipcios, formalizaron los procesos para obtener cuerpos más estilizados.

La geometría, desarrollada por los griegos y utilizada por matemáticos como Tales, Pitágoras y Euclides como vehículo para el arte de la lógica y la retórica, surgió como una herramienta de manifestación de las reglas de acuerdo con las cuales las ciudades serían construidas. De la misma

manera, filósofos, matemáticos y físicos desarrollaron la ciencia de la mecánica, con el mismo rigor que el de la geometría, con el fin de demostrar que existían objetos que podían multiplicar la fuerza humana. Ambas ramas del conocimiento fueron enseñadas en colegios militares con fines bélico-políticos y en academias con fines educativos, hasta que en el 387 a.C., conjugando ambos fines, Platón formó la Academia de Atenas. Ya desde el 230 a.C., Ctesibio de Alejandría, ingeniero militar de origen egipcio, era conocido como el fundador de la primera Escuela de Ingeniería en Alejandría<sup>7</sup>, que actualmente podría compararse con la Escuela Politécnica en Francia, fundada casi dos mil años después (1794). Según Herón de Alejandría, prolífico escritor helénico de tratados sobre ingeniería y matemáticas (ca. 10-75 a.C.):

La ingeniería puede ser dividida en una parte teórica y en una práctica; la parte teórica se compone por geometría, aritmética, astronomía y física; la parte práctica comprende la elaboración de cosas de metales, construcción, carpintería, pintura y cualquier cosa que involucre habilidad con las manos.<sup>8</sup>

El *architekton* griego era el responsable de controlar y organizar toda la fuerza de trabajo en una construcción. Si un constructor de la época erigía una casa que posteriormente colapsara y matara al dueño de la misma, sería ejecutado como castigo; si el derrumbe provocaba la muerte del hijo del dueño, el hijo del constructor igualmente sería asesinado; si el daño provocaba la muerte de un esclavo, el constructor tenía que reponerlo; y si se causaba algún daño material, el responsable tenía que pagarlo con su propio dinero<sup>9</sup>. El término

---

<sup>7</sup> Bill Addis, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, pp. 13-27.

<sup>8</sup> *Ibidem*, p. 28 (traducción propia).

<sup>9</sup> *Ibidem*, p. 14.

“arquitectura” hacía referencia a una actividad global que hoy realizan arquitectos e ingenieros como profesiones independientes.

El legado romano en la construcción, por su parte, aportó grandes avances: precisión en levantamientos topográficos, manufactura y manipulación de materiales en grandes cantidades, descubrimiento del cemento hidráulico, uso del arco y la bóveda, introducción de la perspectiva en planos arquitectónicos y entrenamiento y organización de la mano de obra. El hierro y bronce eran abundantes aunque fueron poco utilizados en la construcción. Apolodoro (ca. 55-130 d.C), activo durante el imperio romano, se distinguió por ser el más talentoso ingeniero estructural de todos los tiempos.<sup>10</sup> Egresado de la carrera de ingeniero militar, fue nombrado posteriormente como jefe de obras públicas, trabajando para los emperadores Trajano y Adriano. Entre sus obras más importantes se encuentran: el Foro de Trajano, la Basílica de Trajano, los Baños de Trajano, el Puente de Trajano sobre el Danubio y el Panteón de Roma.

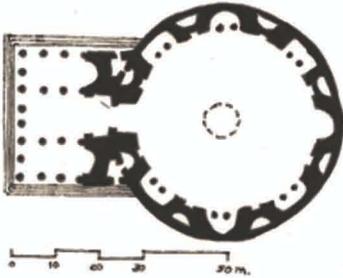
### *El Panteón de Roma (118-126 d.C)*

Concebido sólo cuarenta años después de la inauguración del Coliseo Romano, el Panteón representa un gran paso en la ingeniería estructural de ese entonces. La cúpula de 44 metros de diámetro e igual altura, se erigió con el uso de concreto, no como se conoce hoy, sino como una mezcla de pasta cementante y mampostería. La tendencia al coceo de la cúpula incrementa al presentarse mayor carga, por lo que se establecieron principios para aligerar la estructura: disminuir la densidad de agregados en el concreto a medida que incrementara la altura de la cúpula, así como reducir el área de la sección transversal hasta el coronamiento de tal modo que éste careciera de materia y formara un óculo.

---

<sup>10</sup> *Ibidem*, p. 49.

El uso de ábsides y absidiolos sirvió para recibir las cargas y distribuir las a lo largo de los muros que fungían como columnas, reteniendo los empujes horizontales causados por la cúpula.

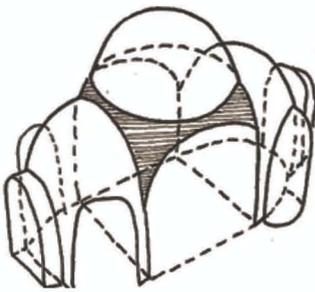


1 Marco Vipsanio Agripa, Panteón de Roma, 118-126 d.C.

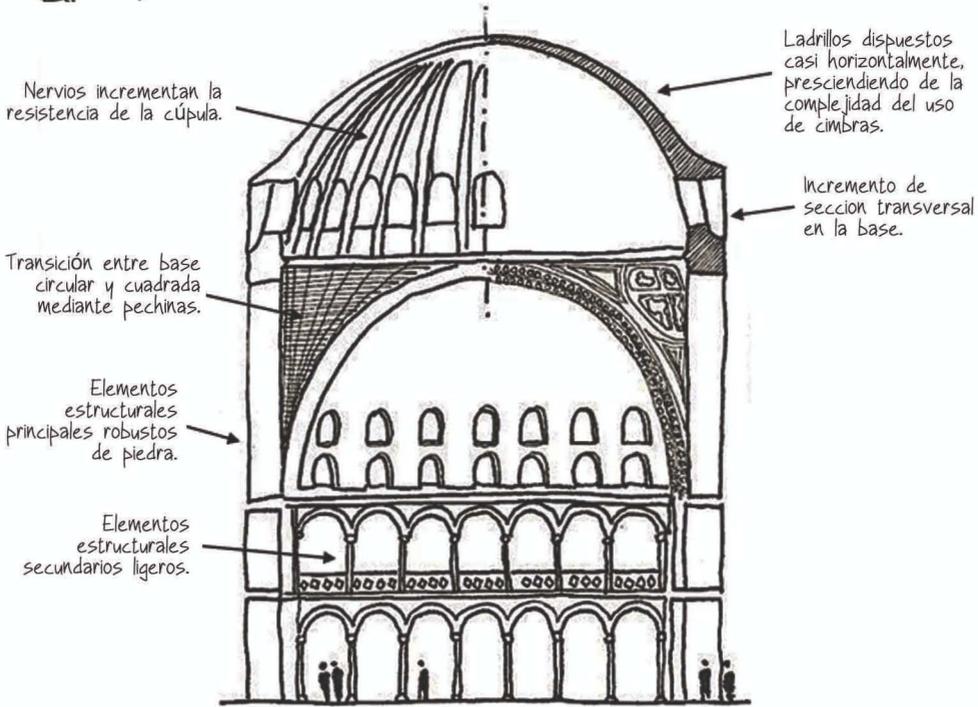
### *La Iglesia de Santa Sofía (Constantinopla 532-537 d.C)*

Construida por Isidoro de Mileto y Antemio de Tralles, combina su masa con la armonía de sus proporciones sin excesos ni deficiencias y se ilumina principalmente con los reflejos del interior. El sistema estructural es una cúpula cuyos empujes laterales son contrarrestados por dos semicúpulas que distribuyen la carga a una variedad de cupulines, bóvedas, arcos y columnas de niveles inferiores que conducen la carga a la cimentación. El material más utilizado fue la mampostería, sin embargo el hierro sirvió para algunos nodos y refuerzos estructurales.

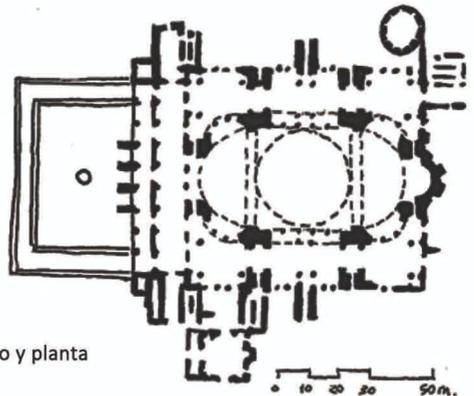
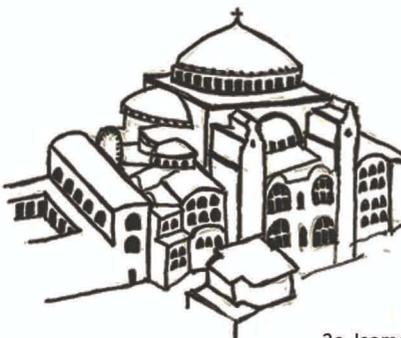
El entendimiento de cómo operan los principios estructurales de la época, reflejados por ejemplo en La Iglesia de Santa Sofía, condujo a la redistribución de los empujes laterales a elementos más esbeltos, lo que permitió grandes vanos, mayores alturas y por lo tanto mayor iluminación y transparencia, características principales del estilo gótico.



2a Esquema geométrico y pechina esférica



2b Esquema del sistema constructivo



2c Isométrico y planta

Durante la temprana Edad Media no se presentaron grandes aportaciones en materia de ingeniería debido a la desaparición del legado romano en este campo y a la carencia de riquezas, producto de naciones formadas por alianzas débiles. No sería sino hasta el siglo XI en Francia, cuando el desarrollo de fortificaciones de mampostería marcó una nueva etapa.<sup>11</sup> Tomando como referencia la mecánica estudiada por los romanos, se generaron nuevas máquinas que utilizaban fuentes renovables para producir energía y con ello se multiplicaron los medios de comunicación y transporte que permitieron la cohesión de comunidades urbanas, unidas y mantenidas gracias a la Iglesia.

La geometría heredada de los romanos evolucionó generando la llamada *geometría teórica*,<sup>12</sup> como vehículo de articulación entre ideas abstractas, antes inimaginadas y la argumentación de puntos de vista en los que se aplicaba el rigor de la lógica para justificar la toma de decisiones.

Más que una evolución científica, durante este periodo se estudiaban y retomaban los aportes de los predecesores griegos y romanos conciliando ideas con las de la Iglesia católica en sus necesidades constructivas. A partir del siglo XIII nació el hoy conocido como método hipotético-deductivo de la ciencia, aplicado en la construcción de ese entonces. Jordanus Nemorarius (ca. 1180 – 1237), matemático de origen germánico, descubrió en la estática -como se llama hoy- una forma de representación gráfica de fuerzas útil para la determinación del equilibrio de un cuerpo.<sup>13</sup>

Con la creciente actividad constructiva se incrementó la cantidad de mano de obra necesaria para completar una obra.

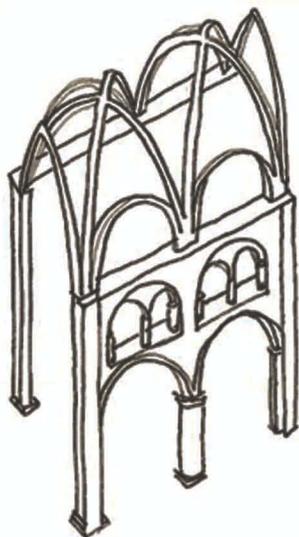
---

<sup>11</sup> *Ibidem*, pp. 69-73.

<sup>12</sup> Sobre la *geometría teórica* y la *geometría práctica*, véase: Stephen K. Victor, *Practical geometry in the high middle ages: Artis cuiuslibet consummatio and the practike de geometrie*, American Philosophical Society, 1979. 638 pp.

<sup>13</sup> Sobre el origen de la estática, véanse: Danilo Capecchi, *History of virtual work laws: A History of mechanics prospective*, Milán, Springer, 2012, 504 pp. y Pierre Maurice M. Duhem, *Les origines de la statique*, Francia, BiblioBazaar, 2009, 366 pp.

Algunos directivos se volvieron especialistas en tecnologías apropiadas para la ingeniería militar, mientras que otros -los masones entre ellos-, participaban indistintamente en ingeniería militar y civil. En Gran Bretaña el diseño de castillos alcanzó su máximo esplendor durante ese siglo, con los aportes del maestro James de St. George que trabajaba para el Rey Eduardo I. Los castillos funcionaban como máquinas,<sup>14</sup> -postulado que retomaría más adelante Le Corbusier durante el movimiento moderno- y representaron un avance en el criterio lógico funcional y de ingeniería estructural. Con ello, la actividad en la construcción de fortificaciones no militares tuvo mayor importancia. A diferencia de la época antigua, los edificios ofrecían a los usuarios mayor seguridad y confort. Dentro de las obras de ingeniería civil a lo largo del siglo XIII destacaron principalmente las catedrales. Se tiene la evidencia que el diseño empezó a superar las reglas empíricas, y la geometría como ciencia jugó un papel significativo que generó confianza para experimentar con nuevas propuestas formales.



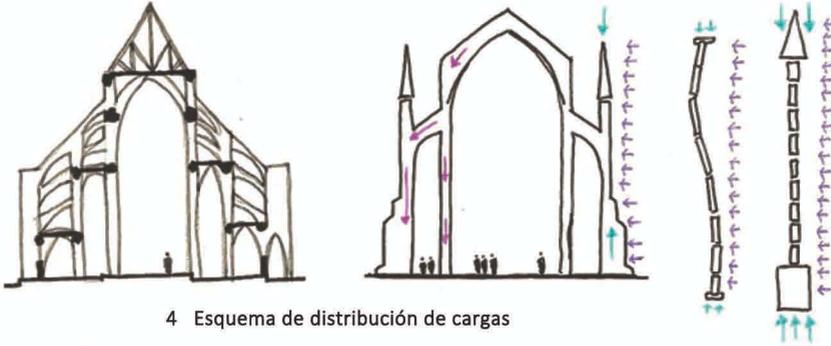
3 Sistema estructural del gótico

Sin duda alguna el elemento más destacado de las catedrales medievales fue la estructura. Las formas se concibieron gracias a cuatro innovaciones principales: la partición en cuartas partes, la bóveda de crucería, los contrafuertes, arbotantes y la maestría en el uso del peso de la mampostería para incrementar la estabilidad de los elementos estructurales. Los arbotantes distribuían los empujes horizontales de viento o sismo a las columnas, de manera que éstas se sometían únicamente a carga axial, permitiendo la disminución de su sección transversal para permitir la entrada de luz a través de grandes ventanales.

La catedral como tipología edificatoria en la cual el gótico alcanzó su expresión más plena, representó

14 Bill Addis, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, p. 85.

grandes innovaciones técnicas y formales. El origen de la ornamentación se encontraba en la construcción y de esta manera se acentuaban los elementos estructurales.



4 Esquema de distribución de cargas

En la ciudad de Florencia, considerada en esa época como un centro político y cultural de relevancia, se dio una revolución artística entre 1418 y 1436 que marcó la transición entre la Edad Media y la Edad Moderna,<sup>15</sup> coincidente con el final de la gran crisis económica que abarcó casi un siglo. No obstante la posterior recuperación económica y demográfica, no se presentaron grandes iniciativas urbanas, lo que dio lugar a que los artistas fueran contratados para hacer trabajos de restauración y ornamentación en la ciudad.

### Artes mecánicas, artes medianas y artes menores

Las actividades culturales y técnicas de ese periodo seguían reguladas por los modelos teóricos precedentes de la especulación medieval de los siglos XII y XIII y cada vez entraban en mayor contradicción con las nuevas exigencias materiales y espirituales. El nominalismo de Occam y sus discípulos Buridan, Oresme y Alberto de Sajonia, promovía el desarrollo de la ciencia y de la investigación experimental, así como el estudio de las matemáticas, la geometría, la mecánica y la física.<sup>16</sup> Si bien los avances científicos del Renacimiento

<sup>15</sup> Leonardo Benévolo, *Historia de la arquitectura del Renacimiento*, Barcelona, Gustavo Gili, 1984, pp. 23-24.

<sup>16</sup> *Ibidem*, p. 31.

tuvieron gran importancia, no deben dejarse de lado los grandes inventos que hicieron posible su desarrollo a partir del siglo XI, como el molino de agua, el timón de popa, los sistemas de arneses para caballos y bueyes.

El *Liber Abbaci*, escrito a principios del siglo XIII por Leonardo Fibonacci, fue punto de partida de obras de divulgación científica que dieron a conocer las nociones elementales de cálculo, de gran utilidad para el comercio y los negocios.<sup>17</sup> A principios del siglo XV se incrementó el interés por la técnica y se introdujeron las más importantes innovaciones del periodo. Las máquinas militares y civiles continuaron asociadas con la arquitectura en los tratados de Leon Battista Alberti y de Francisco de Giorgio, en tanto las actividades técnicas no formaban un conjunto unitario, pues se mantenían disgregadas en un grupo amplio llamado “artes mecánicas”. Las “artes” en la cultura florentina se distinguían en relación con su importancia económica y no se establecían diferencias entre el arquitecto y los distintos gremios de la construcción. Los maestros canteros y carpinteros se integraban al grupo de las “artes medianas”, en tanto los cerrajeros a las “artes menores”, por ejemplo. Los pintores y escultores formaron parte de las “artes mayores”, grupo dominante del estado florentino, que era superado cuando alguno de los artistas conseguía un prestigio individual superior al del resto, entrando en el grupo llamado de las “bellas artes”.<sup>18</sup>

La tradición inspirada en la Roma antigua y renacentista generó un lenguaje que unía a las clases dirigentes y las separaba de las clases trabajadoras. Entre esos segmentos sociales se encontraba el “señor arquitecto”, quien diseñaba palacios, grandes mansiones y edificios públicos; se trataba de un teórico que debido a su posición social no trabajaba al pie de la obra, y por tanto se distanciaba de los conocimientos sobre procesos

---

<sup>17</sup> *Ibidem*, p. 33.

<sup>18</sup> *Ibidem*, pp. 35, 37.

conocimientos sobre procesos constructivos. En más baja escala se encontraba el “arquitecto artesano”, quien construía las casas y edificios más humildes, y aunque carecía de un estímulo intelectual, desarrollaba paralelamente el diseño arquitectónico con la práctica constructiva. A finales de ese siglo los procedimientos del arte anticiparon la necesidad de una nueva ciencia humanizada y como resultado de ello, los artistas contribuyeron de manera indirecta al nacimiento de la ciencia moderna.

En 1420 Felipe Brunelleschi, reconocido por su trabajo como ingeniero militar<sup>19</sup> y por sus tratados de cánones sobre perspectiva, fue nombrado superintendente de la cúpula de la catedral florentina. Su propuesta inicial fue considerada como innovadora e intrigante, única, diferente y pragmática, comparada con la de los demás aspirantes; y aunque los cónsules e intendentes dudaron de la factibilidad de su propuesta, le dieron la oportunidad de demostrar que era posible llevar a cabo aquella empresa. Mientras se reunían los materiales necesarios, artesanos y ciudadanos se levantaron contra la decisión de los cónsules y exigieron que nombraran a su famoso amigo Lorenzo Ghiberti como ayudante y coautor de la obra junto a Brunelleschi. Cuando se aceptó el decreto, Felipe se desanimó profundamente y cayó enfermo de gravedad. La obra quedó detenida y Ghiberti sólo logró demostrar su incapacidad para dirigir las actividades al haber adquirido su puesto por conveniencia más que por tener conocimientos sobre las soluciones propuestas.<sup>20</sup> Una vez que Brunelleschi se recuperó, le fue encargada completamente la construcción y logística de la obra en el año 1423 y a partir de ese momento no se detuvo hasta terminarla. Su participación destacó por el uso de principios de la mecánica para resolver los problemas de construcción, entre los cuales se encontraba

## **Brunelleschi y la Cúpula de Santa María de la Flor**

---

<sup>19</sup> *Ibidem*, p. 19.

<sup>20</sup> Giorgio Vasari, *Vidas de pintores, escultores y arquitectos ilustres*, Buenos Aires, El Ateneo, 1945, t. I, pp. 250-253.

que la estructura debía sostenerse por sí misma durante su ejecución y una vez terminada.

En Brunelleschi prevaleció el uso de la razón a lo largo del proceso sobre cualquier cuestión injustificable, convenció a los operarios de la catedral a cumplir meticulosamente sus órdenes y se mantuvo firme en sus métodos. La obra representó una ruptura de solidaridad entre proyectista y ejecutores, puesto que el primero intentó identificarse con la nueva clase dirigente y colocó a los ejecutores en una posición subordinada.

Brunelleschi asumió toda la responsabilidad sobre el proyecto y la ejecución de la cúpula.

No se colocaba allí una sola piedra ni un sólo ladrillo sin su consentimiento y controlaba si eran buenas o si estaban bien cocidos y limpios. [...] La atención que ponía para hacer la argamasa, era digna de admiración: acudía a los hornos para vigilarlos personalmente; en cuanto a la piedra y a la cocción de los ladrillos, parecía maestro en todo, incluso en las mezclas de arena con cal y en las demás cosas necesarias.<sup>21</sup>

Para entender mejor los procesos constructivos y para explicárselos a los obreros, recurría continuamente a modelos, lo que condujo a su permanencia en la obra para dirigirla correctamente.<sup>22</sup> La geometría rigió el trazado de la cúpula y en virtud de sus elecciones, esta obra resume todas las aspiraciones de la vanguardia artística florentina.

La cúpula de Santa María de la Flor se convirtió en un hito de la ciudad al exaltar las cualidades estructurales y expresivas de los materiales, y trascender formal y geométricamente entre las distintas obras de la época. Fue la primera construcción en la que el arquitecto fue responsable

---

21 Leonardo Benévolo, *Historia de la arquitectura del Renacimiento*, Barcelona, Gustavo Gili, 1984, p. 56.

22 Sobre la vida, obra y viajes de Filippo Brunelleschi, véanse: Filippo Baldinucci, *Vita di Filippo di Ser Brunellesco*, España, BiblioLife, 2008, 404 pp. y Giorgio Vasari, *Vidas de pintores, escultores y arquitectos ilustres*, Buenos Aires, El Ateneo, 1945, t. I, pp. 241-259.

único de la forma, de los ornamentos, de la estructura y de la organización; el trabajo de Brunelleschi marcó la transición hacia una nueva forma de hacer arquitectura que sirvió de ejemplo para las generaciones posteriores y sirve como lección para el quehacer arquitectónico actual.

Brunelleschi siempre se preocupó tanto de la técnica constructiva como del aspecto formal de sus obras. Previo a su formación profesional, realizó múltiples viajes junto con su mejor amigo Donato, estudiando todos los edificios que se encontraban en Roma obteniendo medidas, alturas, anchos, observaciones sobre materiales y registraba a través de dibujos todos los datos para poder hacer después, sus propias propuestas y planos.<sup>23</sup>

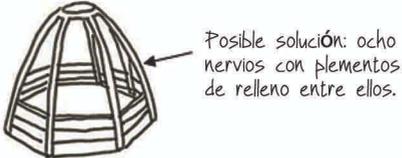
Las formas convencionales de los órdenes arquitectónicos y sus complementos se aceptaron como modelos ideales de forma que se transformara el repertorio variado de la tradición gótica en un repertorio normalizado. El cambio de la manera de hacer arquitectura tuvo su origen en dos rasgos principales: las formas no surgen *a posteriori*, se definen *a priori* por sus proporciones y particularidades ornamentales y los elementos no son partes independientes, sino que se relacionan entre sí por correspondencias de proporción formando asociaciones que se denominan *órdenes arquitectónicos*.

Brunelleschi utilizó la competitividad técnica de sus antecesores y la adaptó a la cultura del momento histórico en que vivió, se distinguió por conciliar los intereses técnicos con los artísticos y adaptó el carácter de los modelos y los dibujos para que los trabajadores los entendieran.

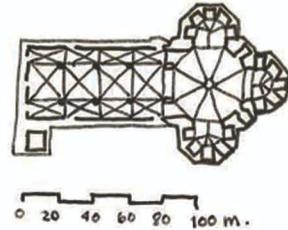
---

<sup>23</sup> *Idem*.

