





*Auguste y Gustave Perret, talleres de confección Esders, París, 1919.*

Estudios  
Universitarios de  
Arquitectura

1

*James Strike*

# De la CONSTRUCCIÓN a los proyectos

Reimpresión  
2018

La influencia de las nuevas técnicas  
en el diseño arquitectónico, 1700-2000

*Prólogo*

Salvador Pérez Arroyo

*Traducción*

María Jesús Rivas

*Revisión*

Fernando Inglés

*Edición*

Jorge Sainz

**Editorial  
Reverté**

Edición original:

© James Strike, 1991

*Construction into design: the influence of new methods of construction  
on architectural design 1690-1990*

Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991

Traducción:

© María Jesús Rivas, 2004

mjrivas.centeno@gmail.com

© Editorial Reverté, Barcelona, 2004

Edición en papel

ISBN: 978-84-291-2101-8

Edición e-book (PDF)

ISBN: 978-84-291-9232-2

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo las excepciones previstas por la Ley 23/2006 de Propiedad Intelectual, y en concreto por su artículo 32, sobre 'Cita e ilustración de la enseñanza'. Los permisos para fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra pueden obtenerse en CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)).

EDITORIAL REVERTÉ, S.A.

Calle Loreto 13-15, local B · 08029 Barcelona

Tel: (+34) 93 419 3336 · Fax: (+34) 93 419 5189

Correo E: [reverte@reverte.com](mailto:reverte@reverte.com) · Internet: [www.reverte.com](http://www.reverte.com)

# 1230

# Índice

<i>Prólogo</i>	
La revolución silenciosa de la transferencia tecnológica	7
Prefacio	13
Introducción	15
I Los pioneros de las estructuras de hierro 1690-1840	21
II El nuevo lenguaje del hierro y el vidrio 1810-1855	41
III Los pioneros de la construcción de hormigón 1820-1900	63
IV El desarrollo de la tradición funcional 1855-1914	71
V La evolución de las estructuras de acero 1870-1914	81
VI Las raíces del Movimiento Moderno 1820-1914	91
VII Hacia un uso expresivo del hormigón 1900-1935	107
VIII Los sistemas constructivos y la industrialización 1918-1939	125
IX La industria, el arte y la arquitectura 1920-1940	147
X El componente constructivo como elemento de proyecto 1945-1970	157
XI Una valoración de las últimas décadas 1970-2000	173
Cuadro cronológico	210
Bibliografía	211
Índice alfabético	223

**Sobre esta edición**

El autor ha completado el último capítulo de esta edición española con unos párrafos finales dedicados a la última década del siglo xx. Fernando Inglés, profesor de Construcción en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, ha colaborado en la revisión final del texto.

# La revolución silenciosa de la transferencia tecnológica

Salvador  
Pérez Arroyo

Vivimos momentos muy significativos en el campo de la tecnología constructiva. Probablemente nos encontramos cruzando una línea sin retorno que puede proporcionarnos una nueva época en la arquitectura y la construcción, y producir de nuevo –como ya ocurrió en la Revolución Industrial– un cambio radical en las formas. Este libro da muchos ejemplos de ello.

Como ha sucedido siempre en la historia, la tecnología necesaria para el cambio se hace presente en momentos en los que las transformaciones sociales y culturales están más preparadas para aceptarla. Esto no quiere decir que muchos o casi todos los conocimientos tecnológicos no existiesen antes de su aplicación. El diseñador norteamericano Richard Buckminster Fuller se quejaba con frecuencia de la lentitud habitual de la transferencia tecnológica en el campo de la construcción y particularmente en la arquitectura. Pero si bien esta transferencia ha sido tradicionalmente lenta, hoy nos damos cuenta de que el periodo entre el invento y la aplicación es más corto. Le Corbusier, en la explicación de sus objetivos para la construcción del pabellón Philips en la Exposición Universal de Bruselas de 1958, aclaraba a sus clientes –una de las empresas por entonces más punteras en tecnología aplicada y en investigación– que sus intenciones no eran las de hacerles inventar nada nuevo, sino, por el contrario, tan sólo poner en sintonía sus propios conocimientos. Para Le Corbusier, el reto estaba en saber aplicar lo ya inventado, elaborando para ello una estructura capaz de sintonizar distintas técnicas. Hoy cada día son más frecuentes los estudios de transferencia tecnológica en las escuelas de arquitectura, y también el estudio del aprovechamiento en el sector de la construcción de piezas o partes provenientes de otros campos, como el del automóvil. Todos estos estudios demuestran el extenso mestizaje entre las técnicas y, al mismo tiempo, la pérdida de la especificidad. Patentes para el automóvil se utilizan ya en arquitectura o en medicina, y viceversa.