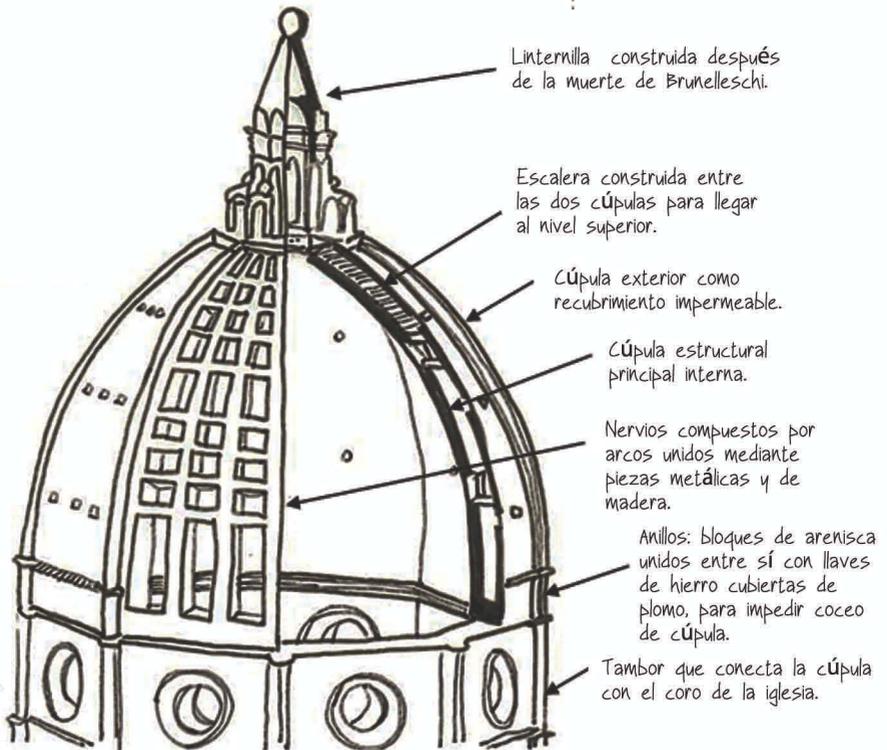
## Cúpula de Santa María de la Flor (1420-1434)



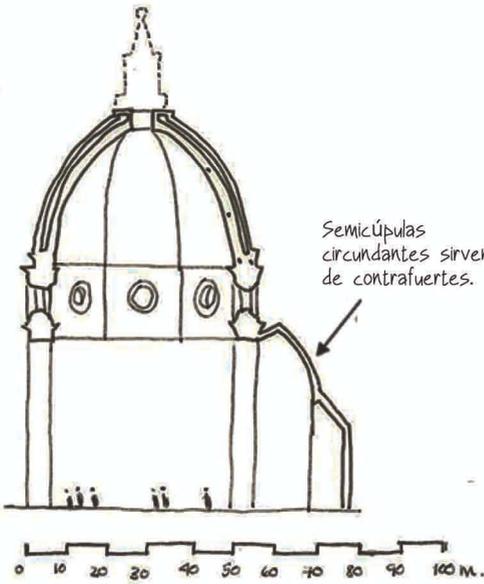
5a Solución de cúpula



5b Planta esquemática



5c Componentes constructivos de la cúpula



5d Sección de la cúpula



5e



5f

Los arquitectos del Renacimiento poseyeron talento universal [...] La superioridad del Renacimiento radica en que no existían artes independientes entre sí, sino un solo arte en el cual se fusionaron todas las expresiones de la belleza

Auguste Choisy

Durante el Renacimiento el término arquitecto o ingeniero conservaba su propio matiz; el arquitecto implicaba alguien que construía edificios seculares o religiosos, alguien consciente de los principios de Vitruvio y del arte en general, mientras que el ingeniero era alguien hábil con las máquinas, que construía fortificaciones, puertos y canales. Comoquiera que se llamaran, lo único que distinguía a los entonces denominados ingenieros y arquitectos era la jerarquía social a la que pertenecían y/o la de quienes los contrataban. Antes del siglo XV diseño y construcción formaban una actividad única; las habilidades estructurales, técnicas, militares, civiles y eclesiásticas, se superponían y jamás se dividían; hasta que paulatinamente se desligaron una serie de habilidades llamadas *disegno*, académicas y matemáticas por naturaleza, expresadas a través del dibujo y separadas de la ejecución, que se asignaron al arquitecto considerado como poseedor de

un alto status que los artesanos no podían tener. Posteriormente con la llegada de La Revolución Industrial de finales del siglo XVIII, las ciudades crecieron demográficamente, surgieron nuevos medios de transporte, mayores fuerzas productivas, maquinismo e industrias nunca antes vistas. La actividad constructiva en las ciudades industriales se intensificó, se emplearon al límite de sus posibilidades los modelos arquitectónicos existentes y surgió la necesidad de generar una enorme cantidad de obras que tendrían que utilizar formas y técnicas constructivas sin precedentes. El desarrollo de nuevos materiales, oficios y métodos de organización se vio reflejado en el surgimiento de la figura del ingeniero a finales del siglo XVIII y a partir de ese momento la especialización comenzó a vislumbrarse.

# CAPÍTULO II

## INDEPENDENCIA ENTRE DISCIPLINAS Y PRIMERAS DESAVENENCIAS

ExistE una clase de personas a quienes ya no podemos negar  
llamar artistas... Los artistas a los que me refiero,  
que han creado una nueva arquitectura, son los ingenieros.

Henry van de Velde

Las grandes revoluciones de los siglos XVIII y XIX generaron una nueva sociedad basada en la producción industrial; al intensificarse la actividad constructiva con el crecimiento del capitalismo, las obras comenzaron a quedarse fuera del alcance del “señor arquitecto”, pues se requerían estructuras de dimensiones y resistencia sin precedentes de los cuales no se tenía todavía conocimiento. Asimismo, estos edificios eran demasiado complejos para ser ejecutados por artesanos tradicionales del siglo XVIII, por lo que fue necesario el desarrollo de nuevos oficios y métodos de organización.

Surgió en primera instancia el ingeniero, profesión que nació al final del siglo XVIII y que fundamentalmente cubría obras militares. Con la revolución industrial al experto en tecnología se le llamó “ingeniero civil”, para distinguir su función civil de la militar. El oficio requería los conocimientos prácticos y matemáticos necesarios para aplicar los conocimientos científicos de la mecánica a problemas estructurales prácticos. Cada vez, en mayor grado, el arquitecto se dedicó con mayor exclusividad a la imagen arquitectónica, dejando las cuestiones de estructura, costo y procesos constructivos al ingeniero, al perito y al contratista.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Sobre los sistemas contractuales, véase: Bill Risebero, *Historia dibujada de la arquitectura occidental*, Madrid, Celeste Ediciones, 1991, p. 24.

Las grandes obras de la ingeniería a lo largo del siglo XIX se originaron con el desarrollo del hierro fundido, forjado y transformado después como acero, y hacia el final del siglo el concreto reforzado surgió como material constructivo alternativo.

En el Reino Unido John Smeaton (1724-92) fue considerado el padre de la ingeniería civil, debido a que fue el primero en llamar a la disciplina una profesión. Gracias a una de sus obras, El Faro de Eddystone, comenzó a ofrecer consultoría a nivel profesional, remplazando el papel de contratista tal como afirmó en 1764:

Yo me considero de ninguna otra luz que como un artista privado que trabaja para aquellos que se complacen en contratarme [...] a aquellos que envían para tomar mi consejo bajo cualquier esquema, los considero mis mecenas; de ellos recibo mis propuestas de lo que desean realizar.<sup>25</sup>

La traslación de un problema real de ingeniería a un modelo teórico simplificado para obtener datos cuantitativos que representaran un mecanismo a escala real, fue uno de los hechos más destacados que cambió el curso que llevaban hasta entonces los pocos ingenieros científica y matemáticamente instruidos. Sin embargo no fue sino hasta 1771 cuando surgió la primera comunidad de ingenieros que compartían intereses y valores, formando La Sociedad de Ingenieros Civiles en el Reino Unido.<sup>26</sup> Algunos años después de la muerte de Smeaton, la sociedad se cambió el nombre a los *Smeatonians*.

Simultáneamente en Francia, se inauguraron la Escuela de Puentes y Caminos, varias escuelas navales y de minas, así como la Escuela de Artes y Oficios.<sup>27</sup> El pensamiento de la

## Surgimiento de la figura del ingeniero

---

25 Bill Addis, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, p. 240 (traducción propia).

26 *Idem*.

27 *Ibidem*, p. 240, 243.

primera de ellas giraba en torno a proveer a los estudiantes de un criterio racional, analítico y técnico, enseñándoles dibujo, diseño de caminos, puentes, proyectos terrestres y marítimos, arquitectura y cartografía, contradiciendo el pensamiento francés *solidité* (solidez), que consideraba la resistencia y la estabilidad como un término cualitativo que contemplaba el correcto balance en las dimensiones, buena construcción y apariencia estética.

Con base en el pensamiento ilustrado nacido en Francia y como efecto de la Revolución Industrial, se introdujeron en la construcción los conocimientos de las ciencias naturales y de los nuevos materiales, abriendo nuevas posibilidades técnicas y estructurales.<sup>28</sup> Con la fundación de la Escuela Politécnica en 1794 y la Escuela de Bellas Artes en 1806, el ámbito y diferenciación de los conocimientos necesarios se incrementaron de modo que se formaron especialidades: la propia del arquitecto, predominantemente proyectista, y la del ingeniero, responsable de la estabilidad estructural. En la actualidad esta “especialización” corresponde más a las diferentes aptitudes de las personas que a una repartición lógica para solucionar las complejas tareas en el campo de la construcción, lo que puede provocar que los conocimientos propios de los ingenieros y de los arquitectos estén tan poco relacionados que no se alcancen resultados óptimos en el diseño y ejecución del proyecto.

## **Oposición forma-estructura**

La arquitectura neoclásica, prevaleciente entre mediados del siglo XVIII y finales del XIX, se enfrentó a cambios tecnológicos que llevaron al crecimiento de la infraestructura y de la capacidad productiva, lo cual abrió campo a nuevas ramas del conocimiento y provocó la aparición de nuevas instituciones de carácter técnico.

Para mediados del siglo XIX la herencia neoclásica se dividió

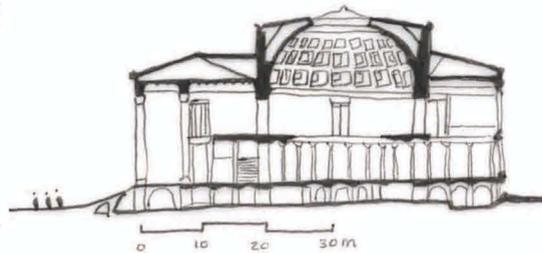
---

<sup>28</sup> Para ampliar información, véase: Emil Kaufmann, *La arquitectura de la Ilustración*, Barcelona, Gustavo Gili, 1989, 416 pp.

en dos líneas de pensamiento: el *clasicismo estructural* de Henri Labrouste y el *clasicismo romántico* de Karl Friedrich Schinkel. Labrouste (1801-1875) se formó en la Escuela de Bellas Artes, fue pionero del llamado racionalismo estructural y de los primeros arquitectos en dar primacía a la estructura al afirmar que todo ornamento derivaba de la construcción. Por su parte, Schinkel (1781-1841) se inclinó por el carácter fisionómico de la forma en arquitectura, y a partir de este momento se vislumbró la separación de la arquitectura como forma y como estructura.



6 Henri Labrouste, **Biblioteca de Ste. Geneviève**, París, 1838-1850



7 Karl Friedrich Schinkel, **Altes Museum**, Berlín, 1825

Para G.W. Friedrich Hegel (1770-1831) la arquitectura era un medio parcialmente articulado, incapaz de expresar plenamente una idea y por ello podía ser relegada al nivel del simbolismo, del cual sólo podría ser rescatada por el arte de las estatuas y la ornamentación.<sup>29</sup> No puede juzgarse a Hegel por pensar de ese modo, puesto que la arquitectura se diferencia de las otras artes en cuanto a que debe ser útil y fungir como medio y no como fin. También podría valorarse la arquitectura desde un punto de vista meramente escultórico, pero sería tratar a los edificios como objetos cuya naturaleza estética se relaciona a una función sólo de manera accidental.<sup>30</sup> Si se asume al edificio como una escultura, entonces su belleza se basaría en factores

29 Scruton, Roger, *La estética de la arquitectura*, Madrid, Alianza Forma, 1985, p. 14.

30 *Ibidem*, p. 16.

como el equilibrio y la expresividad de las formas.

Desde el siglo XV, Leon Battista Alberti afirmaba que la arquitectura como arte universal de la construcción debía comprender el diseño y la estructura. “Toda la fuerza y razón del diseño consiste en encontrar una forma exacta y correcta de adaptar y unir las líneas y ángulos que sirven para definir el aspecto del edificio. Es propiedad y cometido del diseño asignar al edificio y a todas sus partes un lugar adecuado, una proporción exacta, una disposición conveniente y un orden armonioso, de tal manera que la forma del edificio esté totalmente implícita en su concepción.”<sup>31</sup> Posteriormente en 1850 Théophile Gautier afirmó que “la industria revoluciona a la arquitectura” y César Daly, primer crítico moderno de la arquitectura, habló de la escisión entre la “arquitectura estética” del pasado y la “arquitectura industrial” del futuro. Esta época se caracterizó por la oposición entre la arquitectura sometida a cánones estéticos, y la construcción llevada a cabo como una actividad artesanal funcional sin contemplaciones estéticas. Fue John Ruskin, quien con mayor claridad expresó su idea sobre “arquitectura”, entendida como todo aquello que es inútil, innecesario e incrustación.<sup>32</sup>

En otro sentido, Augustus W.N. Pugin colocaba al estilo gótico por encima de los demás, debido a su sinceridad y a su “verdad esencial”; la forma satisfacía los requisitos estructurales, funcionales, de materiales y artesanales. En su obra *The true principles of pointed or christian architecture* (1841) afirma que:

Las dos grandes reglas del diseño son: primero, que no debe haber rasgos en un edificio que no sean necesarios por conveniencia, construcción o adecuación; en segundo lugar, que todos los ornamentos deben basarse en el enriquecimiento de los elementos constructivos esenciales del edificio.<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> *Ibidem*, p. 31.

<sup>32</sup> Véase: John Summerson, *El lenguaje clásico de la arquitectura*, Barcelona, Gustavo Gili, 2008, 176 p.

<sup>33</sup> Augustus Welby N. Pugin, *The true principles of pointed or christian architecture*, Gracewing Publishing, 2003.

Henri Labrouste (1801-1875) fue un talentoso ingeniero y arquitecto, Gran Premio de Roma a los 23 años, se opuso a la Escuela de Bellas Artes y por ello la academia le impidió obtener un encargo personal durante mucho tiempo.<sup>34</sup> No fue sino hasta 1843 cuando se le confió la Biblioteca de Sainte-Genève, obra destacada por usar armaduras de fundición y hierro forjado que iba desde los cimientos hasta la cubierta. Sin embargo su obra maestra fue la Biblioteca Nacional de París, empezada en 1868 y terminada diez años más tarde, después de su muerte.



8 Henri Labrouste,  
Biblioteca Nacional de París, 1878

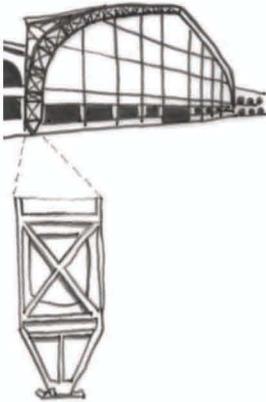
La belleza y la utilidad parecían dos nociones antagónicas, y Labrouste las relegaba a la enseñanza. Cuando un arquitecto quería extraer del siglo de la industria una estética propia, olvidando los estilos históricos antiguos, lo llamaban “proscrito”. Tal fue el caso de Hector Horeau (1801-1872), quien concebía construir espacios extensos transparentes que sirvieran de salas de exposiciones del arte y de la industria; su estructura sería ligera, permitiendo la visibilidad y la conexión entre los espacios, pero desafortunadamente fueron otros arquitectos los que llevaron a cabo la mayoría de sus ideas.<sup>35</sup>

Desde principios del siglo XIX el antagonismo entre técnica y arte tuvo su manifestación en dos escuelas francesas rivales: la Politécnica y la de Bellas Artes, restaurada esta última por Napoleón I en 1806. Estas corrientes marcaron la ruptura entre la idea de construir y la de hacer arquitectura. El creciente uso del hierro como material estructural fue

34 Michel Ragon, *Historia mundial de la arquitectura y el urbanismo modernos*, Barcelona, Ediciones Destino, 1979, t. I, p. 116.

35 Para ampliar información, véanse: *Ibidem*, pp. 121-130 y Sigfried Giedion, *Espacio, tiempo y arquitectura*, Barcelona, Editorial Científico-Médica, 1961.

desdeñado por las Bellas Artes y por esa razón fueron ingenieros los que construyeron los primeros puentes metálicos, naves, fábricas, grandes almacenes, mercados y pabellones para exposiciones universales. Estas últimas no representaban una afrenta a la arquitectura del momento, pues eran obras provisionales, experimentales, concebidas como ejercicios de habilidad para practicar con los nuevos materiales y sistemas constructivos.



9 Dutert y Contamin, **Palacio de Máquinas**, Exposición Universal de París, 1889.

Tras el divorcio entre ingenieros y arquitectos apareció un nuevo concepto a partir de la asociación de ambos para lograr obras novedosas. Un ejemplo de ello fue la realización del Palacio de Máquinas de L. Dutert y V. Contamin,<sup>36</sup> donde se conjugó el uso funcional y económico de la estructura con una expresión característica de una nueva arquitectura. La Torre Eiffel constituyó otro ejemplo de trabajo en equipo entre los ingenieros Gustave Eiffel, M. Koechlin, Naugier y el arquitecto E. Sauvestre.

Desde que el proyecto fue aprobado, los “especialistas” intentaron demostrar que era matemáticamente imposible erigir esa estructura, y a ellos se unieron los “artistas” que hicieron una protesta publicada en *Le Temps* en 1887:

Nosotros, escritores, pintores, escultores, arquitectos, apasionados aficionados por la belleza de París hasta ahora intacta, venimos a protestar con todas nuestras fuerzas, con toda nuestra indignación, en nombre del gusto francés anónimo, en nombre del arte y de la historia francesa amenazadas, contra la erección en pleno corazón de nuestra capital, de la inútil y monstruosa torre Eiffel [...] todos nuestros monumentos humillados, toda nuestra arquitectura venida a menos, desapareciendo entre ese sueño asombroso. [...] Y si nuestro grito de alarma no es oído, si nuestras

36 Michel Ragon, *Historia mundial de la arquitectura y el urbanismo modernos*, Barcelona, Ediciones Destino, 1979, Tomo I, pp. 140-145.

razones no son escuchadas, si París se obstina en la idea de deshonorar París, al menos ustedes y nosotros habremos hecho escuchar una protesta *que honra*.<sup>37</sup>

Al contrario de lo que se pensó en ese momento, la torre Eiffel representó un nuevo orden de belleza, donde la industria y el mundo de las máquinas tomaron vuelo.

Los ingenieros trabajaban en las obras públicas en condiciones de gran presión; la exigencia de la velocidad a veces impedía que los diseñadores pensarán con claridad en los problemas técnicos, por lo que gran parte de los conocimientos se adquirieron por experiencias negativas o catástrofes.<sup>38</sup>

Los ingenieros más capacitados fueron aquellos que para diseñar los proyectos hacían ensayos sobre modelos, los compartían con sus colegas y de esta manera desarrollaban simultáneamente la ciencia de la estática con la experiencia en obra. Esto produjo que creciera paulatinamente un cuerpo teórico aliado con el práctico, produciendo sucesiones asombrosas de logros en la ingeniería.



10 Gustave Eiffel, Eiffel Tower, París, 1889

Un mundo concebido bajo el aspecto totalizador de la función sólo conducirá a culpar a las máquinas de incompetentes para solucionar los problemas de las vidas humanas, cuando el trasfondo se remonta a la exigencia de usar la razón y la experiencia como medio de solución.<sup>39</sup>

**La razón como  
inspiración  
estética**

37 "Protesta de los Artistas", disponible en:

[http://www.iesxunqueira1.com/maupassant/Articulos/eiffel\\_y\\_los\\_artistas.pdf](http://www.iesxunqueira1.com/maupassant/Articulos/eiffel_y_los_artistas.pdf) (consultado el 15 de septiembre de 2012).

38 Sobre catástrofes históricas en ingeniería, véanse: Norbert J. Delatte, *Beyond failure: Forensic case studies for civil engineers*, Virginia, ASCE Press, 2009; Gary L. Lewis, *Guidelines for forensic engineering practice*, Estados Unidos, ASCE Committee Report, 2003; David H. Nicastro, *Failure mechanisms in building construction*, Estados Unidos, ASCE Press, 1997; Henry Petroski, *Success through failure: The paradox of design*, Estados Unidos, Princeton University Press, 2006; Henry Petroski, *To engineer is human: The role of failure in successful design*, Nueva York, First Vintage Books Edition, 1992 y Robert Ratay, *Forensic structural engineering handbook*, Estados Unidos, 2a ed., Mc. Graw Hill, 2010.

39 Véase: Roger Scruton, *La estética de la arquitectura*, Madrid, Alianza Forma, 1985, pp. 31-43.

Durante los siglos XVI y XVII la construcción no militar comenzó a desarrollarse principalmente a través de obras hidráulicas y carreteras que condujeron a la construcción de puentes.<sup>40</sup> Nuevos estilos arquitectónicos, tipologías y talentosos constructores surgieron, y aunque la ingeniería no tuvo grandes progresos, se consolidaron conocimientos anteriores. La edad de la razón surgió con la idea de que la aportación de los griegos y las reinterpretaciones del Renacimiento podían resolver muchos de los problemas del mundo. Los griegos destacaron en el arte de pensar con la razón y la retórica. Con esta premisa el conocimiento intelectual del mundo podía ser capaz de transformar y mejorar las cosas.

A partir de este momento surgió el estudio formal de la resistencia de los materiales teórica y prácticamente; el primero en investigar y formular teorías sobre ello fue Galileo Galilei en 1638<sup>41</sup> y posteriormente Edme Mariotte y Robert Hooke pusieron las teorías a prueba. Las prácticas se hacían con modelos a escala en tamaño real; sin embargo, fue hasta la intervención de Pieter van Musschenbroek (1692-1761), fundador de las pruebas de materiales, cuando se experimentó con diferentes tipos de materiales y comenzó el cálculo estructural.<sup>42</sup>

Los constructores tenían ahora más confianza porque su práctica constructiva tenía como base los datos obtenidos analíticamente a través de cálculos experimentales y no sólo observaciones empíricas. Christopher Wren y Robert Hooke fueron de los primeros proyectistas con amplios conocimientos en matemáticas y comportamiento de los materiales; su aproximación al proyecto fue siempre desde el punto de vista científico, como un ingeniero estructural lo haría en la actualidad. Afirmaban que el estudio de las

---

40 Bill Addis, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, pp. 175-184.

41 Galileo Galilei, *The two new sciences*, Nueva York, Macmillan, 1914 (traducción de Henry Crew y Alfonso de Salvio).

42 Bill Addis, *op.cit.*, pp. 191-209.

matemáticas y de la ciencia de la construcción ofrecía una visión global de una estructura sin necesariamente haberla proyectado ellos mismos. Establecieron quizás la primera práctica de consultoría entre arquitectos e ingenieros, incluso antes de que fueran válidos estos términos. El diseño –decían– debe

ser regulado por el arte de la estática, o mediante la invención de los centros de gravedad, y la debida posición de las partes de manera equivalente. Sin esto, un diseño a detalle resultará fallido. En resumen, todo diseño debe en primer lugar llevar a cabo esta prueba, o de lo contrario ser rechazado.<sup>43</sup>

La profundización en los estudios realizados sobre las propiedades y la resistencia de los materiales en el campo de la construcción permitió potencializar las posibilidades formales y expresivas en los edificios a través de nuevos sistemas estructurales y del uso de distintos materiales. Con el surgimiento del hierro fundido, por ejemplo, el papel del ingeniero estructural moderno quedó definido: era la persona capaz de calcular la cantidad mínima de material posible para ejecutar el trabajo requerido, y hacerlo con la mayor calidad y confianza para asegurar un nivel satisfactorio de seguridad.

**Los nuevos  
materiales  
como  
expresión  
arquitectónica**

### *El uso del hierro*

El hierro -que tuvo sus orígenes alrededor del año 1000 a.C.- jugó un papel importante en la historia mundial; sin embargo, no fue sino hasta finales del siglo XVIII y principios del XIX cuando se produjo una transformación radical de la siderurgia. La invención de la máquina de vapor en 1789 dio el impulso definitivo para permitir el uso de fuelles más

---

43 *Ibidem*, p. 201 (traducción propia).

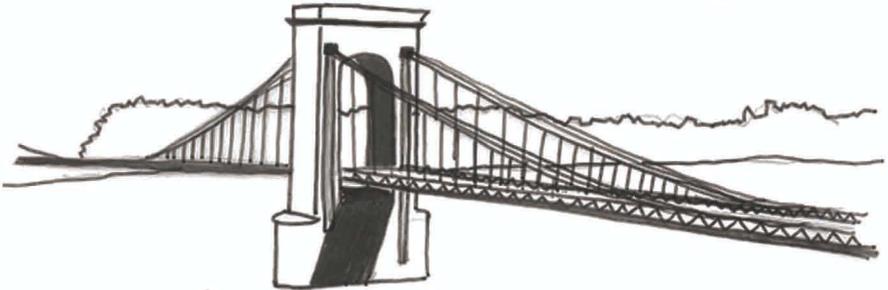
eficientes y máquinas laminadoras más avanzadas y de mayores capacidades productivas.<sup>44</sup>



11 T.F. Pritchard, Puente Coalbrookdale, Shropshire, 1779

El puente de Coalbrookdale, construido en 1779 en Shropshire, Inglaterra, fue la primera obra que utilizó el hierro fundido como material estructural. El arco que salva un claro de 30.5 metros cruza el río Severn y suscitó interés entre arquitectos y fabricantes para construir nuevos modelos.

De igual manera la aportación de White y Hazard en 1816 sobre sustituir los eslabones construidos con hierro por cables a base de alambres tensados, dio inicio a la era de los puentes colgantes en Francia.



12 Hermanos Seguin, Puente Colgante sobre Río Ródano, Tain – Tournon, 1825

En el Clifton Suspension Bridge en Bristol, “apenas parece admisible que la belleza de tal estructura sea puramente accidental, es decir, únicamente el resultado de una ingeniería inteligente.”<sup>45</sup> Este puente es un ejemplo donde la energía de la funcionalidad no introduce formas por compromiso, los pesados apoyos se contraponen a la transparencia del hierro y se logra una obra de arte, sin querer serlo.



13 Isambard K. Brunel, Clifton Suspension Bridge, Bristol, Inglaterra, 1836

44 Sobre la producción de acero, véase: María Graciela Fratelli, *Diseño de estructuras metálicas*, Caracas, Unive, 2003, pp. 15-33.

45 Nikolaus Pevsner, *Pioneros del diseño moderno*, Buenos Aires, Ediciones Infinito, 2003, pp. 91.

A partir de los esfuerzos para incrementar la resistencia de las vigas y carriles de hierro fundido y forjado logrados en 1801 por Boulton y Watt en Manchester, se consiguió en 1854 laminar exitosamente perfiles más pesados y con mayor resistencia. A mediados del siglo XIX se utilizaron las columnas de fundición y los carriles de hierro forjado en vías férreas, junto con el acristalamiento modular como técnica habitual para la prefabricación y rapidez en la construcción.

Como material estructural, el hierro comenzó a usarse por razones meramente prácticas y no estéticas. William Strutt, hilandero de algodón en Derby, construyó hacia 1792-1793 una fábrica de seis niveles estructurada por columnas de hierro fundido y vigas de madera, lo que evolucionó después en muros de ladrillo, columnas y vigas de hierro fundido y abovedamiento de ladrillo como cubierta, sustituyendo así la madera y tornándose en un nuevo sistema que se volvió muy popular.

Al principio los elementos de hierro permanecieron en el interior de los edificios, pero pronto se utilizaron en las fachadas como elementos expresivos. Para el año de 1850 Inglaterra se puso al tanto de las posibilidades arquitectónicas del hierro fundido, así como Nueva York en Estados Unidos.<sup>46</sup> Un ejemplo fueron las Oriel Chambers, en Liverpool diseñadas por Peter Ellis (1864-65), donde destacaron los amplios miradores de vidrio y el detallado trabajo del hierro para la época en que fue construido.

Mientras la novedad de estos edificios radicaba en el uso extensivo del hierro, su cualidad más notable era el uso igualmente extensivo y uniforme de vidrio. Otro caso valioso fue el Jayne Building en Filadelfia.



14 Peter Ellis, Oriel Chambers, Liverpool, 1864-65



15 W.J. Johnston y T.U. Walter, Jayne Building, Filadelfia, 1849-50

<sup>46</sup> Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007, pp. 32-33.

## Polémica en torno al Palacio de Cristal

Se me permitirá dar por sabido que la verdadera arquitectura no admite el hierro como material de construcción, y que este tipo de obras, [...] no son arquitectura en absoluto. John Ruskin

La primera vez que se utilizó el metal con vidrio en una cúpula fue en el *Halle aux Blés*, en París (1811) y a partir de ese momento, los diseñadores de invernaderos comenzaron a comprender las ventajas de las bóvedas acristaladas. Para esta compleja construcción en la que Napoleón I fue a



16 Bellangé & Brunet, *Halle aux Blés*, París, 1811

inaugurarla, se unió el trabajo del arquitecto Bellangé y el ingeniero Brunet. “Es la primera vez que sepamos –escribe Sigfried Giedion– que las funciones de arquitecto y de ingeniero no estaban reunidas en una sola persona.”<sup>47</sup>

La idea de las cubiertas curvilíneas fue aceptada por jardineros y horticultores, pero no fue sino hasta 1851 cuando Joseph Paxton construyó la obra más sobresaliente de la arquitectura de hierro y vidrio: el Palacio de Cristal. Entre los 245 proyectos que se hicieron un año antes para la primera Exposición Universal de Londres, el comité no eligió a ninguno de ellos, pues “no representaban la manifestación internacional del mundo industrial.”<sup>48</sup> Se recurrió entonces a Joseph Paxton (1803-1865), hijo de campesinos, quien pasaba de la horticultura a la arquitectura, construyendo según los requerimientos de los parques en los que trabajaba.<sup>49</sup> Durante

47 Sigfried Giedion, *Espacio, tiempo y arquitectura*, Barcelona, Editorial Científico-Médica, 1961.

48 Renato de Fusco, *Historia de la arquitectura contemporánea*, Madrid, Celeste Ediciones, 1994, p. 68.

49 Para ampliar información sobre Joseph Paxton, véanse: “The design of the Crystal Palace” en *The Ecclesiologist*, XLI, 1851; Kate Colquhoun, *A thing in disguise: The visionary life of Joseph Paxton*, 2004; Kate Colquhoun, *The busiest man in England: A life of Joseph Paxton: Gardener, architect and Victorian visionary*, 2006; Christopher Hobhouse, *1851 and the Crystal Palace; being an account of the Great Exhibition and its contents; of Sir Joseph Paxton, and of the erection, the subsequent history and the destruction of his masterpiece*, 1937; Antonio Pizza, *Arte y arquitectura moderna, 1851-1933: Del Crystal Palace de Joseph Paxton a la clausura de la Bauhaus*, 1999.

siete días Paxton diseñó todo un sistema de prefabricación racional que permitía el desmontaje de los materiales para volver a ser usados, y cubrir así una superficie total de 70000 m<sup>2</sup>. El proyecto causó tanto impacto que el comité lo aceptó sin reservas.

La obra destacó por sus grandes dimensiones (563 m de longitud por 124 m de ancho), por el uso de pocos materiales y por el sistema de prefabricación aplicado en un solo módulo de 7.30 m que permitió terminarse en diez meses. Esta construcción generó gran polémica entre los arquitectos de la época, quienes la llamaron la “farsa de cristal”, el “monstruo de cristal”, “una mala y despreciable construcción” y “lo más monstruoso que se haya imaginado”. Por su parte, John Ruskin la llamó “el invernadero más grande de todos los invernaderos construidos hasta la fecha”, y aceptó que una belleza superior era “eternamente imposible”<sup>50</sup> de alcanzar en hierro, rompiendo todos los paradigmas que tenía contra este nuevo material estructural:

Pero aquí, Dios ha sentenciado que la arquitectura de los animales sea una arquitectura de mármol, no de pedernal o de diamante [...] nosotros, con nuestra sabiduría, habríamos dotado al lagarto una mandíbula de acero y al milodon un cráneo de hierro fundido olvidando el gran principio del que toda creación da testimonio: que el orden y el sistema son cosas más nobles que el poder. Empero Dios se nos muestra en sí mismo, por extrañamiento que pueda parecer, no sólo como perfección autoritaria, sino como la perfección de la Obediencia.<sup>51</sup>

El Palacio de Cristal se consideró paradigmático debido a que es uno de los primeros ejemplos en donde la estructura asumió un valor arquitectónico, introdujo una nueva

---

50 Nikolaus Pevsner, *Pioneros del diseño moderno*, Buenos Aires, Ediciones Infinito, 2003, pp. 94.

51 John Ruskin, *Las siete lámparas de la arquitectura*, Pamplona, Ediciones Aguilar, 1964, p. 71.

tipología edificatoria, utilizó principios de modulación y repetición y representó la historicidad de su tiempo a través de la revolución industrial.

Toda la oposición contra este edificio surgió dentro del círculo de Henry Cole, funcionario civil inglés que apoyaba la unión del arte con la manufactura. En 1851 Matthew Digby Wyatt, portavoz del círculo y crítico inteligente, escribió en el *Journal of Design*: “Se ha vuelto difícil decidir dónde termina la ingeniería civil y dónde comienza la arquitectura”, los puentes de hierro están entre las

[...] maravillas del mundo. [...] A partir de esos comienzos [...] qué glorias podrán esperarse, cuando Inglaterra haya sistematizado una escala de forma y proporción... podremos confiar en soñar, pero no osaremos predecir. Cualquiera que sea el resultado, es imposible desconocer el hecho de que el edificio para la exposición de 1851 está llamado a acelerar la consumación devotamente deseada, y de que la novedad de su forma y detalles es la indicada a ejercer una poderosa influencia sobre el gusto nacional.<sup>52</sup>

Thomas Harris escribió en 1862 que en el Palacio de Cristal “puede considerarse inaugurado un nuevo estilo de arquitectura tan extraordinario como cualquiera de sus predecesores [...] la conjunción del hierro y vidrio ha logrado dar un carácter marcado y distintivo a la futura práctica de la arquitectura.”<sup>53</sup>

El hecho de que un jardinero atendiera el programa arquitectónico y respondiera a las nuevas necesidades tecnológicas del momento mejor que los arquitectos, causó numerosos comentarios negativos al respecto. Augustus Pugin, reconocido por su intervención en el Palacio de Westminster, aconsejó a Paxton que se encerrara en sus invernaderos y dejara hacer arquitectura a los “expertos”.

52 Nikolaus Pevsner, *Matthew Digby Wyatt*, Londres, Cambridge U.P., 1905, pp. 19-20.

53 Nikolaus Pevsner, *Pioneros del Diseño Moderno*, Buenos Aires, Ediciones Infinito, 2003, p. 95.

Otros críticos, menos radicales mostraron entusiasmo por el proyecto ganador, como Blanqui en sus *Letres sur l'Exposition universelle de Londres (1851)*:

Todas las proporciones están en él observadas con extremado arte y precisión matemática. [...] A lo largo, a lo ancho y en todos los sentidos, siempre múltiplos. Así ha resultado un palacio construido con piezas de fundición de la misma longitud, unidas unas a otras con pernos y casi todas fundidas según el mismo modelo.<sup>54</sup>

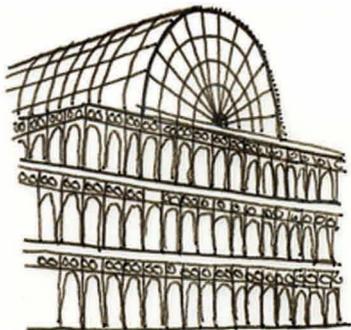


17a Palacio de Cristal. Vista del conjunto

De planta acentuadamente longitudinal, tenía cinco naves al interior. Se adoptó un módulo que dio forma a todo el organismo. Se introdujo un transepto cubierto por una bóveda de medio cañón de altura mayor que las naves, para incluir al interior árboles existentes. La planta tenía una longitud de 1851 pies (fecha de la Exposición). Presentaba un módulo al interior cuadrado de aproximadamente siete metros de lado que correspondía con las columnas de fundición y se caracterizaba por la alternancia de naves menores con esa anchura y por la presencia de cinco naves principales (las laterales de dos módulos y la central de tres). En el piso superior existían cuatro filas de galerías comunicadas entre sí transversalmente.

En cuanto a la volumetría exterior se reconocían tres niveles escalonados. El primero era la cubierta de las naves que tenía una ligera pendiente a dos aguas que conducían el agua pluvial a los pilares de fundición que tenían esta doble función. La otra cubierta era la curvilínea del transepto, una

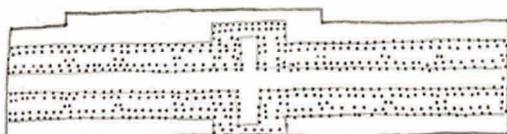
54 Adolphe J. Blanqui, *Letres sur l'exposition universelle de Londres*, Baviera, Capelle, 1851, 325 pp.



17b

bóveda semicircular sustentada en grandes armaduras de madera. Encima de cada arco destacaba una apertura con un óculo en el centro. La bóveda de altura constante se repetía tres veces en cada módulo de siete metros. En la ejecución de la obra colaboraron los ingenieros Charles Fox y Henderson, y Owen Jones se encargó de la decoración. Las fachadas del edificio no eran

más que una proyección del interior, pues interior, pues dada su transparencia podrían reconocerse como secciones estructurales.<sup>55</sup>



17c Palacio de Cristal, Planta Alta



17d Sección longitudinal. Las columnas servían como bajadas de agua pluvial

La Revista *The Ecclesiologist* publicó lo siguiente:

Admitimos, sin duda, que estamos llenos de admiración por los efectos internos, sin precedentes en una estructura de este tipo [...] un efecto espacial y ciertamente una amplitud nunca obtenida hasta hoy; una perspectiva tan vasta que el efecto atmosférico de la enorme distancia es totalmente nuevo y singular; una luminosidad difusa y un brillo inverosímil, jamás imaginado antes; y sobre todo –uno de los atributos más satisfactorios para nosotros– una evidente sinceridad y un realismo constructivo

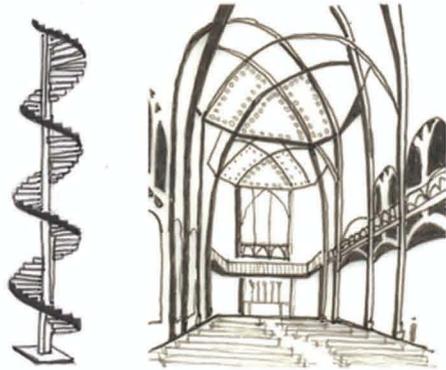
<sup>55</sup> Renato de Fusco, *Historia de la arquitectura contemporánea*, Madrid, Celeste Ediciones, 1994, p. 73.

de un alto valor. Sin embargo, hemos llegado a la convicción de que esto no es arquitectura: es ingeniería –de la mejor calidad y excelencia- pero no arquitectura.<sup>56</sup>

### *La invención del concreto reforzado*

El desarrollo del concreto como material en la construcción se dio a partir de 1774 en Londres con la construcción del faro de Eddystone, por el ingeniero John Smeaton. Surgió como un compuesto de cal viva, arcilla, arena y escorias metálicas machacadas y mezcladas para simular la piedra, que una vez fraguado, adquiriría una gran resistencia. En 1884 Joseph Aspdin desarrolló el cemento Portland (cemento hidráulico que se endurecía con la acción del agua) y paulatinamente se trasladaron estos inventos a Francia. La aportación más importante en este país fue de François Coignet quien descubrió en 1861 una técnica para reforzar el concreto con una tela metálica, pero no fue sino hasta el periodo comprendido entre 1870-1900 cuando se presentó el desarrollo más intenso del concreto reforzado.

François Hennebique, constructor francés, generó un monopolio de concreto reforzado y era dueño de todas las patentes hasta que en 1890 el ingeniero Paul Cottacin patentó un sistema híbrido que tuvo como base el uso del concreto reforzado con tabiques, incrustados mediante alambres, generando interés entre arquitectos como Anatole de Baudot, a quien llamó la atención la estructura aparente como fundamento válido para la expresión de la arquitectura. La desnudez y pureza de los soportes de St. Jean de Montmatre, el efecto de las vigas de concreto



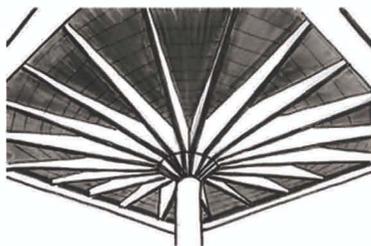
18 L. G. Mouchel, **New Bridge Street Goods Station & Warehouse**, Newcastle, 1901

19 Anatole de Baudot & Paul Cottacin, **St. Jean de Montmatre**, París, 1894-1904

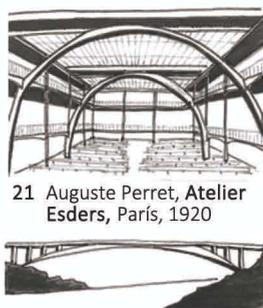
<sup>56</sup> *Ibidem*, p. 74.

continuas y el uso de vidrio para la iluminación, consiguieron que los fundamentos góticos se superaran con las posibilidades crecientes que ofrecía este nuevo material estructural.

Robert Maillart, discípulo de Hennebique, sostuvo que debía eliminarse todo aquello que no fuera funcional; es decir, la expresión de todo cuerpo debía ser su propia estructura. La aportación del ingeniero suizo radicó en que puede reforzarse una losa de concreto de manera que puede prescindirse de vigas, transformando así placas y losas en superficies de soporte activo. Aplicó estos principios para diversos puentes que le dieron reconocimiento, como el puente en Tavanasa y el de Saanginatobel, una de las pocas obras contemporáneas donde la solución del problema estructural se aproxima a la pura expresión plástica. “El ingeniero estaba tan habituado a emplear aquellos materiales elementales que solamente ofrecen un soporte de una sola dimensión, que éstos se convirtieron ya en su segunda naturaleza, y le mantuvieron apartado de otras posibilidades. Tal era el estado de cosas cuando fue introducido el concreto armado; y de momento, no se produjo cambio alguno.”<sup>57</sup>



20 Pierre Luigi Nervi, **Palazzo del Lavoro**, Turín, Italia, 1959-1961



21 Auguste Perret, **Atelier Esders**, París, 1920

22 Robert Maillart, **Puente en Salginatobel**, 1930

Otro de los ejemplos de unión entre arquitectura e ingeniería fue Auguste Perret (1874-1954), quien siempre reveló en sus obras la sencilla utilidad de los esqueletos de

concreto armado. Los diseñadores de estructuras, ingenieros y arquitectos de la época entendieron y exploraron las posibilidades del concreto reforzado como material estructural y material, con una expresión formal que permanece hasta nuestros días.

La figura más importante del movimiento neo-gótico francés fue Eugène E. Viollet-le-Duc (1814-1879),<sup>58</sup> teórico francés que se opuso al racionalismo clásico francés para apoyar el movimiento del *racionalismo estructural*. Situó al gótico en primer lugar, dentro de su contexto social debido a la apreciación que tenía por su integridad estructural. Valoraba particularmente que la expresión arquitectónica emergiese directamente de la forma derivada de la solución a los problemas estructurales. Apoyó el vínculo existente entre sinceridad estructural de la arquitectura gótica con la nueva arquitectura de hierro y vidrio de la época.

Por otro lado, Antonio Gaudí (1852-1926), arquitecto catalán reconocido por su creatividad ilimitada en términos estructurales, adquirió una formación cultural con influencia de Le-Duc, Ruskin y Richard Wagner. Esto lo condujo a defender una arquitectura autóctona generada por formas expresivas totalmente innovadoras. Aprovechó las nuevas posibilidades tecnológicas del siglo XX, como parte del movimiento del racionalismo estructural y formó parte de la tendencia arquitectónica expresionista (particularmente expresionismo religioso).

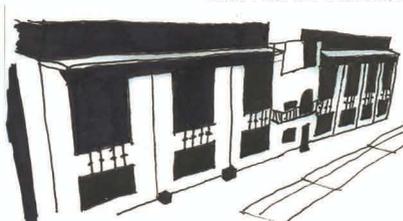


23 Antoni Gaudí, Capilla de la Col. Güell, Santa Coloma de Cervelló, 1908.

## El Racionalismo Estructural

<sup>58</sup> Sobre Viollet-le-Duc, véanse: Eugène E. Viollet-le-Duc, *Discourses on architecture*, Nueva York, Grove Press INC., 1959, vol. I y II y E. Viollet-le-Duc, *Entretiens sur l'architecture*, A. Morel, 1872.

Otros representantes de este movimiento (1880-1910) fueron Victor Horta quien alcanzó una expresión espectacular y fluida gracias a la estructura de sus volúmenes y Hendrik Petrus Berlage, cuyas propuestas revelaron siempre una honestidad estructural. “Ante todo, el muro debe mostrarse desnudo en toda su pulcra belleza, y cualquier cosa pegada a él debe rechazarse como una vergüenza.”<sup>59</sup> El proceso consistía en simplificar el *parti* y su estructura hasta alcanzar una forma austera.



24 Charles Rennie Mackintosh, *Escuela de Arte en Glasgow*, 1897 (remodelación 1906)

La Escuela de Arte en Glasgow es una de las obras que mejor exponen el pensamiento del racionalismo estructural, cuyo diseño se atribuye a Charles Rennie Mackintosh (1868-1928), quien logró destacar el edificio por el uso de materiales, tanto tradicionales como nuevos, simpleza

en el tratado superficial y un uso complejo y fluido del espacio y de la luz.

El arquitecto de Moravia Adolf Loos (1870-1933), contemporáneo de Olbrich y Mackintosh, rechazó todo ornamento influido por las teorías de Wagner sobre la honradez conceptual y escribió libros y artículos sobre lo práctico y lo útil en la arquitectura.<sup>60</sup> Otro representante de este movimiento fue Otto Wagner, quien luchó para mitigar la dependencia de las formas historicistas, afirmando que “nada que no sea práctico puede ser hermoso”. Entre sus aprendices se encontraban Josef María Olbrich y Josef Hoffmann, quienes formaron parte del grupo *La Secesión* en Viena, que rechazaba los estilos del pasado. Por otro lado en Amsterdam, Hendrikus Berlage consiguió en sus edificios gran sobriedad y dignidad mediante el uso honesto y artesanal de los materiales y la estructura.<sup>61</sup>

59 Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007, pp. 71.

60 Para ampliar información, véase: Adolf Loos, *Ornamento y delito*, Barcelona, Gustavo Gili, 1972.

61 Para ampliar información véase: John Ruskin, *Las siete lámparas de la arquitectura*, Pamplona, Aguilar, 1964, pp. 57-95, y Peter Collins, *Los ideales de la arquitectura moderna; su evolución (1750-1950)*, Barcelona, 1998.

El problema del alto edificio de oficinas es una de las más estupefactas una de las más maravillosas oportunidades que el Señor de la Naturaleza en Su benevolencia haya ofrecido jamás al arrogante espíritu del hombre.

Louis Sullivan

La Escuela  
de Chicago

Las construcciones de la escuela de Chicago remiten a Estados Unidos de la década de 1880. Con esta expresión se hace referencia al conjunto de obras que formaron parte del centro administrativo de la ciudad, convertido en el mayor centro de intercambio y nudo ferroviario de Estados Unidos. Después del incendio en Chicago de 1871, se reconstruyó la ciudad e incrementó el valor de los solares edificables; causa que provocara el nacimiento de los rascacielos, primero con materiales pétreos y después con estructura metálica. El inicio de la construcción de rascacielos no hubiera sido factible sin el advenimiento del ascensor (1852), y particularmente del ascensor eléctrico (1880); sin las innovaciones estructurales de la construcción con hierro y las nuevas instalaciones de teléfono y correo.

Los primeros edificios característicos de esta época fueron los destinados a firmas industriales, compañías de seguros, grandes hoteles y edificios donde se encontraban reunidas oficinas, teatro y hotel, como el Auditorium de Dankmar Adler y Louis Sullivan. Los edificios presentaron en su estructura tres partes principales: basamento utilizado como área pública, desarrollo, donde se realizaban las actividades para las que estaba destinado el edificio y remate como elemento de cerramiento. Para poder solucionar todos los retos ingenieriles que trajo consigo este tipo de construcción se recurrió a los principios del precursor del movimiento, el ingeniero-arquitecto William Le Baron Jenney, quien terminó sus estudios en la Escuela Politécnica de París y construyó en 1885 el Home Insurance Building, con una estructura genuina compuesta por un esqueleto metálico, superada tres años después por el Tacoma Building de Holabird y Roche. Estos arquitectos e ingenieros pueden



25 Burnham & Root, **Reliance Building**,  
Chicago, 1890

incluirse entre la familia de los “estructuralistas”,<sup>62</sup> donde destacaron principalmente el Reliance Building, iniciado en 1890 por Burnham y Root y el Monadnock Building, terminado en 1891, que representó una de las últimas torres de mampostería, donde no se utilizó ornamentación ni moldura alguna, lo que anunció el comienzo de una nueva era. La cimentación de este edificio era de concreto reforzado y fue el primer uso que se le dio a este material en sentido estructural.

En la segunda tendencia, la neorrománica, destacaron entre otros, Henry Hobson Richardson, quien confiaba todo el programa arquitectónico a la solución estructural, y Louis Sullivan con Dankmar Adler, cuya obra quizás más significativa fue el Auditorium Building (1887-89):

Yo diría que sería estupendo para nuestra estética que nos abstuviésemos completamente de usar ornamentos durante unos años, con el fin de que nuestros pensamientos pudiesen concentrarse plenamente en la producción de edificios bien configurados y bonitos en su desnudez. [...] Habremos aprendido, sin embargo, que el ornamento es mentalmente un lujo, no una necesidad, puesto que habremos distinguido las limitaciones así como el gran valor de las masas sin adornos.<sup>63</sup>

Aunque no se les puede atribuir a Sullivan ni a Jenney la invención del rascacielos, entendido como un edificio conformado con varias plantas -pues el antes mencionado bloque Monadnock, ya había alcanzado una gran altura con muros de mampostería- sí se le puede atribuir a Sullivan la innovación de un lenguaje arquitectónico congruente con las

62 Renato de Fusco, *Historia de la arquitectura contemporánea*, Madrid, Celeste Ediciones, 1994, pp. 80..

63 Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007, p. 51.

estructuras de gran altura. La materialización de sus principios se logró en el Guaranty Building, donde confirmó su lema “la forma sigue a la función”.

En 1893 el novelista Pablo Bourget expresó la impresión que le causó su visita a Chicago como

la pura fuerza de la necesidad como principio de belleza... Existe tan poco capricho y fantasía en estos monumentos y en estas calles, que parecen ser obra de cualquier fuerza impersonal, irresistible, inconsciente como una fuerza de la Naturaleza, al servicio de la cual el hombre no ha sido más que un dócil instrumento. Es, esta expresión de la impresionante inmensidad del comercio moderno, lo que da a la ciudad un sentido de tragedia y, en mi sentir, de poesía.<sup>64</sup>

El movimiento de la Escuela de Chicago aportó entre otros aspectos la innovación en el diseño de esqueletos de hierro, la utilización de cimientos flotantes (debido a la baja compresibilidad del suelo en Chicago), la ventana extendida horizontalmente y la fusión entre arquitectura e ingeniería generando una expresión única. La Feria Mundial de Chicago (1893) marcó el final de una intensa actividad en la ciudad y dio paso al protorracionalismo y al *Art Nouveau*.

A partir de este momento histórico las preocupaciones de los arquitectos y de los ingenieros tomaron diferentes rumbos. Los primeros vieron con la llegada de la Revolución Industrial una artesanía destruida; las artes y oficios mantuvieron una actitud retrospectiva y reconocieron una sociedad descontenta. El interés de los ingenieros, por otro lado, estaba centrado en los nuevos descubrimientos y en el rápido avance y desarrollo tecnológico, manifestando su indiferencia hacia el arte como tal. El antagonismo de estas

---

64 Sigfried Giedion, *Espacio, tiempo y arquitectura*, Barcelona, Dossat, S.A., 1982, p. 394.

dos tendencias trajo consigo un nuevo movimiento: El *Art Nouveau*.

Fascinados por las novedades industriales y tecnológicas, los arquitectos se apropiaron de las innovaciones de los ingenieros con la necesidad de utilizarlos para una labor dedicada a los oficios, logrando sintetizar una nueva sensibilidad con un nuevo material. El aporte de esta nueva arquitectura radica en que dio origen a una espacialidad interna completamente inédita. La formalización estructural interna -expresada enteramente también al exterior de las obras- representó una superación en la dicotomía arquitectura-ingeniería, inevitable binomio consecuencia del desarrollo industrial, la división del trabajo y las especializaciones.

Los ingenieros trabajaban en las obras públicas en condiciones de gran presión; la exigencia de la velocidad a veces impedía que los diseñadores pensaran con claridad en los problemas técnicos, por lo que gran parte de los conocimientos se adquirieron por experiencias negativas o catástrofes. Los ingenieros más capacitados fueron aquellos que para diseñar los proyectos hacían ensayos sobre modelos, los compartían con sus colegas y de esta manera se desarrolló simultáneamente la ciencia de la estática con la experiencia en obra. Esto produjo que creciera paulatinamente un cuerpo teórico aleado con el práctico, produciendo sucesiones asombrosas de logros en la ingeniería.

Está la figura del ingeniero que emerge sobre todas las demás: es el realizador de las transformaciones que se concretan en la técnica de las nuevas estructuras urbanas [...] una figura singular, capaz de crear obras atrevidas y precursoras de adquisiciones futuras, y sin embargo -al mismo tiempo-, incapaz generalmente de comprender, más allá de su sólido positivismo científico, los valores que se esconden tras el ansia de renovación espiritual de la sociedad, tras las transformaciones estructurales que él mismo va operando [...] Será

necesario reconocer que la personalidad del ingeniero es la única que se enmarca vivamente en las situaciones históricas de la época y que dio una contribución esencial a la transformación de la ciudad.<sup>65</sup>

La verdadera técnica del artista es la técnica de proyectar; todo el arte neoclásico está proyectado con rigor. La ejecución es la traducción del proyecto por medio de instrumentos operativos que no son exclusivos del artista, sino que forman parte de la cultura y del modo de vida de la sociedad [...] En este proceso técnico-práctico de adaptación se elimina necesariamente el acento individual, el capricho genial de la primera invención, pero en compensación la obra adquiere un interés directo para la colectividad [...] El artista ya no aspira al privilegio del genio, sino al rigor del teórico: no ofrece al mundo nuevas ideas para admirar, sino proyectos para realizar. La reducción de la técnica propia del arte a la técnica de la proyectación [sic] marca la separación definitiva del arte de la tecnología [...] y la primera posibilidad de enlace entre el trabajo imaginativo del artista y la naciente tecnología industrial. [...] En la arquitectura, el principio de la correspondencia entre la forma y la función estática lleva al cálculo escrupuloso de las cargas y los empujes, al estudio de la resistencia intrínseca de los materiales: es precisamente la arquitectura neoclásica la que experimenta los nuevos materiales y revaloriza en el plano estético, el estudio técnico-científico de los ingenieros.<sup>66</sup>

---

65 Renato de Fusco, *Historia de la Arquitectura Contemporánea*, Madrid, Celeste Ediciones, 1994, pp. 37-38.

66 Giulio Carlo Argan, *Arte moderno 1770-1970*, Valencia, Ed. Fernando Torres, 1977, pp. 19.21.

# CAPÍTULO III

## ARQUITECTURA DEL SIGLO XX E INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Lejos estoy de creer que el estilo [...] con poca exactitud, se ha denominado estilo económico, de bajo coste. No; éste es el más costoso de todos los estilos. Muchas horas de pensar humano, muchísimo pensar, infatigable investigación, incesantes experimentos. Su sencillez es la de la exactitud, casi podríamos decir la de la justicia.

Horatio Greenough

El crecimiento del capitalismo a lo largo del siglo XIX en Europa tuvo gran impacto en la industria de la construcción. En esta rama se requirió gran cantidad de mano de obra para reducir costos evitando en lo posible la mecanización. Las largas jornadas, las malas condiciones de trabajo, los bajos salarios y la incertidumbre en el empleo, condujeron a la división del trabajo que no sólo compete a los trabajadores. A finales de ese siglo comenzaron a ramificarse las profesiones dentro de la industria. En Gran Bretaña a los arquitectos, ingenieros civiles y contratistas se les unieron los aparejadores, ingenieros municipales, ingenieros de calefacción, de ventilación e ingenieros estructurales.<sup>67</sup> En Estados Unidos el capitalismo avanzaba a pasos agigantados, extendiéndose en la industria y comercio. El uso de estructuras de acero, elevadores y aire acondicionado se extendió a todas las ciudades y se construyeron muchos rascacielos.

Para la segunda mitad del siglo XIX los ingenieros ya calculaban casi todos los elementos de un edificio, desde la cimentación, columnas, vigas, sistemas de piso, armaduras y sistemas de calefacción y ventilación, hasta costos,

<sup>67</sup> Risebero, Bill, *Modern architecture and design*, Londres, Herbert Press, p. 119.

cuantificación de materiales, mano de obra y duración total de la obra. Los grandes avances en la construcción durante 1880 y 1890, al menos en Estados Unidos, fueron posibles gracias a que los desarrolladores reconocieron que sus sueños de bienes raíces podían volverse realidad como resultado del trabajo, no sólo de arquitectos actuando por su cuenta, sino de arquitectos trabajando en colaboración con ingenieros.<sup>68</sup> Debido a estas estrechas relaciones que se formaron entre ambos profesionistas, los arquitectos encontraron maneras de expresar su lenguaje en los nuevos edificios utilizando novedosos materiales, al tiempo que los ingenieros tuvieron la habilidad de trasladar la complejidad del cálculo a procedimientos más simples y sencillos. El principio de que la precisión meticulosa no es necesaria, permitió afirmar que el arte de la ingeniería se encuentra en la aproximación y el uso de factores de seguridad (concepto recién descubierto), lo cual condujo a la generación de una nueva ola de ingenieros que expresaron su propio lenguaje en obras arquitectónicas.

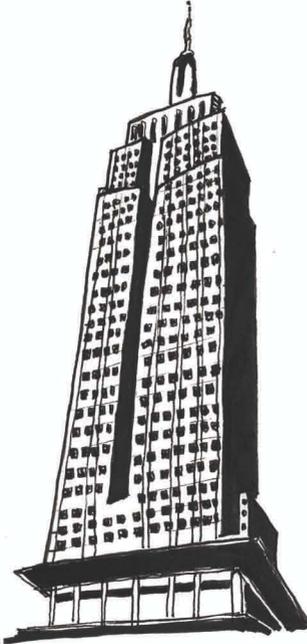
El diseño funcional de los nacientes ingenieros era apropiado para la construcción de fábricas, naves industriales o almacenes, considerado económico por su ‘poco significado social’; pues “no había que malgastar los refinamientos del diseño arquitectónico en una fuerza de trabajo que no merecía la menor consideración”.<sup>69</sup> Como consecuencia de ello, el “señor arquitecto” se ocupaba únicamente del diseño de edificios considerados como socialmente importantes, en tanto indicadores de la posición e importancia de sus propietarios e instituciones que representaban. Con mayor frecuencia, el arquitecto se dedicaba exclusivamente a la imagen arquitectónica, asumiendo que las cuestiones prácticas referidas a la estructura, costo y proceso constructivo correspondían al ingeniero, aparejador y contratista. La principal preocupación del arquitecto era el

---

68 Bill Addis, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, p. 451.

69 Bill Risebero, *La arquitectura y el diseño modernos*, Madrid, Hermann Blume, 1986, p. 23.

## Investigación científica en la ingeniería estructural



27 William F. Lamb, *Empire State Building*, Nueva York, 1931



28 Colapso del *Tacoma Narrows Bridge*, Washington, 1940

significado de los estilos arquitectónicos, llevado inclusive a debates académicos.

Los estudios que tuvieron impacto en el campo de la arquitectura y construcción se incrementaron hacia el año 1920. Uno de los campos de estudio más desarrollados fue el de la aerodinámica, debido a la acción del viento sobre los edificios de mayor altura. Los primeros usos del túnel de viento para medir presiones y sus efectos sobre una estructura, se aplicó para el análisis del Empire State Building en Nueva York, al principio de la década de 1930 pero no fue sino una década después cuando se descubrió, con el colapso del Tacoma Narrows en Washington, que los vórtices de viento causaban cargas periódicas sobre las estructuras que podían llevarlas a la falla.<sup>70</sup> Los resultados de la investigación sirvieron como lección para tomar mejores precauciones en los edificios altos y esbeltos construidos principalmente en los años cincuenta.

Otro descubrimiento relevante para la investigación en la ingeniería estructural fue el *strain gauge*, dispositivo que registra el esfuerzo al que está sometido cualquier objeto o elemento. Inventado a principios de 1930, transformó la manera de acercarse a resultados confiables acerca del comportamiento en tiempo real de estructuras sometidas a cargas hasta el colapso, principalmente en grandes obras de infraestructura.

El uso de los modelos a escala fue más frecuente y preciso durante la primera mitad del siglo XX, como parte de la revolución científica en la ingeniería estructural. Los resultados de una

<sup>70</sup> Para ampliar información, véase: Richard Scott, *In the wake of Tacoma: Suspension bridges and the quest for aerodynamic stability*, ASCE Press, 2001.

estructura probada a escala ayudan a predecir, de manera muy acertada, el comportamiento de una estructura con las mismas propiedades y geometría. Sin embargo, no todos los elementos mecánicos pueden calcularse con proporciones lineales, de manera que, aunado a los resultados de las pruebas, se realizaban cálculos manuales y se comparaban para tener mayor certeza. Desde Antonio Gaudí hasta nuestros tiempos, los modelos a escala han sido útiles y han evolucionado de tal forma que, una vez probada la estructura, se obtienen resultados con el fin de compararlos con modelos matemáticos realizados previamente.

Además de predecir el comportamiento estático y dinámico en las estructuras, los modelos a escala jugaron un papel significativo en el diseño acústico y de ventilación en las edificaciones, lo mismo que para prevenir daños por fuego, interacción suelo-estructura y efectos sísmicos. Se intensificó simultáneamente el uso de reglas de cálculo y de métodos gráficos para obtener resultados confiables, así como la elaboración de tablas para interpolar información, lo que en conjunto condujo a que el desarrollo de la ingeniería experimental, como ciencia, transformara casi todos los aspectos del diseño estructural durante la primera mitad del siglo XX.

La extraordinaria belleza inserta en la obra de los ingenieros se basa precisamente en la ausencia de cualquier conocimiento de sus propias posibilidades artísticas, al igual que ocurría con los creadores de las bellas catedrales, que no se daban entera cuenta del esplendor de sus creaciones.

Henry van de Velde (1901)

## La arquitectura de los ingenieros

¿Existe una manera de disminuir espesores y dimensiones de elementos consiguiendo mayores claros y resistencias? ¿Es posible emular las estructuras presentes en la naturaleza, como la cáscara de un huevo, el pétalo de una flor, una concha de mar o el exoesqueleto de un cangrejo?<sup>71</sup> Las respuestas a

<sup>71</sup> Bill Addis, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, p. 480.

estas preguntas las dieron muchos ingenieros estructurales entre 1930 y 1960, distinguidos principalmente por su maestría en el uso del concreto reforzado con formas excepcionales. Entre ellos se encuentran: Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja, Félix Candela, Eladio Dieste, Riccardo Morandi, Anton Tedesko, Eugène Freyssinet, Oscar Faber, Owen Williams, Ove Arup, Bernard Lafaille, Nicolas Esquillan, René Sarger y Heinz Isler. Aun cuando estos ingenieros trabajaban en colaboración con arquitectos, muchos de ellos también produjeron obra de forma independiente, generando un lenguaje arquitectónico propio, fenómeno poco común en cualquier otra época de la historia de la ingeniería. Como consecuencia del desarrollo experimental e investigación científica como parte del proceso de diseño, estos pioneros en las estructuras ligeras fueron capaces de llevar sus diseños más allá de los límites conocidos hasta el momento, teniendo la seguridad de su completa estabilidad.

Un claro ejemplo de colaboración entre profesionistas tuvo lugar durante la época en que se desarrollaron las cubiertas ligeras. La obra del arquitecto español Félix Candela parecía una promesa sobre el regreso del maestro constructor renacentista, aunque algunos ingenieros estuvieran en desacuerdo. En 1954 argumentó que la matematización de la ingeniería y la teoría de la elasticidad habían atrofiado el pensamiento estructural, y ante estas aseveraciones, algunos ingenieros como Mario Salvadori y Paul Weidlinger calificaron su pensamiento como primitivo, impreciso y sobre simplificado, dudando de los métodos de Candela para calcular cubiertas. Incluso otros como Fred Severud criticaron la falta de horizontalidad de las obras de Candela, asegurando que las curvas no eran funcionales para las necesidades de la sociedad moderna.<sup>72</sup> Asimismo

---

72 Andrew Saint, *Architect and engineer, a study in sibling rivalry*, China, Yale University Press, 2007, p. 411.

rechazó todo intento de mimetismo con los diseños de la Naturaleza, sobre la cual comentó que:

Lo que podemos y debemos hacer es entender que el uso de sus curvas es simplemente la expresión de un principio de continuidad estructural; y esta última cualidad es lo que distingue sus diseños. Debemos estudiar sus principios, no intentar copiar sus formas. Éstas son ricas y abundantes y muestran por doquier los medios por los cuales arquitectos e ingenieros pueden lograr formas bellas y eficientes.<sup>73</sup>



29 Eduardo Torroja, **Hipódromo en Madrid**, España, 1935



30 Félix Candela, **Paraguas experimental** formado por hypars

Tal como afirmó Charles Darwin en *El Origen de las Especies*:

Debe ser un tonto el hombre capaz de examinar la exquisita estructura de un panal, tan bellamente adoptada a su finalidad, sin admiración entusiasta. Los matemáticos nos dicen que las abejas han resuelto en forma adecuada para contener la máxima cantidad de miel con el mínimo consumo posible de la preciosa cera en su construcción.<sup>74</sup>

¡Ojalá los ingenieros y arquitectos fueran así de sensatos!

73 Andrew Saint, *Architect and engineer, a study in sibling rivalry*, China, Yale University Press, 2007, p. 416 (traducción propia).

74 Rudofsky, Bernard, *Constructores prodigiosos*, Ciudad de México, Concepto, 1984, p. 64.

Hace Ya Mucho tiempo que la influencia del arquitecto  
ha decaído, y que el ingeniero, l'Homme moderne par excellence,  
se apresta a ocupar su lugar.

Anatole de Baldot (1889)

## El dilema de los arquitectos

Durante el siglo XIX la mayoría de arquitectos seguían construyendo con materiales tradicionales, aun cuando el uso del hierro y el acero comenzaba a extenderse. Pueden distinguirse tres razones principales por las que los arquitectos consideraban que los materiales modernos “limitaban” sus oportunidades de expresión arquitectónica: en primera instancia, el hierro y el acero sólo se utilizaban para formar el esqueleto; en segunda, en el diseño debían contemplarse todas las restricciones contra el fuego y, tercera, la estructura aparente era un concepto que se negaban a adoptar.<sup>75</sup> Como consecuencia de lo anterior, los ingenieros comenzaron a tomar un papel activo dentro del diseño de edificios, ayudados de dos hechos principales: su dominio sobre el uso del acero, resultado de sus estudios sobre el comportamiento del material, y segundo, el crecimiento de la construcción de edificios con esqueleto de acero iba en incremento, de tal forma que la participación de arquitectos en ese tipo de proyectos fue demeritándose. Los arquitectos enfrentaron así un dilema que oscilaba entre el resguardo heredado de la Escuela de Bellas Artes y los nuevos materiales y procesos constructivos.

Con el advenimiento de [la estructura de acero y el concreto reforzado] el arquitecto gradualmente descubre la importancia que tiene un mayor conocimiento de la ingeniería para su profesión [...] Algunos arquitectos superan esto contratando asistencia de ingenieros o sirviéndose de una consultoría en el aspecto ingenieril para superar los problemas que enfrentan. Pero, no importa qué asistencia

tenga, será un pobre arquitecto quien no estudie cuidadosamente y se informe a fondo sobre los principios primarios de la construcción y el cálculo en que están involucrados.<sup>76</sup>

Con motivo de la amenaza contra la posición del arquitecto y la creencia de que su arte había pasado de moda -producto del advenimiento de los avances industriales-, en 1877 se generaron una serie de discusiones en la Academia, ofreciendo un premio al trabajo que mejor tratara el tema: “la unión o la separación del ingeniero y del arquitecto”. El premio se lo llevó el arquitecto Davioud, quien llegó a sostener que:

El acorde no llegará nunca a ser real, completo y fructífero hasta el día en que el ingeniero, el artista y el hombre de ciencia estén fundidos en una misma persona. Durante mucho tiempo hemos vivido dominados por la disparatada idea de que el arte era una forma de actividad distinta de todas las restantes actividades de la inteligencia humana, teniendo su única fuente y origen en la personalidad del propio artista y, en ella, su caprichosa fantasía.<sup>77</sup>

En Estados Unidos los ingenieros tomaron ventaja sobre los arquitectos, mientras que en Europa el resultado fue diferente. De manera general, los arquitectos en Europa lograron mantener su papel en el diseño y construcción y desarrollaron dos tipologías diferentes: la primera, recubrir con mampostería las estructuras de acero, y la segunda adoptar el concreto reforzado como material de construcción. Esto último permitía mayores libertades formales que el uso del acero.

---

<sup>76</sup> *Ibidem*, p. 511 (traducción propia).

<sup>77</sup> Sigfried Giedion, *Espacio, tiempo y arquitectura*, Barcelona, Dossat, S.A., 1982, p. 221.

## La arquitectura total

La idea de que los logros de la ingeniería estructural pudieran ser centrales en el proceso de diseño, es común hoy en día pero John Wellborn Root fue el primero en articular este principio y estableció sus ideas sobre una “nueva arquitectura”:

Todo material usado para cubrir la estructura tiene que ser, primero, del tipo más duradero y segundo, debe ser forjado en las formas más simples. [...] En ellos deben llevarse a cabo las ideas de la vida moderna -simplicidad, estabilidad, amplitud, dignidad. [...] deberían por su masa y proporción transmitir en un gran sentido elemental la idea de lo grandioso, estable, conservando las fuerzas de la civilización moderna.<sup>78</sup>

En 1969 el ingeniero inglés Ove Arup utilizó por primera vez el término “diseño total” o “arquitectura total”, reminiscencia del libro *The Scope of Total Architecture*, de Walter Gropius (1956). Se refería con esto a que todas las decisiones relevantes de diseño han de ser consideradas como un conjunto e integradas en un todo, como consecuencia de la buena organización de un equipo que tiene la facultad de fijar prioridades. En ese sentido, Arup se refería con el “diseño total” al regreso del ideal de un proceso en el cual muchas especialidades pueden considerarse juntas cuando se diseña un edificio, tarea conseguida no por un individuo, sino gracias a un equipo. Arup es reconocido hasta nuestros días como la figura que mejor representa la conciliación entre ingeniería y arquitectura. Mitad danés, mitad noruego por nacimiento, estudió en la Universidad de Copenhague filosofía y matemáticas. Consideró las materias como muy áridas y se preguntó si podría estudiar arquitectura, porque no se consideraba a sí mismo suficientemente artístico. Estudió

---

<sup>78</sup> Carl W. Condit, *The Chicago School of Architecture: A history of commercial and public building in the Chicago area, 1875-1925*, Chicago, University of Chicago Press, 1964, p. 49.

entonces ingeniería en la Escuela Politécnica Superior de Dinamarca y comenzó a revolucionar la forma de hacer arquitectura e ingeniería.<sup>79</sup>

El ingeniero debe identificarse –en palabras de Arup- con lo que el arquitecto imaginó, para comprometerse con su labor en cuerpo y alma, aun cuando el reto desafíe todas las posibilidades. Esto implica que el ingeniero debe sentir un deseo, no sólo por fomentar la tolerancia hacia la imaginación arquitectónica, sino por acercarse a ella. “Hasta que la muerte nos separe”, fue la frase que pronunció cuando lo premiaron con la medalla de oro del RIBA (Royal Institute of British Architects) en 1966, haciendo notar su firme postura frente al significado de la asociación entre ambas profesiones. La única manera en que puede existir una colaboración armoniosa es cuando el arquitecto, encargado de dirigir un proyecto, muestra un respeto inteligente hacia la tecnología. No es suficientemente buena una obra que primero es diseñada, y después encargada a un ingeniero para que la estructure. Con estas ideas, Arup abre su primera empresa en 1938, la cual cumpliría con tres funciones: constructora, firma de diseño y consultoría de ingeniería. Posteriormente -a sus 51 años- formó la empresa que aún lleva su nombre, donde ingenieros y arquitectos trabajan simultáneamente, y con ayuda del contratista hacen las licitaciones. *Ove Arup and Partners* fue un éxito y diecisiete años después (1963) cambió su nombre por el de *Arup Associates*.

Los lineamientos de *Arup Associates* se ajustan al modelo de arquitectura total y de colaboración constante entre disciplinas.

La compañía se define a sí misma como un conjunto de ingenieros, arquitectos, científicos, administradores y economistas que ganan la vida ofreciendo servicios de diseño; “somos diseñadores totales” –señalan-, y agregan que su actividad profesional impacta e influencia profundamente la

---

79 Véase: Andrew Saint, *Architect and engineer, a study in sibling rivalry*, China, Yale University Press, 2007, pp. 365-394.

vida funcional y espiritual, debido a su “seria responsabilidad” y a su compromiso por ser miembros útiles para la sociedad. Su propósito es transmitir confianza hacia sus clientes, por lo que “siempre obran de la manera más honrada en todos y cada uno de los aspectos que desarrollan”. Como expresión de su compromiso social participan en discusiones y charlas, colaboran con universidades, institutos de investigación y agencias gubernamentales para mejorar la eficiencia en la construcción y darle el poder al diseñador de coordinar todas las decisiones de diseño. Se describen a sí mismos como una “fraternidad” y derivado de ello se proponen contribuir a un problema esencial de la actualidad: cómo sobrellevar la fricción social y la lucha que amenazan a la humanidad. “Podríamos ser un experimento a pequeña escala de cómo vivir y trabajar felices.” La calidad en el trabajo es el principal objetivo de la empresa, y señalan que una casa, un edificio o un puente se compone de varias partes, pero no son las partes las que interesan, sino la totalidad del conjunto.

Para ello la arquitectura es resultado y se nutre de la imaginación ampliada por la exploración artística y por el estudio del espacio a través de la geometría sólida, así como del incremento de las posibilidades derivadas del creciente conocimiento de los materiales y de las leyes físicas, por la invención de mejores modos de construir y por la especialización y la coordinación de esfuerzos y la transmisión de experiencias a través de las generaciones. Para ellos la construcción perdió su humanidad e incluso se volvió una amenaza para el hombre cuando empezaron a prevalecer los intereses económicos y disciplinares sobre las aspiraciones humanas y sobre el deseo de mejorar la calidad de vida de las personas. Por esta razón ahora se requiere de una arquitectura que no sea valiosa sólo por su estética o por su aspecto escultórico, sino una arquitectura que sirva a una aspiración compartida y humana mediante un camino vanguardista y honesto desde el punto de vista práctico, sin perder de vista el elemento artístico. Esto sólo puede

lograrse mediante la integración, mediante una síntesis de diferentes elementos, habilidades y recursos que en conjunto generen un todo, lo cual demanda un gran esfuerzo mental y una pasión implacable por la perfección. “Somos, en resumen, una compañía que tiene como objetivo aprender a trabajar felices y juntos: todas las disciplinas como equipo.”<sup>80</sup> Entre sus obras distinguidas se encuentran la Ópera de Sidney, el Centro Pompidou y el Hongkong and Shanghai Bank con Norman Foster, entre otras.

La colaboración entre disciplinas puede ser de carácter integrativo, como se ha descrito anteriormente, o de carácter dialéctico. En el caso de *Skidmore, Owings and Merrill* (SOM), se buscó formar una compañía cuyo objetivo principal fuera trazar el camino entre diseño y construcción. Fundada en 1936 por Louis Skidmore y Nathaniel Owings, la empresa se distinguió por su “producción”, tal como la definieron sus fundadores hasta que en 1939 se unió como tercer socio el ingeniero John Merrill. Muchos de los colaboradores tenían un interés por conocer todo lo que hacía un arquitecto y un ingeniero. Myron Goldsmith, por ejemplo, se unió a SOM en 1955 y comenzó trabajando como ingeniero estructural, pero en los años sesenta tornó su enfoque hacia la arquitectura. Reconoce Goldsmith:

Aunque trabajé como ingeniero estructural durante muchos años, fue precisamente esta comprensión de que los problemas delicados no sólo eran técnicos, lo que provocó que dejara este campo y regresara a la arquitectura [...]. Espero poder traer, a la solución de problemas visuales, la objetividad del ingeniero estructural, porque éste es un campo donde se debe realmente examinar causa y efecto.<sup>81</sup>

La asociación con Merrill y el interés de los profesionistas por trabajar en ambos campos simultáneamente, condujo a

---

<sup>80</sup> Véase “Aims and means” de Ove Arup en: *Bill Addis, Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, pp. 613-614.

<sup>81</sup> Andrew Saint, *Architect and engineer, a study in sibling rivalry*, China, Yale University Press, 2007, p. 397 (traducción propia).

SOM a colaborar no sólo dialécticamente, sino también de manera integrativa, resolviendo algunos de los problemas detectados por los empleados. Decían que una vez que se integraron personas contratadas por fuera, se incrementó el respeto mutuo entre disciplinas, pues la convivencia mejoró el entendimiento del quehacer del otro.

La colaboración entre arquitecto, ingeniero y constructor no era una idea nueva. Desde el siglo XIX arquitectos e ingenieros trabajaban en conjunto para construir obras que fueron más grandes que la suma de las partes individuales. Sin embargo, el concepto de diseño total (el deseo de lograr mejores diseños al formar un grupo integrado de diseñadores), tuvo sus orígenes en la *Deutsche Werkbund* y la Bauhaus en Alemania, durante la primera década del siglo XX.

## Influencia de la Bauhaus

La Bauhaus fue fundada en una época de incertidumbre general causada por la Primera Guerra Mundial, en la que el movimiento expresionista estaba en su apogeo. Su principio radicó siempre en unir el arte con la industria para hallar el lenguaje de una arquitectura contemporánea. La guerra dejó vacantes algunos puestos de profesor en dos escuelas en Weimar: la Escuela de Arquitectura y la de Artes Aplicadas. La fusión de éstas tuvo como resultado en 1919 la fundación de la Bauhaus por Walter Gropius, cuyo objetivo principal era educar a diseñadores competentes. En 1922 la escuela se reestructuró debido a dos acontecimientos artísticos importantes. El primero fue la Conferencia Internacional de Artistas de Vanguardia (en Düsseldorf), donde se habló de la pureza formal y honestidad constructiva y el segundo fue la exposición de diseño soviético en Berlín. Con ello Gropius instauró cursos para sustituir el expresionismo con diseños racionales cuyo slogan era “no catedrales, sino máquinas para vivir.”<sup>82</sup> Los miembros de la Bauhaus tomaron como

---

82 *Ibidem*, p. 171.

principio en 1918: “la forma sigue a la función”. La idea de que la función estructural debía ser expresada en la forma arquitectónica, fue correctamente acuñada en el término “arqui-estructura”, término propuesto por el ingeniero Derek Sugden, miembro de *Arup Associates*. Entre el profesorado de la Bauhaus se encontraban Johannes Itten, Gerhard Marcks, Lyonel Feininger, Paul Klee, Oskar Schlemmer, Wassily Kandinsky, Lázló Moholy-Nagy, Joseph Albers y Marcel Breuer, entre otros.

Durante catorce años (1919-1933) no sólo se elaboraron las bases de lo que hoy se conoce como “diseño”, sino que la institución hizo una contribución importante para la educación estética. Fue considerada como la primera escuela en que los principios del arte contemporáneo fueron transferidos al campo de la educación. Tomando como antecedente el antiguo concepto de la “obra de arte total”, característico de la Edad Media, o la “obra artística como manifestación unitaria”, se reinterpretó y trasladó al siglo XX, cuando se formó la Bauhaus, como sinónimo de “aspiración unitaria”; sin ser asumida como una realidad del momento, sino como una meta utópica.<sup>83</sup>

El concepto pedagógico de la escuela tuvo sus fundamentos en la reforma de los últimos años de la guerra y los primeros de la postguerra. A manera de resumen pueden enlistarse los siguientes principios:

1. Las academias de bellas artes deben reestructurarse, o en su caso suprimirse, pues no se ha comprobado que tengan un buen resultado durante los últimos 50 años.
2. Como respuesta a lo anterior, se realizará una propuesta de integración entre formación artística y artesanía.
3. Se formarán *talleres* compuestos por dos fases: una de aprendizaje y otra de producción.
4. Bajo el concepto de *escuela unificada de arte* se proponía: fusionar arquitectura, arte y construcción, reuniendo las “artes libres” y las “artes aplicadas”, integrando la facultad

---

<sup>83</sup> Wick, Rainer, *La pedagogía de la Bauhaus*, Madrid, Alianza Forma, 1982, p. 19.

de arquitectura y las escuelas técnicas superiores, junto con las academias de construcción.

5. Como postulado general surgió la *idea de un nivel o escuela preliminar*, que debía servir para la práctica y autoexploración de quien empieza sus estudios (actualmente denominado curso propedéutico). “Un semestre de prueba o de ocio, en el que uno pueda mirar, probar, observarse a sí mismo, permitirá al principiante aclararse y le ahorrará muchos rodeos y decepciones.”<sup>84</sup>

En resumen, la liberación de las capacidades innatas en lugar de la adquisición de métodos; el cultivo de la sensibilidad, en lugar de charlas para adquirir conocimiento y la intención de devolver a los recién ingresados el noble salvajismo de la niñez, son formas en que el alumno adquirirá gradualmente la habilidad para dominar problemas, trabajar con máquinas y estar al tanto de todo el proceso de producción.<sup>85</sup>

Aspiramos a crear una arquitectura clara, orgánica, de una lógica interior radiante y desnuda, libre de revestimientos engañosos y de triquiñuelas; queremos una arquitectura adaptada a nuestro mundo de máquinas, receptores de radio y automóviles rápidos [...] Con la creciente fuerza y solidez de los nuevos materiales [...] y con la nueva audacia de la ingeniería.<sup>86</sup>

Para Gropius, solo una “cooperación entre artistas, comerciantes y técnicos” era garantía para que los objetivos

---

84 Para ampliar información véase: *Ibidem* pp. 57-62, László Moholy-Nagy; *The new vision, fundamentals of Bauhaus design, painting, sculpture, and architecture*, Nueva York, Dover Publications, 1947; Hans Wingler, *La Bauhaus : Weimar, Dessau, Berlín, 1919-1933*. Barcelona, Gustavo Gili, 1980; Eva Forgacs, *The Bauhaus idea and Bauhaus politics*, Nueva York, Central European University Press, 1995; Gropius, “Manifiesto de la Bauhaus” en: <http://www.mariabuszek.com/kcai/ConstrBau/Readings/GropBau19.pdf> (consultado el 11 de octubre de 2012); Walter Gropius, *La nueva arquitectura y La Bauhaus*, Lumen, 1966; Wassily Kandinsky, *Cursos de la Bauhaus*, Madrid, Alianza Editorial, 2003; Frank Whitford, *La Bauhaus*, Barcelona, Destino, 1991.

85 Véase: Reyner Banham, *Teoría y diseño arquitectónico en la era de la máquina*, Buenos Aires, Nueva Visión, 1960, p. 274.

86 *Ibidem*, p. 278.

del pasado y los futuros se cumplieran satisfactoriamente.<sup>87</sup> Aunque de todos modos –expresó– “confío en que el fruto de esta escuela de arte, única hoy en día por su radicalismo, no será un nuevo academicismo cuyo deleite consista en la estilización del cuadrado y cuya base esté dada por un juego burdo de formas mecanicistas.”<sup>88</sup> Para el año 1933, la Bauhaus cerró sus puertas por ser considerada por los nacionalsocialistas una sociedad comunista y bajo represión policial, la forzaron a una autodisolución.

Durante el siglo XX con el uso principalmente del concreto reforzado se abrió la posibilidad de que el arquitecto y el ingeniero desarrollaran en conjunto la forma de los elementos que componían un edificio. Un arquitecto debía escuchar el consejo del ingeniero de qué era posible hacer y qué no, así como de las propuestas de las formas más racionales de los elementos estructurales del edificio. La disolución del vínculo entre formas de pensar y sentir, característica del siglo anterior, provocó un aislamiento entre arquitectura e ingeniería como profesiones hermanas; por ello la ingeniería de ese siglo no impactó significativamente en la evolución del lenguaje arquitectónico del momento y todos los adelantos científicos y técnicos se usaron en la arquitectura sin que fueran precisamente parte de ella. Tal como sucedió hasta el siglo XX y aplicable al día de hoy: hasta que el arquitecto no reconozca las posibilidades arquitectónicas en los nuevos materiales, métodos constructivos e innovaciones estructurales, no podrá formar parte del movimiento en curso ni de la tradición como expresión de su época.

---

87 *Ibidem*, p. 32.

88 *Ibidem*, p. 279.

# CAPÍTULO IV

## ARQUITECTURA E INGENIERÍA EN MÉXICO

Arquitectura. Cosa de razón y de disciplina,  
de sistema, de planteamiento preciso, limpia y clara técnica  
de orden y de rigor: de equilibrio y de jerarquía.  
Bella, claro está, como son bellas la matemática o la química orgánica [...]  
Bella técnica, si se quiere, pero no bella arte.

Mauricio Gómez Mayorga

El desarrollo del conocimiento científico que comenzó a partir del Renacimiento tuvo impacto hasta el siglo XVI con la ingeniería que se practicaba desde entonces, aunque no fue sino hasta el siglo XVIII cuando se formalizó como disciplina, compartiendo responsabilidades con la arquitectura, tanto en Europa como en la Nueva España. La transmisión de conocimientos en la Nueva España a partir del siglo XVII era mediante una estructura vertical y cerrada, con categorías subordinadas entre sí: maestros, oficiales y aprendices. Las máximas autoridades del gremio (corporación urbana integrada por artistas y artesanos de una misma profesión) eran los veedores y los alcaldes, supervisores que aseguraban el correcto funcionamiento gremial. Los veedores cumplían las órdenes de los alcaldes y cabildo, inspeccionaban el proceso de construcción de la obra, la calidad de materias primas y corroboraban que los dueños de los talleres fueran maestros examinados y preparados para cumplir su trabajo.<sup>89</sup> Se les llamaba “albañiles” a todos los arquitectos y constructores de la época distinguidos por ser competentes y hábiles en la solución de problemas de geometría, de sistemas de trazo,

89 María del Carmen Olvera C., “Los sistemas constructivos en las ‘Ordenanzas de albañiles de la ciudad de México de 1599.’ Un acercamiento”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, “Materiales y sistemas constructivos, siglos XVI-XX” Primera Parte, núm. 22, tercera época, México, 2011, pp. 8-9.

de proporciones, en relaciones numéricas y aritméticas básicas, así como enterados de los sistemas de medición y sus aplicaciones en la construcción.

A partir del siglo XIX con el pensamiento ilustrado, la Razón se desarrolló como un quehacer y el naciente espíritu analítico pretendió unificar los fenómenos naturales en una ley universal. Las primeras manifestaciones de esta nueva postura surgieron en Inglaterra y Francia, mientras que en otros pueblos europeos se infiltraron a lo largo del siglo XVIII, entre ellos incluido España. La Nueva España no se quedó atrás y en ese mismo siglo vio consolidarse una comunidad científica y organizaciones culturales como academias y sociedades científicas.<sup>90</sup> El espíritu de exploración para conquistar tierras, propio de la época, mejoró la cartografía y la geografía, donde se aplicaban conocimientos sobre geometría y matemáticas, conduciendo al impulso de la agrimensura, labor común entre ingenieros y geómetras. La medición y levantamiento de tierras no se limitó a problemas agrícolas; extendió sus fronteras a la realización de planos topográficos que causaban gran interés en la administración virreinal. Como ejemplo de ello, se realizó en 1793 el plano topográfico de la Ciudad de México por el teniente coronel Diego García Conde; en 1760 Francisco de Troncoso dibujó una perspectiva de la Ciudad y años después el virrey Revillagigedo encargó al arquitecto Ignacio de Castera uno de los primeros desarrollos urbanos de la ciudad colonial.<sup>91</sup>

Durante los primeros años de la colonización novohispana los artifices y artesanos llegados de España se organizaron en gremios según la actividad que realizaban y cada gremio quedaba bajo la tutela del cabildo o municipio. Todos los maestros de la ciudad debían mostrar en un lugar visible los

## La organización de los constructores

<sup>90</sup> Carlos Chanfón Olmos, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2004, vol. II, t. III, p. 123.

<sup>91</sup> Véase: Regina Hernández Franyuti, *Ignacio de Castera, arquitecto y urbanista de la Ciudad de México 1777-1811*, México, Instituto Mora, 1997, 194 pp.

aranceles de sus oficios, enlistando las actividades que podían realizar y sus precios. Para poder nombrar con el título de “maestro de obras de la ciudad” a quienes tenían la responsabilidad de generar las obras con la mejor calidad, los veedores aplicaban un examen a todos aquellos oficiales que pretendían acceder al grado de maestros, y aunque las ordenanzas novohispanas fueron retomadas de las españolas, las exigencias e innovaciones técnicas propias de la Nueva España –sobre sistemas constructivos y materiales– presentaron características por demás originales.

Los gremios se organizaban jerárquicamente en veedores y alcaldes, como máximas autoridades, seguidos de los maestros, oficiales y aprendices. Estos últimos pertenecían al estrato más bajo dentro del sistema y la única manera de subir el escalafón era demostrando que habían aprendido todos los conocimientos del oficio. El gremio fue adquiriendo un carácter de escuela, donde los maestros enseñaban en su taller o casa, cumpliendo la regulación necesaria por medio de las Ordenanzas.<sup>92</sup> Además de aprender del oficio, el aprendiz recibía casa, vestido, sustento, instrucción moral y religiosa por su maestro, de tal forma que al terminar su aprendizaje podía presentar un examen para tomar el cargo de oficial. Éste también recibía del maestro todo el sustento, aunque no necesariamente vivía en su casa. Una vez cumplido el tiempo estipulado en el contrato, el oficial podía ser ascendido a maestro. El requerimiento era presentar un examen de maestría donde se ponían a prueba todos sus conocimientos y una vez aprobado, el constructor finalmente tenía derecho a poner una tienda, a recibir un salario, a ser propietario de herramientas y tomar parte en juicios y

---

92 Véase: Ana Eugenia Reyes y Cabañas, “Las ordenanzas de arquitectura de la ciudad de México de 1735”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 1, tercera época, México, 2004, pp. 41-49., y María del Carmen Olvera Calvo, “Los sistemas constructivos en las ‘Ordenanzas de albañiles de la ciudad de México de 1599.’ Un acercamiento”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, “Materiales y sistemas constructivos, siglos XVI-XX” Primera Parte, núm. 22, tercera época, México, 2011, pp. 7-43.

concursos de obra. El examen constaba de una parte teórica y otra práctica, estructuradas con base en quince temas o especialidades que debían cubrirse:<sup>93</sup>

1. Formar una casa con todo cumplimiento.
2. Clasificar, trazar y construir arcos y arcadas y los estribos que les corresponden
3. Calcular dimensiones de muros, según su altura.
4. Construir chimeneas francesas y castellanas.
5. Cuantificar e instalar solerías.
6. Atar cuatro portales.
7. Forrar de azulejo y alisares.
8. Conocer de cortes y construcción de pilares.
9. Hacer un caracol de ojo abierto, un caracol de macho.
10. Conocer géneros de capillas (bóvedas).
11. Trazar escaleras.
12. Hacer cuentas de los tejados.
13. Hacer cuentas para el concreto.
14. Hacer cuentas para portadas y sus proporciones, según la disposición del lugar.
15. Trazar plantas de ciudades y saber en qué parte se ha de edificar en materia de sanidad humana.

La organización del proceso productivo regulado por las ordenanzas de 1599 a 1785, se dividió en cuatro etapas: la primera se relacionó con tareas de composición, organización y distribución del espacio; la segunda incluía el cálculo de las dimensiones de los elementos arquitectónicos y estructurales; la tercera comprendía todas las labores de especificación, cuantificación de materiales y presupuestación de costos de obra; y la cuarta contemplaba la ejecución de un proyecto arquitectónico. El examen que se aplicaba a los aspirantes de maestros era de dos tipos: “de los tosco” o “de lo prieto” y “de lo primo” o “de lo blanco”. El primero se aplicaba a cualquier albañil que podía ser analfabeta, quien

---

93 Carlos Chanfón Olmos, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2004, vol. II, t. III, p. 251.

acreditando el examen estaba autorizado para construir obras de adobe, mientras que el segundo tenía libertad de trabajar en fincas de mampostería, hacer avalúos, obras de cantera y tasaciones.<sup>94</sup> Simultáneamente el maestro podía acreditar el examen de manera parcial o total, según la cantidad de temas que dominara del examen. El certificado gremial también llamado “carta de examen” estipulaba con previa aprobación de los veedores, las actividades que podía realizar el constructor, de acuerdo a la aprobación parcial o total de la examinación. En caso de no acatar los límites durante la práctica, se les imponía una multa de 50 pesos de oro y se les quitaba el mando de la obra para dársela a otro maestro competente. El sistema gremial de construcción en el país se conformó por arquitectos, albañiles, canteros, carpinteros y ensambladores y herreros; no obstante, el único gremio con maestros examinados y veedores fue el de arquitectos, por lo que los demás quedaron subordinados –como hasta nuestros días– a los maestros de arquitectura, aunque el término “arquitecto” surgió formalmente en el siglo XVIII.

**EXAMEN  
GREMIAL**

*Candidato a oficial, examen  
de  
"lo toscó"  
"de lo prieto"*

*Aspirante  
a Maestro  
examen "de lo primo"  
"de lo blanco"*

Examen de "lo toscó" o de "lo prieto" como suelen decir, es el examen que se le confiere a cualquier albañil, aunque no sepa leer ni escribir. Su aprobación otorga solamente la facultad de ocuparse en obras de adobe, y cuando se trabaje en obras de otra calidad sólo pueden ocuparse de las tareas propias de un oficial

Quien aprueba el examen "de lo blanco" está autorizado para construir las obras de mampostería y cantería. Además recibe la autorización para poder hacer avalúos o tasaciones, a sabiendas que ninguna tasación sirve sin la firma de un maestro examinado

31

94 Paz Arellano, Pedro, "El examen del constructor (1599-1785)," en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 2, tercera época, México, 2004, p. 29.

La política desarrollista de Carlos III (1759-1788) dudó de la eficacia del sistema gremial y promovió en 1785 la instauración de la Real Academia de San Carlos de Nueva España. Con ello se abolieron las prácticas gremiales y el sistema se clasificó como inoperante. El organismo recién instaurado buscó regular no sólo la construcción de los edificios, sino sus reglas estéticas y teóricas.

Entre los principios fundamentales de la Academia de San Carlos para arquitectura, figuraron:

- El dibujo como eje rector de la carrera.
- La realización de un tratado sucinto de geometría práctica con algunas figuras.
- La elaboración de un tratado de los cinco órdenes de Vignola.
- La terminación del curso completo de matemáticas de Benito Bails.
- La copia de los templos de Vitruvio y de todos aquellos edificios reconocidos.
- La instrucción en formación de mezclas, tipos de tierras, conocimiento de piedras, formación de cimbras y andamios.
- El dominio de la Montea, en el área de matemáticas, dominio en el área de geometría y secciones cónicas, cálculo de la gravedad absoluta y esfuerzos.
- La imitación de obras de “buen gusto”.

La Real Academia de San Carlos sustituyó el sistema gremial en arquitectura y generó un nuevo modelo que rebasó la expresión ornamental neoclásica. El acontecimiento de la certificación académica del constructor en la ciudad de México, nacida en 1785, marcó el establecimiento oficial de la primera escuela de arquitectura en la Nueva España.<sup>95</sup>

---

95 Pedro Paz Arellano y Leopoldo Rodríguez, “El examen académico del constructor: el caso de Francisco Ortiz de Castro, 1793”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 3, tercera época, México, 2005, p. 52.

Aunque el establecimiento de nuevas academias representó un gran paso para la institucionalización de las profesiones, la abolición del gremio tuvo sus inconvenientes. Los aprendices que anteriormente permanecían en una obra todo el tiempo, se convirtieron después en visitantes circunstanciales de obras en proceso; dejaron de aprender de la experiencia y de los hechos y comenzaron a aprender en aulas. Ahora ya existía un lugar específico para enseñar; el aprendizaje dejó de depender de la situación y de los problemas que acontecían en el trabajo que atendía el maestro y los discípulos de la Academia ahora cursaban sus clases de matemáticas y geometría bajo tratados y explicaciones verbales teóricas impartidas por sus tutores. Y “en caso de que los tratados para cuya completa inteligencia se necesite la práctica, han de facilitarla a los Discípulos, llevándolos a hacer las operaciones sobre el terreno, o ejercitándolos en las mismas Salas, según lo exija la materia.”<sup>96</sup> Las salidas a prácticas fueron el único nexo que los estudiantes mantuvieron con la práctica antes ejercida en los gremios.

Los directivos enseñaban además de dibujo, las reglas del “buen gusto, comodidad y hermosura”, así como fundamentos de solidez y fortaleza en las edificaciones. Los estudiantes tenían dos tutores: uno de arquitectura y otro de matemáticas. Los académicos de mérito requerían para recibirse doce años de estudio: primero los discípulos cursaban seis años en la Real Academia de San Carlos y después partían a Madrid para estudiar los siguientes seis años en la Real Academia de San Fernando. Los académicos de mérito podían ejercer el arte de pintor, escultor, grabador o arquitecto, mantenían siempre el vínculo con la Academia y eran posibles candidatos para ocupar las vacantes en los puestos de “Director de Matemáticas y Director de Arquitectura”. A diferencia de la examinación por medio de una prueba de conocimientos, en la Academia el aspirante elaboraba un proyecto mediante el cual era evaluado para

titularse.

Por otro lado, desde finales del siglo XVI aparecieron en la Nueva España los primeros ingenieros militares, dedicados principalmente a construir fortificaciones, a proteger las fronteras y controlar los territorios. A finales del siglo XIX una nueva corriente de pensamiento ligada al conocimiento científico y desarrollo tecnológico impactó en las actividades de la construcción, lo que condujo al desprendimiento de una nueva profesión derivada de la arquitectura: la ingeniería civil. Tomando como ejemplo la escuela de Puentes y Caminos y la Escuela Politécnica en Francia, en la Nueva España se formaron ingenieros civiles capaces de crear y realizar; de resolver los problemas de las obras públicas con la eficacia y conocimiento que caracterizó a los ingenieros militares que se encargaban de otros asuntos.<sup>97</sup> Paralelamente a la inauguración de la Academia de San Carlos, se fundó el Real Tribunal y Colegio de Minas en 1776, aunque las clases comenzaron hasta 1792. A partir de este momento las aportaciones de la ingeniería fueron institucionalizadas. El Colegio de Minería fue la primera escuela de ingenieros en México dedicada a atender al sector económico más importante de la Colonia: la explotación de metales preciosos en la Nueva España. Aunque su trayectoria fue interrumpida por el movimiento de Independencia, por invasiones extranjeras, pugnas políticas y guerras internas, continuó desarrollándose e incluso fue calificada como “El más reconocido establecimiento científico de México [...] Asiento y difusor de las ciencias exactas en México [...] Primer manantial de las ciencias mexicanas que dio origen [...] a fecundantes corrientes del saber que a través del tiempo llegaron hasta escuelas e instituciones de nuestros días.”<sup>98</sup> Para el año 1843

---

97 Para ampliar información véase: Antonio Rumeu de Armas, *Ciencia y tecnología en la España Ilustrada*, Madrid, Colegio de de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Ediciones Turner, 1980 y Santiago Ramírez, *Datos para la historia del Colegio de Minería*, Edición facsimilar de la de 1890, México, Secretaría de Economía y Fomento Industrial, Universidad Nacional Autónoma de México, 1982.

98 Lara De La Paz Ramos y Rigoberto Rodríguez *etal.*, *Formación de ingenieros en el México del siglo XIX*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, p. 23.

se cambió el nombre de Real Seminario de Minas a Instituto de Ciencias Naturales, en donde se ofrecían las carreras de agrimensor, ensayador, apartador de oro y plata, beneficiador de metales y -por vez primera- ingeniero de minas. Después de la caída de Maximiliano y con la restauración de la República, Benito Juárez fundó la Escuela Nacional Preparatoria y se cambió el nombre de Instituto de Ciencias Naturales a Escuela Especial de Ingenieros, para volverse a renombrar en 1883 como Escuela Nacional de Ingenieros. Paulatinamente comenzaron a desvanecerse las carreras relativas a las minas y surgieron las de: ingeniero topógrafo, telegrafista, ingeniero hidrógrafo, ingeniero industrial e ingeniero de caminos, puentes y calzadas.<sup>99</sup>

La Academia Nacional de San Carlos, después transformada en Escuela Nacional de Bellas Artes, tuvo estrechas relaciones académicas con el Colegio de Minería, con cursos en común como Dibujo y Matemáticas, pero no fue sino hasta la creación de una carrera que conjuntaba la arquitectura y la ingeniería civil en la Academia de San Carlos (1855), cuando la relación se estrechó aún más. Lo más valioso de la creación de esta nueva carrera, llamada ingeniero constructor o ingeniero civil, fue que su planeación y organización se realizó por miembros de ambas instituciones y los mismos egresados se convirtieron en profesores, impartiendo clases en ambas instituciones, intercambiando conocimientos y experiencias. Muchos fueron los graduados de esta carrera que se volvió popular, hasta que en 1867 –por disposición de Benito Juárez– se transfirió la carrera a la recién creada Escuela Especial de Ingenieros. Esto trajo consigo la definitiva separación entre profesiones, en donde la carrera de arquitectura permanecería en la Escuela Nacional de Bellas Artes y la de

---

99 Para ampliar información sobre las actividades que realizaban hidromensores y agrimensores en la Nueva España, véase: Yolanda D. Terán Trillo, "Hidromensura, arquitectura y producción en Nueva España", en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 16, tercera época, México, 2009, pp. 37-56.

ingeniería civil en la Escuela Especial de Ingenieros, todo ello con el propósito de modernizar e industrializar el país.

Formalmente no fue sino hasta finales del siglo XIX —a diferencia de Europa en el siglo XVIII— cuando se institucionalizó en México la carrera de ingeniería civil. El plan original de estudios de 1790 en la Escuela de Minería especificaba que durante el primer año los estudiantes debían cursar aritmética, álgebra, geometría, trigonometría plana y secciones cónicas, para continuar en el segundo año con geometría práctica. En 1904 el 62% de los aspirantes optaron por estudiar ingeniería civil entre las demás carreras y tan sólo seis años después, la demanda incrementó a 81%.<sup>100</sup> Las clases siguieron su curso, incorporaron a finales del siglo XIX el programa de prácticas cuyo objetivo principal era enseñar al alumno las aplicaciones de la ciencia, y para 1954 la Facultad de Ingeniería ocupó su nueva sede en Ciudad Universitaria.

CERTIFICACIÓN INSTITUCIONAL DEL CONSTRUCTOR.		
<i>INSTITUCIÓN</i>	<i>BASE JURÍDICA</i>	<i>TÍTULO Y NOMBRE</i>
<i>DEL OFICIO</i>		
Gremio de Albañilería Examen gremial 1599 a 1785	Ordenanzas de Albañilería expedidas y confirmadas en la Ciudad de México, el año de 1599	Otorgado por el Ayuntamiento de la Ciudad de México Maestro Examinado del gremio de albañilería Oficial Aprendiz
<i>DEL ARTE</i>		
Real Academia de San Carlos de Nueva España Examen académico 1785 a 1810	Estatutos de la Real Academia de San Carlos de Nueva España 1785 Estatutos de la Academia Nacional de San Carlos.	Académico de Mérito. Académico Supernumerario Discípulo
<i>DE LA PROFESIÓN</i>		
Escuela Nacional de Bellas Artes Examen profesional 1867 a la fecha	Ley de Instrucción Pública para el Distrito Federal 2 de diciembre de 1867	Título profesional de Arquitecto.

32

<sup>100</sup> Carlos Chanfón Olmos, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2004, vol. II, t. III, p. 305-306. Para ampliar información véase: Sergio López Mendoza (coordinador) *etal.*, *Ingenieros de la Independencia y la Revolución*, México, Secretaría de Economía y Fomento Industrial, Universidad Nacional Autónoma de México, 1987, pp. 43-119.

## Desarrollo de la investigación científica

Con la aparición de nuevos materiales como el acero y el concreto reforzado surgió la necesidad de investigar su comportamiento y el de otros materiales también, suceso que condujo a la fundación de laboratorios de investigación. En Europa destacaron los laboratorios de la Escuela Nacional de Puentes y Caminos en París (fundados en 1867) y el de la Escuela Técnica Superior de Berlín-Charlottenburg. En México era urgente que la Escuela Nacional de Ingenieros (ENI) se actualizara. En 1892 el ingeniero y arquitecto Antonio M. Anza proyectó y construyó, entre 1893-1898, el primer laboratorio de investigación en ingeniería en el país, que sirvió para la difusión que el concreto reforzado recibía a finales del siglo XIX y principios del XX. En una primera etapa se adquirieron dos máquinas para la medición de los coeficientes de la resistencia de los materiales; una se compró a la firma Falcot Frères (Lyon) y la otra a Elliot Brothers (Londres). La primera —capaz de realizar pruebas de tensión, compresión y flexión— era una de las dos únicas máquinas universales que existían al momento de su adquisición. La mayoría de los encargos al laboratorio se hicieron por parte de empresas cementeras, petroleras y metalúrgicas. En 1910, el Colegio Militar tomó como ejemplo el laboratorio de Anza y abrió una “Oficina de Experimentación de Materiales”, que estaba constituida por un “gabinete de máquinas de ensayo”, un “laboratorio para análisis químicos” y un “museo de materiales de construcción.”<sup>101</sup>

Desde principios del siglo XIX se impulsó la ciencia y creció la divulgación científica y técnica a nivel internacional. En 1818 se estableció la Institution of Civil Engineers en Inglaterra, en 1848 la Société des Ingénieurs Civils en Francia, en 1852 la American Society of Civil Engineers en Estados Unidos y en 1868 la Asociación de Ingenieros Civiles y

---

101 Véase: Francisco O. Escamilla González, “El laboratorio de resistencia de materiales de construcción de la Escuela Nacional de Ingenieros de México (1892)”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 4, tercera época Tercera, México, 2005, pp. 85-109.

Arquitectos en México, fundada por Manuel F. Álvarez. El ingeniero y arquitecto relataba que el 12 de diciembre del año anterior se reunió con colegas y compañeros en casa del arquitecto Ventura Alcérreca con motivo de establecer una asociación de arquitectos e ingenieros civiles con el fin de “procurar el adelanto de las profesiones y en general del país entero.”<sup>102</sup> La asociación instalada en la Academia de San Carlos sirvió de puente de enlace entre las dos disciplinas dentro del país y con profesionistas extranjeros.

¿Qué somos? ¡Ah! Ésa es la cuestión. Separados, aislados somos unos seres débiles, cuya misión es generalmente desconocida por la sociedad en que vivimos. Nos hallamos perdidos en la turba de proyectistas, confundidos constantemente con los charlatanes y aventureros. Unámonos y luchemos. Conquistemos el lugar que nos es debido en nuestra sociedad, para poder así cumplir mejor con nuestros deberes para con ella. Somos ingenieros: reclamamos en alta voz el puesto que nos es debido; es el del peligro, el de la fatiga, pero también es el del honor; ¡A vanguardia! Somos los exploradores de la humanidad. Si, marchemos rectos con la frente erguida; apliquemos el trabajo y la ciencia para allanar el camino a los que nos siguen: nuestra huella marcará la ruta a las generaciones venideras.<sup>103</sup>

En 1876 por ser acusados de exclusivistas, aceptaron como miembros en la asociación a otros ingenieros: topógrafos, geógrafos y de minas, y en 1846 se fundó el Colegio de Ingenieros Civiles de México.

Después de la Revolución Mexicana los espacios habitables los producían cuatro agentes principalmente: gobierno, iniciativa privada, futuros habitantes y arquitectos, que asumieron el mandato constitucional para promover una

**Práctica  
después  
de la  
Revolución  
Mexicana**

<sup>102</sup> María del Carmen Olvera Calvo, “Miembros de la Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México, entre 1869 y 1896”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 3, tercera época, México, 2005, p.86.  
<sup>103</sup> *Ibidem*, p. 87.

nueva forma histórica de ejercer la práctica profesional, y por tanto, una arquitectura congruente con la nueva etapa histórica. Tanto infraestructura como superestructura edificadas debían erigirse simultánea y prontamente, y eso condujo a que los arquitectos realizaran diversos tipos de actividades. La presión que ejercía la sociedad sobre ellos los obligó a extender sus estudios a campos, que si bien no les eran desconocidos, exigían más dedicación y trabajo. En esta reformulación del campo profesional del arquitecto, su labor reflexiva y cultural desempeñó un papel importante, dejando atrás la conceptualización de considerar el valor estético como el *summum* de su actividad.

La Sociedad de Arquitectos Mexicanos (SAM), consolidada en 1919 se separó de los ingenieros con quienes había estado fusionada desde 1868 y para 1933 comenzó una nueva etapa de racionalidad. Dos años antes se llevó a cabo la Primera Convención Nacional de Arquitectos Mexicanos, con sede en la Academia de San Carlos, donde se discutieron aspectos de la práctica profesional; académicos, teóricos, prácticos y políticos respecto a la planificación, educación profesional del arquitecto, sindicalización, urbanismo y habitación obrera. En 1932 se formó la Escuela Superior de Construcción, donde se dio primacía a la formación técnica frente a la de humanidades. Tenía por objeto “formar al ingeniero o director de la obra técnica de conjunto [...] el ingeniero constructor capacitado a fondo para construir y el ingeniero arquitecto capacitado para construir y proyectar”,<sup>104</sup> hasta que cinco años después (1937) se integró con otras escuelas y se creó el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Fue en el foro de deliberación conocido como “Pláticas del 33” donde los funcionalistas afirmaron que las necesidades subjetivas de los habitantes debían quedar sujetas a los dictados de la técnica y economía. La belleza era la armonía

---

104. Ramón Vargas Salguero, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2009, vol. IV, t. I, p. 47.

en la cual estaban sujetas las condiciones técnicas.<sup>105</sup> La nueva etapa del capitalismo (impulso de la industria y el comercio) llevó al espíritu postrevolucionario a su fin en la arquitectura. Ciudad Universitaria puede ser considerada como la obra que representa el declive de la arquitectura de la revolución, pues se dejó entrar el “estilo internacional”; fue la clausura de una búsqueda y el inicio de una arquitectura moderna.

A partir de la década de los treinta la obra pública y privada fue controlada por maestros de obra y principalmente por ingenieros de la UNAM, del IPN y posteriormente del Tecnológico de Monterrey. Las escuelas de arquitectura, al menos en el interior de la república, eran escasas, por lo que los ingenieros tomaron ventaja en el desarrollo de la actividad profesional. A partir de la propia práctica de los ingenieros, se sintió la necesidad de buscar una arquitectura moderna congruente con las corrientes que se estaban desarrollando en la capital, donde se encontraban la mayoría de los arquitectos titulados del país. En 1933 eran 135 arquitectos reconocidos como aquellos que iniciaron una nueva etapa que proponía una manera diferente de hacer arquitectura. Influenciados por sus maestros porfirianos, se distinguieron entre otros, Carlos Obregón Santacilia, Juan Segura, Vicente Mendiola, José Villagrán, Juan Legarreta, Juan O’Gorman, Federico Mariscal y Piña, Alfonso Pallares, Carlos Lazo y José Luis Cuevas Pietrasanta.<sup>106</sup> El esqueleto de acero que facilitaba la ventilación e iluminación en espacios públicos, comenzó a expresarse a manera de un funcionalismo tímido, que se avergonzaba de su propuesta dentro del contexto rural donde se encontraba y se escondía tras fachadas y detalles neocoloniales. Contradictoriamente en los espacios destinados a la salud como dispensarios, laboratorios y hospitales, los arquitectos tomaron conciencia de que no era necesario seguir las formas y materiales del pasado colonial y

---

<sup>105</sup> Véase: *Pláticas sobre arquitectura*. México, 1933, México, Sociedad de Arquitectos Mexicanos, 1934.

<sup>106</sup> Ramón Vargas Salguero, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2009, vol. IV, t. I, p. 139.

bajo ese principio, el proceso proyectual fue adquiriendo un carácter más racional.

En nuestro país, la institucionalización de la ingeniería y la arquitectura como profesiones y la fundación de escuelas surgieron de forma atrasada, comparada con Europa. Los primeros ingenieros en La Nueva España defendían el territorio de invasiones y protegían el oro y plata en las fronteras. Estos ingenieros militares posteriormente se transformaron en ingenieros civiles; ya tenían toda la formación, astucia y disciplina y aunado a los conocimientos de los materiales regionales del país, fueron capaces de innovar sin copiar los estilos dominantes en España. Los arquitectos por otro lado, aprendieron desde su formación en las academias a copiar los cánones del “buen gusto” provenientes del viejo continente y en ese sentido, tardaron más en proponer ideas originales propias de una arquitectura vernácula.

Las actividades y enseñanza antes de la academia se estructuraban en dos partes: composición (arquitectura) y dimensiones (ingeniería), y no fue sino hasta después de la fundación de la Academia de San Carlos cuando empezó a decaer todo el sistema; se redujo el campo y comenzó la imitación de lo otro.<sup>107</sup> Quizás la formación de dos polos opuestos desde la formación de la Escuela de Bellas Artes y la Escuela Politécnica en Francia fue el principio de la separación entre arquitectura e ingeniería.

La carrera de ingeniero constructor fue fundada con el propósito de combinar, en una sola, las carreras de arquitectura –impartida en La Academia de San Carlos– e ingeniería civil, impartida en el Colegio de Minería. Sin embargo como puede observarse en los planes de estudio anexos, las materias tenían un carácter más técnico y la composición arquitectónica se relegaba hasta el tercer año de estudios, tal como llegaría a suceder en el IPN con la carrera de ingeniero arquitecto. Cuando se separó el

ingeniero arquitecto de la Academia de San Carlos en dos profesiones distintas, cada una tomó un camino muy diferente y especializado, que se ha extendido hasta nuestros días. La Escuela Nacional de Bellas Artes, en la carrera de arquitectura, relegó nuevamente las clases de composición hasta el tercer año y se enfocó principalmente en el copiado de modelos clásicos y de edificios importantes, reduciendo el campo técnico exclusivamente a una o dos clases que eran esencialmente teóricas. Hasta la segunda mitad del siglo XX, con la Escuela Nacional de Arquitectura, comenzó a adquirir importancia la composición como eje rector de la profesión; comenzó a estudiarse desde el primer año a manera de taller con proyectos particulares, y la imitación de estilos clásicos se sustituyó por análisis de los edificios. Simultáneamente clases como historia y teoría de la arquitectura adquirieron importancia y las clases de estructuras fueron más numerosas.

Por otro lado, la carrera de arquitecto ingeniero en el IPN prácticamente incluyó las clases técnicas y artísticas, de composición y ejecución que tenían como objetivo desarrollar un proyecto desde la idea inicial hasta su ejecución. El inconveniente es que con tan poco tiempo, muchas materias resultaban superficiales y la composición se relegaba hasta el segundo año conjuntándola casi enseguida con el proyecto ejecutivo que todavía no tenía las bases necesarias.

El ingeniero procedió de cifra exacta a cifra exacta, de fórmula a fórmula, de especulación matemática a especulación matemática y desentendiéndose por completo de toda plasticidad, fue transformando la belleza, fue eliminando las apariencias y extrayendo de las realidades, fuerzas y energías mensurables; en cambio, el arquitecto procedió de forma a forma, de armonía lineal a otra armonía lineal superior, de compenetración plástica e individual con la belleza de la naturaleza a otra compenetración plástica más amplia y ligada con la tradición, hasta que llegó a formar y materializar su concepción sujetándola entonces a la ley de la cifra.<sup>108</sup>

---

108 Alfonso Pallares, "Qué es la arquitectura y qué es la ingeniería", México, Sociedad de Arquitectos Mexicanos, Imp. F. Sanz y Cía., Sucs., 1929, pp. 5-9.

# CONCLUSIONES Y VISIÓN A FUTURO

Lo que en realidad hace falta son arquitectos  
que sepan excitar la fantasía de los ingenieros.  
Siegfried Giedon



sí como en la Edad Media los dirigentes y constructores de las obras recibían el reconocimiento o desaprobación pública, en la actualidad debería reconocerse también el mérito no sólo al arquitecto responsable del diseño arquitectónico, sino también al ingeniero que lo hizo posible e inclusive pudo rebasar las expectativas estáticas y estéticas del anteproyecto arquitectónico. Si bien el concepto de producción estética colectiva característico de la Edad Media resulta anacrónico en los tiempos actuales, lo que vale rescatarse de él es la idea del trabajo en equipo simultáneamente y desde los inicios, entre arquitectura e ingeniería y con las demás especialidades en el campo, de manera que puedan generarse obras congruentes e íntegras, representativas de la era actual.

Tanto en ingeniería como en arquitectura es una necesidad que prevalezca la creatividad en términos de iniciativa, propuesta e innovación, de acuerdo con el momento histórico que vivimos, considerando los alcances técnicos actuales y respondiendo a las necesidades culturales y sociales presentes, sin caer en repeticiones obsoletas que degraden la calidad del trabajo realizado. La creatividad desempeña un papel trascendente dentro del campo de la ingeniería, más que el tema del cálculo como tal. La estructura no es materia inerte. Se debe trabajar con la idea de construir organismos vivos en los que cada una de sus partes rebose llena de vida y palpito dejando al descubierto cuáles zonas de sus cuerpos están siendo recorridas por fuerzas. Observar las estructuras de la naturaleza conducirá a

sensibilizar al sujeto de manera que entienda los fenómenos con mayor sensibilidad, y ponga en segundo plano todos los algoritmos y fórmulas algebraicas.

La formación de los artesanos antes de la institucionalización de la enseñanza por medio de las academias estaba basado en la práctica como una formación de ejercicio del oficio y aunque este sistema fue superado en su dimensión histórica y económica, no pueden dejarse de lado los valores que éste contemplaba como el control directo y progresivo de idear un proyecto y ejecutarlo hasta la etapa final. Al contrario de esto, donde el conocimiento se integra con base en las experiencias cotidianas y los diferentes retos y problemáticas a enfrentar, las academias funcionaban primero aprendiendo de la teoría y después practicándola en retos de la vida real. Aunque las escuelas de artes y oficios (copiando un poco la Bauhaus) trataran de emular el viejo sistema de gremios, no era parecido.

La influencia de las escuelas politécnicas del siglo XVIII impactó en la necesidad de establecer una conexión entre la ciencia y el arte, de tal suerte que para el siglo XIX ya se abogaba para que los métodos de construcción influyeran más significativamente en el carácter del proyecto arquitectónico. Contradictoriamente, durante gran parte del siglo XX y en los tiempos actuales parece haberse reducido ese interés, y por esto, el ingeniero se ha inmiscuido más en el campo de acción del arquitecto. Si la tecnología constructiva ha tenido un crecimiento significativo a lo largo del presente momento histórico, ¿no debería incrementarse el interés de los arquitectos por el conocimiento de procesos constructivos y comportamiento estructural en lugar de soslayarse? Y por otro lado, si el ingeniero fuera consciente de que debe adoptar los elementos fundamentales propios del arquitecto como medio para resolver sus propios problemas técnicos, los retos estructurales tendrían respuestas creativas y estéticas. Los nuevos métodos son guías renovadas para la generación de formas e imágenes diferentes propias de nuestra realidad. Asimismo, hace falta que el ingeniero vea al hombre como

hombre cuya morada y hábitat debe contemplar sus costumbres, tradiciones y su medio. Cuanto mayor sea el grado de aproximación recíproca entre disciplinas, más pronto se establecerán principios de una nueva fase histórico-cultural.

Ya lo decía José Villagrán García en una ponencia del 13 de noviembre de 1931 ante la Primera Convención Nacional de Arquitectos Mexicanos:

[...] es la arquitectura, en efecto, una de las bellas artes plásticas que son sus dos hermanas, la pintura y la escultura, constituye la fisionomía material de las ciudades, de las naciones, de las épocas, mas, a diferencia de las otras artes, la técnica de la nuestra exige con todas las condiciones normales que se piden a un artista verdadero; talento educado y sólida cultura total, el ser un verdadero especialista en otro rama, que por sí sola constituye una carrera liberal; me refiero a la ciencia y al arte de construir. Es pues el arquitecto un artista y un constructor a la vez y, para cumplir su verdadera misión social, satisfaciendo necesidades y colmando aspiraciones del espíritu colectivo de su pueblo: un verdadero sociólogo: un exponente.<sup>109</sup>

Retomando las palabras de John Ruskin: los edificios son mucho más nobles cuando hacen descubrir a la mirada inteligente sus grandes secretos estructurales, tal como lo hace una forma animal, que igual puede ocultarse ante el observador descuidado. No por ello deben desdeñarse los hábiles artificios que provocan sentirnos impresionados o confundidos, pues al igual que disfrutamos de la apariencia de las imponentes montañas y cielo, contemplando sólo las nubes circundantes, se siente la misma felicidad cuando uno lee un edificio que se ilumina sólo por sus elementos, que

---

109 Ramón Vargas Salguero y Víctor Arias Montes, *Ideario de los arquitectos mexicanos*, Ciudad de México, Conaculta, 2010, t. III "Las nuevas propuestas", p. 74.

parecen cobrar vida.<sup>110</sup>

La postura de admiración acrítica hacia lo proveniente del exterior, o malinchismo ha provocado desorientación en la arquitectura, desde los años remotos hasta la actualidad. No pretendemos condenar a las corrientes estadounidenses, europeas o asiáticas en arquitectura, sino sólo su imitación, la cual debería sustituirse por una asimilación mediante un análisis que tiene como bases la realidad social y nacional. El análisis de una obra se logra mediante la educación del sentido dimensional, relacionado con las impresiones que el estudiante recibe frente a monumentos u obras que toma como base en su formación y práctica. Resulta también necesario conocer los materiales y texturas, así como las visitas a campo, prácticas tan indispensables como las clínicas para los médicos. Como lo señaló Juan O’Gorman en su intervención en las Pláticas sobre arquitectura en 1933:

Copiar como disciplina pedagógica monumentos de la antigüedad sólo corresponde a imprimir y grabar en la mente de los estudiantes formas e imágenes, producto de necesidades métodos constructivos propios de otra época, tanto más lejanos de nuestra realidad cuanto mayor el progreso de la humanidad. Esto provoca, más que enseñanza, volverse servil a una tradición que es considerada como buena *a priori* sólo por ser antigua.<sup>111</sup>

Como dictaba la arquitectura futurista desde 1914 y cuyos principios se mantienen: debemos construir con todos los recursos de la ciencia y de la técnica, satisfacer al límite todas las exigencias de nuestra forma de vida; debemos generar una arquitectura cuya razón de ser se base únicamente en las condiciones actuales, cuyos valores estéticos estén en perfecta armonía con nuestra sensibilidad. Este tipo de

---

110 John Ruskin, *Las siete lámparas de la arquitectura*, Pamplona, Ediciones Aguilar, 1964, pp. 63-64.

111 *Pláticas sobre arquitectura*. México, 1933, México, Sociedad de Arquitectos Mexicanos, 1934, pp. 13-25.

arquitectura no debe estar sujeta a ninguna ley de continuidad histórica y tiene que ser tan nueva como nuestro estado anímico.<sup>112</sup>

Vale la pena retomar lo que desde finales del siglo XIX postulaba Jean-Nicolas-Louis Durand, profesor en la Escuela Politécnica en Francia de 1797 a 1833, quien educaba a los estudiantes bajo la postura de que la arquitectura no era el arte de *construir*, sino el arte de *concebir*. Él llamaba arquitectura al resultado de la producción de la mente y de la creación, e instruir en las metodologías de diseño fue la base de todas sus clases. Otros teóricos como Jean Rondelet (1743-1829), creían que los estudiantes debían dominar temas sobre matemáticas y construcción antes de proseguir con materias más avanzadas durante su carrera.

La arquitectura no es un arte como la pintura y escultura cuyo único propósito es complacer y en el cual el artista, al llevar a cabo su trabajo, puede abandonarse enteramente al calor de su imaginación. Es una ciencia cuyo objetivo esencial es construir edificios sólidos que desplieguen las formas más finas y las dimensiones más adecuadas para unificar todas las partes necesarias para cumplir su propósito.<sup>113</sup>

El patrón de la educación en Francia para arquitectos e ingenieros, entre 1750 y 1850, fue el de la divergencia. El gobierno ese entonces requería fuerza militar, así que el 85% de los egresados de las escuelas politécnicas ingresaban a dicho servicio. Todos los ingenieros destinados a la ingeniería militar, civil o minera cursaban un módulo preliminar de tronco común de manera que estuvieran listos para servir al Estado. La minoría restante de estudiantes que tenían más capacidad continuaba con los siguientes años de estudio intensivo y práctico en las llamadas “escuelas de aplicación”.

---

112 Ulrich Conrads, *Programas y manifiestos de la arquitectura del siglo XX*, Barcelona, Lumen, 1973, p. 52.

113 *Ibidem*, p. 437.

La aplicación sistemática de matemáticas y ciencia a la tecnología, aunado al crecimiento de subdisciplinas dentro de la ingeniería, separó el desarrollo y la arquitectura comenzó a jugar un papel menor. Tal como reclamó un estudiante de la Bauakademie respecto a las escuelas politécnicas: “por fuerza nos quieren convertir simultáneamente en arquitectos e ingenieros y lo único que logran es que en verdad sin ser ni arquitectos ni ingenieros, seamos sólo diletantes en ambos campos, simples administradores con conocimiento técnico.”<sup>114</sup>

Un éxito dentro de las escuelas técnicas fue la Eidgenössische Polytechnikum (ETH) en Zurich. Desde su fundación en 1855, ofreció la carrera de arquitecto-ingeniero con los mejores maestros de cada profesión. Ahí se estudiaban cinco horas de cálculo por semana, cuatro de geometría descriptiva y diseño se cursaba hasta el segundo año cuando los estudiantes ya estaban técnicamente capacitados. Otra escuela distinguida fue la Illinois Industrial University, cuyos principios eran similares: primero se reforzaban habilidades técnicas, dibujo se cursaba en el segundo año y taller de diseño en el cuarto, hasta que en 1892 se agregó a la carrera una especialización de cuatro años en “ingeniería arquitectónica”.

El siglo XIX es reflejo del periodo de lucidez remontado al Renacimiento, representando el triunfo de la ciencia y de su aplicación práctica. El cálculo, por ejemplo evolucionó mucho en el siglo XX en las matemáticas e ingeniería. Un arquitecto no debe dominar una serie de fórmulas matemáticas que causen respeto y sean vistas como verdades intangibles frente a las otras personas, porque el rigor y precisión de un cálculo estructural no es más que un medio más, un instrumento que no es suficiente para diseñar o entender el problema de una obra. El esfuerzo que implica pensar por nuestra cuenta conlleva a las personas a seguir caminos por inercia, que han sido ya trazados por otros, por medio de métodos que si no se

---

114 *Ibidem*, p. 446.

reinvestigan y se repiensen, se convierten en rutina degradándose hasta llegar a convertirse en recetas. El arquitecto e ingeniero deberá tener curiosidad por entender los principios fundamentales en los cuales su técnica está basada.

En la actualidad estudiantes y profesionistas continúan copiando modelos internacionales, tal como fueron enseñados nuestros ancestros en las academias. La globalización de la arquitectura tuvo sus efectos desde la conquista. El plan de estudios de 1931 de la Escuela Nacional de Arquitectura, por ejemplo, incluía clases de mecánica, estabilidad, materiales y procedimientos de construcción, las cuales eran generalmente teóricas y carecían de fundamentos prácticos y/o prácticas de laboratorio. Simultáneamente los estudiantes llevaban la clase de modelado (de guirnaldas y hojas de acanto), cuyo objetivo era copiar estilos clásicos. El plan de estudios que ahora rige en la formación de arquitectos debe transformarse debido a su insuficiencia en el área técnica, específicamente en el área de estructuras. Una práctica común que actualmente se lleva a cabo en la clase de proyectos deriva en que los estudiantes observan imágenes de cómo se desarrolla la arquitectura en Europa y otros países y copian la imagen, sin analizar cuidadosamente lo que el contexto del proyecto en cuestión requiere. Por otro lado, el plan de estudios del IPN, en su carrera de ingeniero arquitecto, ofrece una visión completa de la parte técnica en arquitectura, y logra que el estudiante pueda ser capaz de realizar un proyecto ejecutivo completo; sin embargo, la clase de proyectos se cursa después de los primeros semestres y no se profundiza con todos los créditos que requiere, por lo que la composición arquitectónica se estudia de manera superficial.

Las escuelas de arquitectura, de manera general, carecen de laboratorios donde se experimente con modelos, elementos estructurales y materiales constructivos. La prueba de resistencia de materiales, el comportamiento de diversos elementos estructurales sometidos a cargas

estáticas y dinámicas, los modelos sometidos a un túnel de viento, el entendimiento real de conexiones y la erección de elementos constitutivos básicos de cualquier edificio, son temas fundamentales que todo arquitecto debe adquirir durante su preparación profesional, sin necesidad de acudir a escuelas de ingeniería que cuentan con esas instalaciones.

Aunque teóricamente el plan de estudios del IPN parece ser muy completo por ofrecer una visión práctica de ambas carreras, faltan cursos que integren la técnica y el arte, no sólo estudiando casos aislados sino aplicándolos a casos reales. Lo ideal para que el estudiante comprenda cabalmente un proyecto sería que conciba el proyecto arquitectónico y posteriormente lo diseñara estructuralmente, las cimentaciones, estructura soportante, entresijos y cubiertas, así como las instalaciones y obtuviera tiempos y costos de obra. Personalmente creo que si este plan de estudios se dosificara en más años de estudio, el arquitecto ingeniero sería capaz de conjugar los conocimientos de ambas carreras y ser un profesionalista más competente generando obras más congruentes con el medio y momento histórico en el que vivimos. Por otro lado, el plan de estudios actual de la Facultad de Arquitectura de la UNAM resulta teóricamente muy completo; el Taller de Arquitectura es el eje rector en la formación del estudiante y clases de teoría, historia, administración, instalaciones, urbanismo y estructuras se reparten equitativamente a lo largo de la carrera. Sin embargo, existen deficiencias con las que se enfrentan los estudiantes. Entre éstas se encuentra la falta de coordinación y retroalimentación entre todas las clases incluidas en el Taller de Arquitectura, así como la escasa aplicación del aprendizaje adquirido en estructuras y construcción a los proyectos realizados en la clase de Proyectos. El área técnica es escueta y superficial, y en el diseño arquitectónico tiene mucha importancia –con lo increíble que parezca– seguir copiando modelos, que si bien no son clásicos, provienen de profesionistas famosos o firmas reconocidas, nacionales e internacionales.

En 1989 el Building Arts Forum organizó una conferencia relativa a las relaciones existentes entre ingeniería y arquitectura, llamada “Bridging the Gap” (Reduciendo la Brecha). La mayor frustración y preocupación por la división entre profesiones la mostraron los educadores. Mario Salvadori, veterano ingeniero estructurista que ha enseñado por años en la Universidad de Columbia, afirmó que arquitectos e ingenieros eran “animales diferentes.” Enseñar matemáticas a arquitectos es inútil, ya que la mayoría sólo entienden las estructuras físicamente, y eso no quiere decir que los arquitectos sean tontos, sino que más bien la arquitectura es mucho más compleja que la física post-newtoniana.<sup>115</sup> En la conferencia “Bridging the Gap” se vislumbró un deseo unánime por el trabajo en equipo, aun cuando afirmaron que no existían problemas de comunicación entre el arquitecto y el ingeniero. El corporativismo comenzó a permear Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial. El proceso comúnmente era gradual: las grandes empresas de ingeniería y construcción tenían un arquitecto o dos que trabajaban en partes específicas de proyectos, hasta que con el incremento del personal apareció un intercambio semi-independiente apegado a las reglas de los cuerpos profesionales de arquitectura, quienes intentaban mantener el diseño alejado de la construcción.

La pregunta por muchos formulada es: ¿qué disciplina domina el campo entre arquitectura e ingeniería? Indudablemente la arquitectura, se respondería, pues en la sociedad actual se considera al arquitecto como un profesionalista más atractivo desde el punto de vista de las modas. Atrae el interés de más estudiantes y tiene más cobertura en los medios de comunicación, lo que puede causar frustración a algunos ingenieros. Como respuesta a esto, algunos ingenieros se han reconfigurado como artistas y, como ya se vio en el capítulo anterior, desde la revolución

---

115 Andrew Saint, *Architect and engineer, a study in sibling rivalry*, China, Yale University Press, 2007, p. 427.

industrial los arquitectos viven con el temor de que los ingenieros tomen su puesto. No obstante, en la actualidad los grandes proyectos urbanos y de infraestructura (estadios, centrales, vías de transporte y puentes) han encontrado en la ingeniería su propio medio de expresión, y se han llevado a cabo discusiones en torno a si la ingeniería es la verdadera arquitectura de hoy. Personalmente estoy en desacuerdo porque la ingeniería es una disciplina con enfoque especializado e insensible frente al contexto urbano y social para ser considerada como la *nueva arquitectura*. Por otro lado, la arquitectura tiene en contra el ser poco racional, superficial y a veces marginal, para poder estar al alcance de la ingeniería. Naturalmente, los arquitectos e ingenieros no pueden ser clasificados completamente como intuitivos o como lógicos, respectivamente pues probablemente los mejores profesionistas son los menos clasificables. Tal como lo expresara Julien Gaudet: “El arquitecto de hoy es, o debiera ser, un hombre múltiple, un hombre de ciencia en todos los problemas relacionados con la construcción y sus aplicaciones, un hombre de ciencia también en su profundo conocimiento de todo el legado de la arquitectura.”<sup>116</sup>

Por su parte, Viollet Le Duc señala que los ingenieros son necesarios, pero el número de artistas en un país no es importante, en tanto la calidad sí lo es. Un oficial con habilidades mediocres —continúa Le Duc— puede aun ejecutar servicios de importancia, pero no cualquiera puede ser un general. En las artes, por ejemplo, sólo existe un grado: eres un general o eres un “don nadie”. Con esto en mente los ingenieros pueden formarse en masa, los artistas sólo pueden ser unos pocos. Y se pregunta después: ¿qué hay de los arquitectos? Las habilidades que requiere un arquitecto son difíciles de enlistar. Con un ímpetu hacia reformar la educación de la arquitectura en Francia, Le Duc se muestra contrario a la Escuela de Bellas Artes, institución que parece no haber entendido toda la cultura y conocimiento que debe

---

116 Reyner Banham, *Teoría y diseño arquitectónico en la era de la máquina*, Buenos Aires, Nueva Visión, 1960, p. 21.

tener un arquitecto al formar a sus estudiantes a la manera antigua, enfocándose únicamente hacia el arte. Insiste en que los arquitectos basan sus diseños en un análisis racional de los materiales y la construcción -antigua y moderna-, pero este análisis requiere un acervo histórico, por lo que la arquitectura no se trata de técnica sino de cultura, y la relación que tiene con la tecnología no debiera ser sólo de carácter científica, sino de selección y de interpretación.<sup>117</sup>

Lo que necesitamos es una estructura, no un análisis.

Henry Cross

Sólo cuando el arquitecto, el albañil y el morador  
constituyen una unidad, es decir, son una misma persona, se puede  
hablar de arquitectura. Todo lo demás no es arquitectura,  
sino la encarnación física de un acto delictivo.  
Friedensreich Hundertwasser (1958)

... feliz aquel siglo antes de que hubiese arquitectos y constructores.

Séneca

La presión inicial de una fuerza viva la llamamos  
"función" y la resultante por la cual tal fuerza invisible se hace  
manifiesta y activa, la llamamos "forma".  
Lo que es necesario comprender es que como cada  
forma contiene su función y existe gracias a ella,  
también cada función busca su forma.

Louis Sullivan

---

117 *Ibidem*, pp. 434-436.

# FUENTES DE CONSULTA

- Addis, Bill, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, 541 pp.
- Banham, Reyner, *Teoría y diseño arquitectónico en la era de la máquina*, Buenos Aires, Nueva Visión, 1960, 316 pp.
- Becerril, Gustavo, “Memorias de las prácticas de mecánica en la Escuela Nacional de Ingenieros, 1882-1906”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 5, tercera época, México, 2005, pp. 118-123.
- Benévolo, Leonardo, *Historia de la arquitectura del Renacimiento*, Barcelona, Gustavo Gili, 1984, pp. 19-122.
- Calatrava, Santiago, *Conversaciones con estudiantes*, Barcelona, Gustavo Gili, 2003, 111pp.
- Candela, Félix, *Hacia una nueva filosofía de las estructuras*, Buenos Aires, Ediciones 3, 1962, 43 pp.
- Cardellach, Félix, *Filosofía de las estructuras*, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1970, 208 pp.
- Chanfón Olmos, Carlos, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2004, vol. II, t. III, pp. 15-418.
- Conrads, Ulrich, *Programas y manifiestos de la arquitectura del siglo XX*, Barcelona, Lumen, 1973, 292 pp.
- De Anda, Enrique X., *Historia de la arquitectura mexicana*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007, 275 pp.
- De Fusco, Renato, *Historia de la arquitectura contemporánea*, Madrid, Celeste Ediciones, 1994, 567 pp.
- De La Paz Ramos, Lara y Rigoberto Rodríguez et al., *Formación*

de ingenieros en el México del siglo XIX, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, 172 pp.

- Díaz y de Ovando, Clementina, *Los veneros de la ciencia mexicana. Crónicas del Real Seminario de Minería (1792-1892)*, México, Facultad de Ingeniería-UNAM, 1998, tt. II y III, pp. 965-3704.
- Escamilla González, Francisco O., “El laboratorio de resistencia de materiales de construcción de la Escuela Nacional de Ingenieros de México (1892)”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 4, tercera época, México, 2005, pp. 85-109.
- Frampton, Kenneth, *Estudios sobre cultura tectónica*, Madrid, Akal, 1999.
- Frampton, Kenneth, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007, pp. 29-40 y 64-73.
- Giedion, Sigfried, *Espacio, tiempo y arquitectura*, Barcelona, Dossat, 1982, 825 pp.
- González Franco, Glorinela, et al., “Notas para una guía de artistas y artesanos de la Nueva España IV”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 7, primera época, México, 1982, pp. 99-134.
- Hernández, Franyuti, Regina, *Ignacio de Castera, arquitecto y urbanista de la Ciudad de México 1777-1811*, México, Instituto Mora, 1997, 194 pp.
- Herrera, María de Lourdes, *La educación técnica en Puebla durante el Porfiriato: la enseñanza de las artes y los oficios*, Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2002, 226 pp.
- Jencks, Charles, *Arquitectura 2000, predicciones y métodos*, Barcelona, Blume, 1975, 146 pp.
- Maria Montaner, Josep, *Las formas del siglo XX*, Barcelona, Gustavo Gili, 2002, 262 pp.

- Nietzsche, Friedrich, *El origen de la tragedia*, Buenos Aires, Terramar Ediciones, 2008.
- Olvera Calvo, María del Carmen, “Miembros de la Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México, entre 1869 y 1896”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 3, tercera época, México, 2005, pp. 86-91.
- Olvera Calvo, María del Carmen, “Los sistemas constructivos en las ‘Ordenanzas de albañiles de la ciudad de México de 1599.’ Un acercamiento”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, “Materiales y sistemas constructivos, siglos XVI-XX” Primera Parte, núm. 22, tercera época, México, 2011, pp. 7-43.
- Paz Arellano, Pedro y Leopoldo Rodríguez, “El examen académico del constructor: el caso de Francisco Ortiz de Castro, 1793”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 3, tercera época, México, 2005, pp. 50-72.
- Paz Arellano, Pedro, “El examen del constructor (1599-1785),” en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 2, tercera época, México, 2004, pp. 25-42.
- Pevsner, Nikolaus, *Pioneros del diseño moderno*, Buenos Aires, Ediciones Infinito, 2003, pp. 85-104.
- *Pláticas sobre arquitectura*. México, 1933, México, Sociedad de Arquitectos Mexicanos, 1934.
- Ragon, Michel, *Historia mundial de la arquitectura y el urbanismo modernos*, Barcelona, Ediciones Destino, 1979, t. I, pp. 106-155.
- Rand, Ayn, *El Manantial*, Barcelona, Editorial Planeta, 1975, 1009 pp.

- Reyes y Cabañas, Ana Eugenia, “Las ordenanzas de arquitectura de la ciudad de México de 1735”, en Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 1, tercera época, México, 2004, pp. 41-49.
- Risebero, Bill, *Modern architecture and design*, Londres, Herbert Press, 1982, 256 pp.
- Risebero, Bill, *Historia dibujada de la arquitectura occidental*, Madrid, Celeste Ediciones, 1991, 271 pp.
- Rosenblueth, Arturo, “La estética de la ciencia” en *El método científico*, Ciudad de México, Ediciones Científicas La Prensa Médica Mexicana, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2000, pp. 83-89.
- Rudofsky, Bernard, *Constructores prodigiosos*, Ciudad de México, Concepto, 1984, 396 pp.
- Ruskin, John, *Las siete lámparas de la arquitectura*, Pamplona, Aguilar, 1964, pp. 57-95.
- Saint, Andrew, *Architect and engineer, a study in sibling rivalry*, China, Yale University Press, 2007, 541 pp.
- Scruton, Roger, *La estética de la arquitectura*, Madrid, Alianza Forma, 1985, 287 pp.
- Stephen K. Victor, *Practical geometry in the high middle ages: Artis cuiuslibet consummatio and the practice de geometrie*, American Philosophical Society, 1979, 638 pp.
- Sullivan, Louis, *Charlas con un arquitecto*, Buenos Aires, Infinito, 1959, 255 pp.
- Summerson, John, *El lenguaje clásico de la arquitectura*, Barcelona, Gustavo Gili, 2008, 176 pp.
- Terán Trillo, Yolanda D., “Hidromensura, arquitectura y producción en Nueva España”, en Instituto Nacional de

Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 16, tercera época, México, 2009, pp. 37-56.

- Torroja, Eduardo, *Razón y ser de los tipos estructurales*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004, 403 pp.
- Vargas Salguero, Ramón, *Historia de la arquitectura y urbanismo mexicanos*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 2009, vol. IV, t. I, 633 pp.
- Vargas Salguero, Ramón y Víctor Arias Montes, *Ideario de los arquitectos mexicanos*, Ciudad de México, Conaculta, 2010, t. II “Los Olvidados”, 210 pp.
- Vargas Salguero, Ramón y Víctor Arias Montes, *Ideario de los arquitectos mexicanos*, Ciudad de México, Conaculta, 2010, t. III “Las nuevas propuestas”, 623 pp.
- Vasari, Giorgio, *Vidas de pintores, escultores y arquitectos ilustres*, Buenos Aires, El Ateneo, 1945, t. I, pp. 241-259.
- Venturi, Robert, *Complejidad y contradicción en la arquitectura*, Barcelona, Gustavo Gili, 1962.
- Villagrán, José, *Teoría de la Arquitectura*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1989, 530 pp.
- Vitruvio Polión, Marco, *Los diez libros de arquitectura*, Madrid, Alianza Forma, 2006, 398 pp.
- Wick, Rainer, *La pedagogía de la Bauhaus*, Madrid, Alianza Forma, 1982, 289 pp.
- [http://www.iesxunqueira1.com/maupassant/Articulos/eiffel\\_y\\_los\\_artistas.pdf](http://www.iesxunqueira1.com/maupassant/Articulos/eiffel_y_los_artistas.pdf)

# REFERENCIAS DE IMÁGENES

Los dibujos de las mismas fueron realizados por Nina Casas G.

- 1 Risebero, Bill, *Historia dibujada de la arquitectura occidental*, Madrid, Celeste Ediciones, 1991, p. 12.
- 2a *Ibidem*, p. 21.
- 2b *Idem*.
- 2c Planta:  
<http://laliteraliteraria.files.wordpress.com/2010/12/plano.png>  
Perspectiva:  
<http://aularte.wordpress.com/2010/08/03/galeria-paseo-por-el-arte/hagiasophia-12thc/>
- 3 Risebero, Bill, *Historia dibujada de la arquitectura occidental*, Madrid, Celeste Ediciones, 1991, p. 47.
- 4 Addis, Bill, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, pp. 98, 101.
- 5a Risebero, Bill, *Historia dibujada de la arquitectura occidental*, Madrid, Celeste Ediciones, 1991, p. 160.
- 5b <http://socialesylengua.blogspot.mx/2011/05/santa-maria-de-las-flores.html>
- 5c <http://otraorillahistoria.foroactivo.net/t2252-arquitectura-y-urbanismo-del-quattrocento-en-italia>
- 5d Risebero, Bill, *Historia dibujada de la arquitectura occidental*, Madrid, Celeste Ediciones, 1991, p. 100.
- 5e *Ibidem*, p. 83.
- 5f

- 6 Risebero, Bill, *Modern architecture and design*, Londres, Herbert Press, p. 59.
- 7 <http://intranet.arc.miami.edu/rjohn/ARC%20268%20-%202003/schink67.JPG>
- 8 <http://media.photobucket.com/image/biblioteca+nacional+d e+paris+labrouste+/HistoriadelArte/13%20Arte%20del%20Siglo%20XIX/01%20Arquitectura%20y%20Urbanismo/01%20Ectecticismos%20Hierro%20y%20Escuela%20de%20Chicago/23 BibliotecaNacionalPars.jpg>
- 9 Risebero, Bill, *Modern architecture and design*, Londres,  
10 Herbert Press, p. 129.
- 11 [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Ironbridge\\_6.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Ironbridge_6.jpg)
- 12 <http://www.visagesdenotrepilat.com/julie/plugins/diaporama/diaporama.php>
- 13 Risebero, Bill, *Modern architecture and design*, Londres, Herbert Press, p. 39.
- 14 <http://www.artandarchitecture.org.uk/images/full/d972b3889bde5ee49f068b9673dbab34fbd3ee85.html?ixsid=ynDCZPadRq4>
- 15 <http://www.franktokerpitt.edu/tokerfile/IMAXWeb/WebPage-ImageF.00181.jpeg>
- 16 [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halle\\_aux\\_bl%C3%A9s\\_-\\_2.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halle_aux_bl%C3%A9s_-_2.gif)
- 17a Addis, Bill, *Building: 3000 years of design, engineering and construction*, China, Phaidon, 2007, pp. 98, 356-357.
- 17b <http://www.ric.edu/faculty/rpotter/cryspal.html>

- 17c [http://es.wikiarquitectura.com/images/c/c3/Crystal\\_Palace\\_Planos\\_1.jpg](http://es.wikiarquitectura.com/images/c/c3/Crystal_Palace_Planos_1.jpg)
- 17d Risebero, Bill, *Modern Architecture and Design*, Londres, Herbert Press, p. 74.
- 18 <http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringitem.asp?id=911>
- 19 <http://www.arthistory.upenn.edu/spr01/282/w4c1i06.htm>
- 20 [http://ececakir.files.wordpress.com/2010/02/8\\_nervi-4.jpg](http://ececakir.files.wordpress.com/2010/02/8_nervi-4.jpg)
- 21 <http://chahuts.com/albums/reconstruction/?item=16902>
- 22 [http://www.organonarchitecture.co.nz/Not\\_PC/salgcen.jpg](http://www.organonarchitecture.co.nz/Not_PC/salgcen.jpg)
- 23 <http://www.artehistoria.jcyl.es/artesp/obras/23669.htm>
- 24 <http://moleskinearquitonico.blogspot.mx/2009/01/mackintosh-escuela-de-arte-en-glasgow.html>
- 25 Risebero, Bill, *Modern architecture and design*, Londres, Herbert Press, p. 131.
- 26 *Ibidem*, p. 132.
- 27 <http://codigopgt.files.wordpress.com/2009/08/6a00d8341ceea753ef00e54f4311478834-800wi.jpg>
- 28 <http://blog.nuestroclima.com/?p=942>
- 29 [http://hormigon.mecanica.upm.es/index.php?module=page\\_master&PAGE\\_user\\_op=view\\_page&PAGE\\_id=75](http://hormigon.mecanica.upm.es/index.php?module=page_master&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=75)
- 30 <http://www.jotdown.es/2011/11/los-hypars-de-felix-candelaria-i/>

- 31 Paz Arellano, Pedro, "El examen del constructor (1599-1785)," en: Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Boletín de Monumentos Históricos*, Núm. 2, Época Tercera, México, 2004, p. 37.
- 32 *Ibidem*, p. 27.

# ANEXOS

## Plan de estudios para la carrera de ingeniero constructor, Academia de San Carlos (1857):<sup>1</sup>

PROPEDEÚTICO	Aritmética, álgebra y geometría Dibujo de ornato Dibujo natural
PRIMER AÑO	Trigonometría rectilínea y esférica Geometría analítica de dos y tres dimensiones Dibujo y explicación de órdenes clásicos de arquitectura Física
SEGUNDO AÑO	Álgebra superior, cálculo diferencial e integral Química inorgánica Copia de monumentos de diferentes estilos
TERCER AÑO	Mecánica racional Geometría descriptiva Geología y mineralogía Topografía, nivelación y geodesia Composición y combinación de las partes de un edificio con los detalles de su construcción
CUARTO AÑO	Teoría mecánica de las construcciones Aplicaciones a la geometría descriptiva Arte de proyectar
QUINTO AÑO	Construcción práctica Composición de los edificios civiles y religiosos Prácticas
SEXTO AÑO	Construcción de caminos comunes de fierro Construcción de puentes, canales, y demás obras hidráulicas Arquitectura legal

## Plan de estudios para la carrera de ingeniero constructor, Academia de San Carlos (1865):<sup>2</sup>

PROPEDEÚTICO	Primer curso de Matemáticas Clase de dibujo de ornato Clase de dibujo de la estampa
PRIMER AÑO	Segundo curso de Matemáticas Física Dibujo de órdenes clásicos
SEGUNDO AÑO	Álgebra Superior y Cálculo Diferencial e Integral Química Orgánica e Inorgánica Copia de Monumentos
TERCER AÑO	Mecánica racional Geometría descriptiva Composición Topografía
CUARTO AÑO	Estática de las construcciones Estereotomía Composición
QUINTO AÑO	Estática de las bóvedas Composición Práctica de las construcciones
SEXTO AÑO	Caminos comunes y de hierro Construcción de puentes y canales

## Plan de estudios para la profesión de maestro de obras, Academia de San Carlos (1865):<sup>3</sup>

PRIMER AÑO	Aritmética y contabilidad mercantil Dibujo de ornato
SEGUNDO AÑO	Geometría elemental Dibujo lineal
TERCER AÑO	Construcción práctica Dibujo

<sup>2</sup> Díaz y de Ovando, Clementina, *Los veneros de la ciencia mexicana. Crónicas del Real Seminario de Minería (1792-1892)*, México, Facultad de Ingeniería, 1998, t. III, pp. 2477-2483.  
<sup>3</sup> *Ibidem*, pp. 2483-2484.

## Plan de estudios para la carrera de arquitecto, Escuela Nacional de Bellas Artes (1922):<sup>4</sup>

PRIMER AÑO	Levantamiento de Planos y Nivelaciones Mecánica General y Cálculo Gráfico Geometría Descriptiva 1° Historia del Arte Modelado 1° de Dibujo Preparatorio del Natural Teoría de la Arquitectura Dibujo Arquitectónico
SEGUNDO AÑO	Conocimiento de Materiales y Útiles de Construcción Estabilidades de las Construcciones Estereotomía y Perspectiva 2° Historia del Arte 1° de Estilos de Ornamentación 2° de Dibujo Preparatorio del Natural 1° Arquitectura Comparada Composición de Elementos de los Edificios
TERCER AÑO	1° de Construcción 3° Historia del Arte 2° de Estilos de Ornamentación 1° de Croquis del Natural 2° Arquitectura Comparada 1° de Composición de Arquitectura
CUARTO AÑO	2° de Construcción Presupuestos y Avalúos 2° de Croquis del Natural 1° de Composición Decorativa 2° de Composición de Arquitectura
QUINTO AÑO	3° de Construcción 3° de Croquis del Natural 2° de Composición Decorativa 3° de Composición de Arquitectura

<sup>4</sup> De La Paz Ramos, Lara y Rigoberto Rodríguez *etal.*, *Formación de ingenieros en el México del siglo XIX*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, p. 41.

## Plan de estudios para la carrera de arquitecto, Escuela Nacional de Bellas Artes (1928):<sup>5</sup>

PRIMER AÑO	Dibujo arquitectónico Dibujo preparatorio del natural, primer curso Geometría descriptiva y trazado de sombras Historia del Arte, primer curso Mecánica general y cálculo gráfico Ornato modelado Teoría de la arquitectura <i>*Prácticas obligatorias durante 30 días, hechas en obras al fin de año.</i>
SEGUNDO AÑO	Arquitectura comparada, primer curso Composición de los elementos de los edificios Dibujo preparatorio del natural, segundo curso Estilos de ornamentación, primer curso Estabilidad de las construcciones Estereotomía y perspectiva Historia del arte, segundo curso <i>*Prácticas obligatorias durante 30 días, hechas en obras al fin de año.</i>
TERCER AÑO	Croquis de edificios Arquitectura comparada Composición de Arquitectura, primer curso Construcción, primer curso (estructura de hierro y de concreto armado) Dibujo y modelado, del natural Estilos de ornamentación, segundo curso Historia del arte, tercer curso Materiales y equipos de construcción <i>*Prácticas obligatorias durante 30 días, hechas en obras al fin de año.</i>
CUARTO AÑO	Croquis de edificios Construcción, segundo curso Composición de arquitectura, segundo curso Composición decorativa, primer curso Dibujo y modelado, del natural Investigación del arte en México Preliminares de planificación <i>*Prácticas obligatorias durante 30 días, hechas en obras al fin de año.</i>
QUINTO AÑO	Croquis de edificios Higiene e instalaciones complementarias en los edificios Composición de arquitectura, tercer curso Composición decorativa, segundo curso Dibujo y modelado, del natural Planificación Presupuestos, avalúos y legislación de edificios <i>*Prácticas obligatorias durante 30 días, hechas en obras al fin de año.</i>

5 Ramón Vargas Salguero y Víctor Arias Montes, *Ideario de los arquitectos mexicanos*, Ciudad de México, Conaculta, 2010, t. II "Los Olvidados", pp. 26-27.

## Plan de estudios para la carrera de arquitecto, Escuela Nacional de Arquitectura, Universidad Nacional de México (1931):<sup>6</sup>

PRIMER AÑO	Topografía del arquitecto Mecánica general y cálculo gráfico Dibujo arquitectónico Dibujo preparatorio del natural Geometría descriptiva y tratado de sombras Ornato modelado Historia del arte Teoría de la arquitectura
SEGUNDO AÑO	Análisis gráfico de las estructuras arquitectónicas, su ornamentación y decoración Estabilidad de las construcciones Composición de los elementos de los edificios Dibujo preparatorio del natural Estereotomía y perspectiva Arquitectura comparada Historia del arte
TERCER AÑO	Construcción Análisis gráfico de las estructuras arquitectónicas, su decoración y ornamentación Materiales y equipos de construcción Composición de arquitectura Dibujo al natural Arquitectura comparada Historia del arte
CUARTO AÑO	Construcción Croquis de edificios Composición de arquitectura Composición decorativa Modelado Investigación del arte en México
QUINTO AÑO	Conferencias sobre urbanismo Higiene e instalaciones Presupuestos, avalúos y legislación de construcciones Composición de arquitectura Composición decorativa dibujo y modelado del natural

Plan de estudios para la carrera de arquitecto,  
Escuela Nacional de Arquitectura, Universidad  
Nacional Autónoma de México (1964):<sup>7</sup>

PRIMER AÑO

- Iniciación al estudio de la arquitectura
- Análisis de edificios
- Geometría descriptiva
- Dibujo
- Taller de proyectos
- Matemáticas
- Estática
- Elementos de construcción

SEGUNDO AÑO

- Historia de la Arquitectura
- Análisis de edificios
- Estereotomía y perspectiva
- Dibujo
- Taller de proyectos
- Matemáticas
- Resistencia de materiales
- Taller de construcción
- Materiales y procedimientos

TERCER AÑO

- Historia de la Arquitectura
- Análisis de edificios
- Dibujo
- Taller de proyectos
- Resistencia de materiales
- Taller de construcción
- Materiales y procedimientos
- Instalaciones de edificios
- Administración de obras
- Urbanismo

CUARTO AÑO

- Historia de la arquitectura
- Taller de proyectos
- Resistencia de materiales
- Taller de construcción
- Materiales y procedimientos
- Instalaciones de edificios
- Administración de obras
- Urbanismo

QUINTO AÑO

- Historia de la arquitectura en México
- Teoría superior de la arquitectura\*
- Historia de la arquitectura moderna\*
- Taller de proyectos
- Taller de construcción
- Materiales y procedimientos
- Resistencia de materiales\*
- Administración de obras\*
- Urbanismo\*

*\*Materias selectivas (tres son obligatorias)*

<sup>7</sup> Ramón Vargas Salguero y Víctor Arias Montes, *Ideario de los arquitectos mexicanos*, Ciudad de México, Conaculta, 2010, t. III "Las nuevas propuestas", pp. 41-43.

## Plan de estudios para la carrera de arquitecto, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (1968):<sup>8</sup>

### PRIMER AÑO

Taller de Diseño Arquitectónico I y II  
Representación Gráfica I y II  
Geometría I y II  
Matemáticas I y II  
Contexto de la Arquitectura I  
Teoría del Diseño I y II  
Teoría de la Arquitectura I y II  
Análisis histórico-crítico de la Arquitectura I y II  
Dibujo I y II  
Dibujo Técnico I  
Diseño I y II  
El Hombre y el Medio  
Orientación Vocacional  
Extensión Universitaria I y II  
Historia de la Arquitectura I y II  
El Medio Ambiente -La Ciudad  
Metodologías de la Investigación  
Taller de Proyectos I y II  
Taller de Construcción I y II  
Estructuras I y II  
Tecnologías Ambientales I y II  
Estática  
Historia de la Cultura  
Arquitectura en México Siglo XX  
Estudios de Caso I

### SEGUNDO AÑO

Taller de Diseño Arquitectónico III y IV  
Representación Gráfica III  
Edificación I y II  
Resistencia de Materiales  
Teoría del Diseño III  
Análisis histórico-crítico de la Arquitectura III y IV  
Conceptos fundamentales del Arte  
Geometría III  
Materiales I y II  
Teoría de la Arquitectura III  
Extensión Universitaria III  
Historia de la Arquitectura III  
Diseño Urbano Arquitectónico Ambiental  
Estudios de Caso II y III  
Taller de Proyectos III y IV  
Taller de Construcción III y IV

	<p>Estructuras III y IV            Administración I y II            Arquitectura Ambiente y Ciudad I y II            Arquitectura Mesoamericana            Instalaciones I y II            Adecuación de Arquitectura al Medio Físico</p>
SEGUNDO AÑO	<p>Análisis y Diseño Estructural I            Administración de Proyectos y Obras I            Urbanismo I            Contexto de la Arquitectura II            Tecnologías Ambientales III            Práctica Profesional Supervisada            Arquitectura México Siglos XVI-XVIII</p>
	<p>Taller de Diseño Arquitectónico V            Protocolos de Construcción I y II            Edificación III y IV            Análisis histórico-crítico de la Arquitectura V            Teoría de la Arquitectura IV y V            Extensión Universitaria IV            Historia de la Arquitectura en México</p>
TERCER AÑO	<p>México I            Taller de Proyectos V y VI            Taller de Construcción V            Estructuras V y VI            Instalaciones III            Análisis y Diseño Estructural II            Técnicas de Presentación            Iniciación al Diseño Urbano            Arquitectura México Siglo XIX</p>
	<p>Taller Integral de Arquitectura I y II            Organización de Obras I y II            Protocolos de Construcción III y IV            Taller de Proyectos VII y VIII            Administración III</p>
CUARTO AÑO	
	<p>Taller Evaluativo de Arquitectura            Organización de Obras III            Seminario de Titulación I            Seminario de Titulación II            Práctica Profesional Supervisada            Optativas</p>
QUINTO AÑO	

**Plan de estudios para la carrera de arquitecto,  
Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional  
Autónoma de México (1981, 1985 y 1993):<sup>9</sup>**

PRIMER AÑO	Teoría de la Arquitectura I Historia de la Arquitectura I El Medio Ambiente -La Ciudad Matemáticas Geometría I Representación Gráfica I Metodología de Investigación Taller de Proyectos I Taller de Construcción I Estructuras I Tecnologías Ambientales I
SEGUNDO AÑO	Historia de la Arquitectura II La Arquitectura y la Ciudad Geometría II Representación Gráfica II Estudios de Caso I Taller de Proyectos II Taller de Construcción II Estructuras II Tecnologías Ambientales II Extensión Universitaria I
TERCER AÑO	Teoría de la Arquitectura II Historia de la Arquitectura III Diseño Urbano Arquitectónico Ambiental Representación Gráfica III Estudios de Caso II Taller de Proyectos III Taller de Construcción III Estructuras III Administración I Extensión Universitaria II
CUARTO AÑO	Teoría de la Arquitectura III Estudios de Caso III Taller de Proyectos IV Taller de Construcción IV Estructuras IV Tecnologías Ambientales III Administración II
QUINTO AÑO	Taller de Proyectos V Taller de Construcción V Optativas I, II, III y IV

<sup>9</sup> <http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/planes.php?pde=0459&acc=est>  
(consultada el 23 de abril de 2013).

**Plan de estudios para la carrera de arquitecto,  
Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional  
Autónoma de México (1999):**

PRIMER AÑO	Taller de arquitectura I y II Introducción histórico crítica Arquitectura en México siglo XX Teoría de la arquitectura I y II Matemáticas aplicadas I y II Sistemas estructurales I y II
SEGUNDO AÑO	Taller de arquitectura III y IV Arquitectura mesoamericana Arquitectura en México siglos XVI al XVIII Teoría de la arquitectura III y IV Arquitectura ambiente y ciudad I y II Instalaciones I y II Sistemas estructurales III y IV Extensión universitaria I y II
TERCER AÑO	Taller de arquitectura V y VI Arquitectura en México siglo XIX Teoría de la arquitectura V Diseño urbano ambiental Administración I y II Instalaciones III Sistemas estructurales V y VI Extensión universitaria III y IV Curso selectivo (1)
CUARTO AÑO	Taller de arquitectura VII y VIII Administración III Curso selectivo (7) Práctica profesional supervisada
QUINTO AÑO	Seminario de titulación I y II Curso selectivo (4) Servicio social

## Plan de estudios en el Real Tribunal y Colegio de Minas (1811):<sup>10</sup>

PRIMER AÑO	Aritmética Álgebra Geometría Elemental Trigonometría plana Secciones cónicas
SEGUNDO AÑO	Geometría aplicada a las operaciones de la Minería Dinámica e Hidrodinámica
TERCER AÑO	Química del reino mineral Metalurgia
CUARTO AÑO	Física subterránea Laboreo de Minas

## Plan de estudios en el Real Tribunal y Colegio de Minas (1826):<sup>11</sup>

PRIMER AÑO	Aritmética Álgebra elemental Trigonometría plana y esférica Aplicación del álgebra a la geometría	* En los primeros dos años se incluyó Dibujo de Paisaje, Principios de Arquitectura y Fábrica de edificios.
SEGUNDO AÑO	Secciones cónicas Cálculo infinitesimal Series Ecuaciones de grado superior Geometría práctica, subterránea y descriptiva	
TERCER AÑO	Física experimental que comprende: Dinámica Hidrodinámica Óptica Polarización Magnetismo Electricidad Elementos de cosmografía y cronología	* En los últimos tres años se incluyó Delineación de máquinas y Cartas Geográficas.
CUARTO AÑO	Química mineral Docimasia (ensayos y metalurgia)	
QUINTO AÑO	Mineralogía que comprende: Oritognosia (conocimiento de los minerales) Geognosia (conocimiento de las montañas) Laboreo de minas	

OBLIGATORIO: Dos años de práctica en minas antes de obtener el Título

## Plan de estudios en la Escuela Especial de Ingenieros (1868):<sup>12</sup>

Geometría Analítica  
Álgebra Superior  
Cálculo Infinitesimal  
Geometría Descriptiva  
Topografía e Hidráulica  
Geodesia y Astronomía Práctica  
Mecánica Racional y Aplicada  
Química Aplicada y Análisis Químico  
Mineralogía, Geología y Paleontología  
Laboreo de Minas y Legislación  
Metalurgia  
Cálculo de Probabilidades  
Hidrografía y Física del Globo  
Estereotomía y Carpintería de Edificios  
Caminos Comunes y Ferrocarriles  
Puentes, Canales y Obras en los Puertos  
Teoría y Práctica de Dibujos Geográficos y Topográficos  
Gimnástica

## Plan de estudios para la carrera de ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (1968):<sup>13</sup>

PRIMER AÑO

Álgebra  
Física Experimental  
Computadoras y Programación  
Álgebra y Geometría Analítica  
Cálculo Diferencial e Integral  
Introducción a la Ingeniería  
Dibujo  
Geometría Descriptiva  
Introducción a la Ingeniería  
Matemáticas I y II  
Comunicación Oral y Escrita  
Cultura y Comunicación  
Álgebra Lineal  
Estática  
Principios de Energética  
Mecánica I  
Probabilidad y Estadística I  
Topografía General y Práctica I  
Optativa de Humanidades  
Química

<sup>12</sup> *Idem*

<sup>13</sup> <http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/planes.php?pde=1055&acc=est>  
(consultada el 28 de abril de 2013).

Cálculo Vectorial  
 Ecuaciones Diferenciales  
 Sistemas Energéticos  
 Construcción I  
 Física I y II  
 Matemáticas III y IV  
 Mecánica II y III  
 Métodos Numéricos  
 Sociología de México  
 Termodinámica  
 Optativa de Humanidades  
 Cinemática y Dinámica  
 SEGUNDO AÑO Comunicación Oral y Escrita  
 Introducción al Comportamiento de los Materiales  
 Topografía II y Prácticas  
 Análisis Gráfico  
 Electricidad y Magnetismo  
 Ingeniería de Sistemas I  
 Mecánica de Materiales I  
 Probabilidad y Estadística II  
 Dinámica  
 Recursos de la Construcción  
 Temas Selectos de Filosofía Cien.-Téc.

Construcción I y II  
 Comportamiento de Suelos  
 Estructuras Isostáticas  
 Geotecnia I y II  
 Geología Aplicada  
 Hidráulica I y II  
 Mecánica del Medio Continuo  
 Mecánica de Materiales II  
 Sistemas Electromecánicos  
 Geodinámica Interna  
 Análisis de Sistemas de Señales  
 Fundamentos de Geología  
 Óptica  
 TERCER AÑO Análisis de Variable Compleja  
 Construcción de Estructuras  
 Diseño de Perforación de Pozos  
 Fundamentos de Fotogrametría y Laboratorio  
 Teoría de Decisiones  
 Matemáticas Avanzadas  
 Estadística  
 Temas Selectos de Historia Literatura Sociedad  
 Abasto de Agua Potable  
 Análisis Estructural I  
 Hidrología  
 Sistemas en Ingeniería Civil I  
 Dibujo Mecánico  
 Hidráulica Básica

	Tesis
	Construcción III y IV
	Introducción a la Economía
	Hidráulica III
	Geotecnia III y IV
	Ingeniería de Sistemas III
	Mecánica de Suelos I y II
	Mecánica de Materiales III
	Planeación
	Sistemas de Alcantarillado
	Sistemas en Ingeniería Civil II
	Impacto Ambiental
	Comportamiento de Suelos
	Electrónica Industrial
	Geodesia Geométrica - Práctica
	Administración en Ingeniería
	Alcantarillado
CUARTO AÑO	Análisis de Muestras Rocas y Fluidos
	Hidromecánica
	Hidráulica Máquinas Transitorios
	Diseño Estructural
	Ingeniería Ecológica
	Sistemas de Transporte
	Seminario de Ingeniería Industrial
	Computación Aplicada
	Electrónica Básica
	Estimulación de Pozos
	Evaluación de la Producción de Pozos
	Instalaciones Sanitarias
	Mecánica de Rocas
	Organización de Obras
	Vías Terrestres
	Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado
	Construcción V
	Concreto
	Carreteras
	Cimentaciones
	Estructuras Metálicas
	Máquinas Desplamto. Positivo
	Obras Hidráulicas
	Catastro
QUINTO AÑO	Captaciones y Conducciones
	Edificación
	Sociología
	Tratamiento de Aguas Residuales
	Recursos y Necesidades de México
	Trabajo Escrito
	Temas Especializados de Ingeniería Civil I, II y III
	Calidad
	Estructuras de Concreto
	Estructuras de Pavimento

**Plan de estudios para la carrera de ingeniero civil,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional  
Autónoma de México (1975):<sup>14</sup>**

PRIMER AÑO	Álgebra Dibujo Introducción a la Ingeniería Matemáticas I, II y III Mecánica I Métodos Numéricos Termodinámica Topografía General y Prácticas Optativa de Humanidades
SEGUNDO AÑO	Electricidad y Magnetismo Estructuras Isostáticas Matemáticas IV Mecánica II Probabilidad y Estadística Sociología de México Construcción I Geología Aplicada Hidráulica I Ingeniería de Sistemas I Mecánica de Materiales I Sistemas Electromecánicos
TERCER AÑO	Construcción II Comportamiento de Suelos Introducción a la Economía Hidráulica II Ingeniería de Sistemas II Mecánica de Materiales II Abastecimiento de Agua Potable Análisis Estructural I Construcción III Hidrología Mecánica de Suelos Teoría Planeación
CUARTO AÑO	Tesis Diseño Estructural Recursos y Necesidades de México Sistemas de Transporte Sistemas de Alcantarillado Obligatoria de Elección Obligatoria de Elección Optativas

14 <http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/planes.php?pde=0552&acc=est>  
(consultada el 28 de abril de 2013).

**Plan de estudios para la carrera de ingeniero civil,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional  
Autónoma de México (1980):<sup>15</sup>**

PRIMER AÑO	<p>Álgebra y Geometría Analítica Cálculo Diferencial e Integral Introducción a la Ingeniería Dibujo Topografía General y Prácticas Computadoras y Programación Mecánica I Métodos Numéricos Matemáticas I y II Probabilidad y Estadística Construcción I Estructuras Isostáticas</p>
SEGUNDO AÑO	<p>Construcción I y II Estructuras Isostáticas Ingeniería de Sistemas I Matemáticas III y IV Mecánica II Termodinámica Optativa de Humanidades Electricidad y Magnetismo Ingeniería de Sistemas II Mecánica de Materiales I Sociología de México</p>
TERCER AÑO	<p>Construcción III Geología Aplicada Hidráulica I y II Mecánica de Materiales II Planeación Sistemas Electromecánicos Abastecimiento de Agua Potable Análisis Estructural I Comportamiento de Suelos Introducción a la Economía Sistemas de Transporte</p>
CUARTO AÑO	<p>Diseño Estructural Hidrología Mecánica de Suelos Teoría Recursos y Necesidades de México Sistemas de Alcantarillado Obligatoria de Elección Obligatoria de Elección Optativas (3)</p>
QUINTO AÑO	<p>Tesis Optativas (2)</p>

<sup>15</sup> <http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/planes.php?pde=0555&acc=est> (consultada el 28 de abril de 2013).

**Plan de estudios para la carrera de ingeniero civil,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional  
Autónoma de México (1985):<sup>16</sup>**

PRIMER AÑO	<p>Álgebra y Geometría Analítica Cálculo Diferencial e Integral Introducción a la Ingeniería Dibujo Topografía General y Prácticas Computadoras y Programación Álgebra Lineal Estática Principios de Energética Construcción I</p>
SEGUNDO AÑO	<p>Ecuaciones Diferenciales Sistemas Energéticos Construcción II y III Estructuras Isostáticas Ingeniería de Sistemas I Métodos Numéricos Cálculo Vectorial Cinemática y Dinámica Mecánica de Materiales I Probabilidad y Estadística Sociología de México</p>
TERCER AÑO	<p>Análisis Estructural I Geotecnia I y II Introducción al Comportamiento de Materiales Hidráulica I y II Ingeniería de Sistemas II Mecánica de Materiales II y III Abastecimiento de Agua Potable Introducción a la Economía Hidrología</p>
CUARTO AÑO	<p>Diseño Estructural Hidráulica III Geotecnia III y IV Ingeniería de Sistemas III Recursos y Necesidades de México Sistemas de Alcantarillado Tesis Construcción IV Ingeniería Ecológica Obras Hidráulicas Planeación Sistemas de Transporte Optativas</p>

**Plan de estudios para la carrera de ingeniero civil,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional  
Autónoma de México (1992):<sup>17</sup>**

PRIMER AÑO	Cálculo Diferencial e Integral Introducción a la Ingeniería Álgebra Dibujo Geometría Analítica Comunicación Oral y Escrita Computadoras y Programación Cálculo Vectorial Estática Introducción a la Economía Recursos y Necesidades de México Álgebra Lineal
SEGUNDO AÑO	Estructuras Isostáticas Topografía General y Prácticas Cinemática Ecuaciones Diferenciales Introducción al Comportamiento de Materiales Mecánica de Materiales I Métodos Numéricos Probabilidad y Estadística Dinámica Ingeniería de Sistemas Recursos de la Construcción
TERCER AÑO	Mecánica de Materiales II y III Hidráulica Básica Construcción de Estructuras Geología Impacto Ambiental Teoría de Decisiones Abastecimiento de Agua Potable Planeación Hidráulica de Canales Comportamiento de Suelos Movimiento de Tierras

<sup>17</sup> <http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/planes.php?pde=0364&acc=est> (consultada el 28 de abril de 2013).

	Hidrología
	Administración en Ingeniería
	Alcantarillado
	Análisis Estructural
	Hidromecánica
	Mecánica de Suelos
CUARTO AÑO	Diseño Estructural
	Obras Hidráulicas
	Instalaciones Sanitarias
	Mecánica de Rocas
	Organización de Obras
	Vías Terrestres
	Captaciones y Conducciones
	Cimentaciones
	Edificación
QUINTO AÑO	Tratamiento de Aguas Residuales
	Estructuras de Concreto
	Puertos
	Optativas

**Plan de estudios para la carrera de ingeniero civil,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional  
Autónoma de México (2010):<sup>18</sup>**

	Dibujo
	Álgebra
	Cultura y Comunicación
	Cálculo Diferencial
	Computación para Ingenieros
PRIMER AÑO	Álgebra Lineal
	Geometría Analítica
	Cálculo Integral
	Introducción a la Economía
	Geomática

<sup>18</sup> <http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/planes.php?pde=1370&acc=est>  
(consultada el 28 de abril de 2013).

	<p>Cálculo Vectorial  Cinemática y Dinámica  Estática Estructural  Ecuaciones Diferenciales</p>
SEGUNDO AÑO	<p>Presupuestación de Obras  Mecánica de Materiales I  Principios de Termodinámica y Electromagnetismo  Programación y Construcción de Estructuras  Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo  Química para Ingenieros Civiles</p>
	<p>Mecánica de Materiales II  Probabilidad y Estadística  Hidráulica Básica  Literatura Hispanoamericana Contemporánea  Teoría General de Sistemas</p>
TERCER AÑO	<p>Impacto Ambiental, Manejo de Residuos  Geología  Ingeniería de Sistemas  Análisis Estructural  Hidráulica de Máquinas Transitorios  Ética Profesional</p>
	<p>Diseño Estructural  Planeación  Recursos y Necesidades de México  Hidráulica de Canales  Comportamiento de Suelos</p>
CUARTO AÑO	<p>Movimiento de Tierras  Hidrología  Sistemas de Transporte  Mecánica de Suelos  Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado  Optativa</p>
	<p>Administración en Ingeniería  Integración de Proyectos  Evaluación de Proyectos</p>
QUINTO AÑO	<p>Optativa  Optativa  Optativa</p>

# Plan de estudios Escuela Superior de Construcción, Instituto Politécnico Nacional (1932):<sup>19</sup>

## CARRERA DE INGENIERO CONSTRUCTOR (4 AÑOS)

PRIMER AÑO	Nomografía
	Topografía
	Prácticas parciales de topografía y dibujo topográfico
	Dinámica hidráulica
	Geología
	Estabilidad
	Procedimientos de Construcción, segundo curso
	Croquis y Relevés de Edificios
	Dibujo Arquitectónico
	Teoría de la Arquitectura (ciclo fundamental)
<i>*Un mes de práctica de Topografía en vacaciones</i>	
SEGUNDO AÑO	Fierro Estructural
	Concreto Armado
	Procedimientos de construcción, tercer curso
	Teoría de la Arquitectura (ciclo especial)
	Análisis de Edificios (Arquitectura Comparada), primer curso
	Composición Arquitectónica, primer curso
Diseño de Estructuras, primer curso	
TERCER AÑO	Obras de Arte de Ferrocarriles y Caminos
	Obras de Arte Hidráulicas, Fluviales y de Puertos
	Ingeniería Sanitaria
	Composición Arquitectónica, segundo curso
	Diseño de Estructuras, segundo curso
<i>*Optativa: Mecánica y Maquinaria Térmica para las Construcciones</i>	
CUARTO AÑO	Legislación y contratos; Especificaciones y Presupuestos
	Organización de Obras
	Composición Arquitectónica, tercer curso
	Urbanismo
	Preparación de la Tesis Profesional
<i>*Optativa: Ingeniería Eléctrica y Maquinaria Eléctrica para las Construcciones</i>	

19 Ramón Vargas Salguero y Víctor Arias Montes, *Ideario de los arquitectos mexicanos*, Ciudad de México, Conaculta, 2010, t. III "Las nuevas propuestas", pp. 32-37.

CARRERA DE CONSTRUCTOR TÉCNICO (3 AÑOS)

PRIMER AÑO	Nomografía Topografía Prácticas Parciales de Topografía y Dibujo Topográfico Dinámica e Hidráulica Geología Estabilidad Segundo curso de Procedimientos de Construcción Primer curso de Diseño de Estructuras Teoría de la Arquitectura (ciclo fundamental)
SEGUNDO AÑO	Fierro Estructural Concreto Armado Tercer curso de Procedimientos de Construcción Ingeniería Mecánica y Maquinaria Térmica para Construcciones Obras de Arte de Ferrocarriles y Caminos Ingeniería Sanitaria Segundo curso de Diseño de Estructuras
TERCER AÑO	Ingeniería Eléctrica, Maquinaria Eléctrica para Construcciones Obras de Arte Hidráulicas, Fluviales y de Puertos Organización de Obras Legislación y Contratos; Especificaciones y Presupuestos Tercer curso de Diseño de Estructuras

CARRERA DE PROYECTISTA TÉCNICO DE CONSTRUCCIONES (4 AÑOS)

PRIMER AÑO	Estabilidad Procedimientos de Construcción, segundo curso Croquis y Relevés de Edificios Dibujo Arquitectónico Teoría de la Arquitectura (ciclo fundamental)
SEGUNDO AÑO	Procedimientos de Construcción, tercer curso Teoría de la Arquitectura (ciclo especial) Análisis de Edificios (Arquitectura Comparada), primer curso Composición Arquitectónica, primer curso
TERCER AÑO	Ingeniería Sanitaria Composición Arquitectónica, segundo curso Análisis de Edificios (Arquitectura Comparada), segundo curso
CUARTO AÑO	Composición arquitectónica, tercer curso Urbanismo Legislación y Contratos; Especificaciones y Presupuestos Preparación de la Tesis Profesional

*\*Los horarios se arreglarán en tal forma que sea posible hacer la carrera en 3 años*

## Plan de estudios para la carrera de ingeniero arquitecto, Instituto Politécnico Nacional (2008):

	Arte, cultura y sociedad
	Herramientas para el aprendizaje
	Conceptos básicos de la arquitectura
	Mecánica de suelos
	Geología
	Topografía
	Fundamentos del diseño arquitectónico
	Introducción geométrica en la arquitectura
	Introducción a la normatividad, materiales y herramientas en la construcción
PRIMER AÑO	Estática
	Economía y arquitectura
	Introducción a las instalaciones hidrosanitarias y sustentabilidad
	Inglés I
	Historia de la arquitectura antigua a la edad media
	Teoría de la arquitectura y métodos de diseño
	Procesos del proyecto arquitectónico
	Geometría y configuración espacial
	Acero, madera y concreto
	Resistencia de materiales
	Instalaciones hidrosanitarias y sustentabilidad
	Inglés II
	Psicología para la arquitectura
	Historia de la arquitectura del renacimiento al siglo XIX
	Origen del fenómeno arquitectónico
	La arquitectura y la ciudad
	Proyecto arquitectónico I
	Expresión gráfica
	Cualidades gráficas de la arquitectura
	Procedimientos constructivos y costos I
	Estructuras de mampostería y madera
	Administración de empresas constructoras
	Tecnologías alternas en instalaciones hidrosanitarias y gas
SEGUNDO AÑO	Inglés III
	Electiva I y II
	Historia de la arquitectura a partir del siglo XX
	Teoría y análisis para la arquitectura
	Sociología urbana
	Proyecto arquitectónico II y III
	Proyecto ejecutivo I
	Procedimientos constructivos y costos II
	Estructuras de concreto reforzado
	Administración de obra
	Instalaciones eléctricas, iluminación y domótica
	Instalaciones especiales e instalaciones bioclimática
	Optativa I, II y III

TERCER AÑO

Electiva III y IV  
Proyecto arquitectónico IV, V y VI  
Proyecto ejecutivo II y III  
Obras complementarias, sustentabilidad y nuevas tecnologías  
Estructuras reticulares  
Legislación de la construcción  
Optativa IV y V  
Servicio social  
Desarrollo profesional  
Proyecto ejecutivo IV  
Estructuras prefabricadas  
Estructuras metálicas  
Legislación, concursos y contratación de obra  
Optativa VI y VII

CUARTO AÑO

Práctica profesional  
Taller terminal I  
Taller terminal II