Esa idea de Le Corbusier, la de ‘sintonizar’, es la clave para entender el desarrollo de la construcción y sus técnicas. Siempre nos preguntamos por qué otros sectores (como el transporte, la medicina o la guerra) aplican tan pronto los conocimientos más avanzados y por qué la arquitectura no hace más que seguirlos como una lenta tortuga. Las explicaciones pueden ser muy variadas y recorren el campo de la economía o de la sociología. A este retra-

Salvador Pérez Arroyo  
es Catedrático del  
Departamento de Construcción  
y Tecnología Arquitectónica de  
la Escuela Técnica Superior de  
Arquitectura de Madrid.

so tecnológico contribuyen las ciegas normas urbanísticas, el valor especulativo del suelo y las imágenes icónicas de los modos de vida controlados por las clases más decadentes, o por la publicidad.

Aunque sea un recurso obligado, tampoco podemos olvidar el valor que los medios de comunicación están desempeñando en el allanamiento de las fronteras de la tecnología y en la defensa de una serie de valores más esenciales a la hora de fijar patrones de conducta y modos de vida. Los espacios residenciales pueden ser más pequeños al tiempo que la virtualidad aumenta los horizontes posibles. Por otro lado, también estos medios son al mismo tiempo el vehículo de transporte de una publicidad dirigida a perpetuar los tópicos de la ciudad o la idea de casa como una caricatura del palacio aristocrático. Las grandes experiencias técnicas se manifiestan primero en los edificios de uso público, y en contadas ocasiones lo hacen en el campo de la vivienda. Las exposiciones universales han sido tradicionalmente un soporte idóneo para estas experiencias. En ellas es posible hacer pruebas, y su carácter de temporalidad evita muchas críticas y resistencias. Sin embargo, deberían ser las viviendas las que igualmente pudieran usarse como campo de aplicación de las nuevas tecnologías. Superadas con creces las técnicas de control ambiental, la vivienda permanece en un estadio atrasado. De nuevo los medios de transporte, como los coches o los aviones, poseen una calidad muy superior de habitabilidad y confort, mientras la vivienda mantiene todos los inconvenientes de sus sistemas de construcción.

La tradición constructiva ha desaparecido en los países desarrollados e incluso también en los más atrasados que sufren una pobre colonización tecnológica. Sería impensable dar respuesta a las masivas necesidades actuales con técnicas artesanales, y lo que permanece en el mercado es un mal remedo de unas técnicas corruptas que nada tienen que ver la antigua construcción.

Siguiendo el presente libro de James Strike se comprenden muchos de los momentos cruciales de los cambios experimentados en la historia de la construcción. El autor da una gran importancia al material y su aparición, pero sólo cuando esto fue así, es decir, desde el siglo XVIII hasta el inicio del Movimiento Moderno en arquitectura. Posteriormente las cosas cambian, hasta llegar a los últimos ejemplos de construcciones ligeras de acero y vidrio. Los ejemplos mencionados por Strike como puntos de referencia tienen una gran belleza y algunos de ellos aún no se habían presentado con la importancia que realmente tienen. En las construcciones con hierro fundido aparecen las sorprendentes obras de Alexander y Rennie para el Tobacco Dock de Londres, o la elegante iglesia de Rickman y Cragg en Everton. El hierro forjado se presenta con la gran obra de Loudon para el invernadero de Bretton Hall, o las estructuras mixtas de Paxton y Burton en Chas-

worth, y de Burton y Turner en los Kew Gardens de Londres. La obra de Paxton para la Gran Exposición Universal de 1851 es un referente clásico de la imagen y la filosofía de la industrialización; en este libro se explican por primera vez, de un modo claro y conciso, los condicionantes constructivos, las dimensiones del vidrio y la modulación utilizada para el diseño del edificio. El hormigón armado está representado por edificios tan sorprendentes y tempranos como la casa para John White en Kent, de 1835. Quizás en este tema el libro se circunscribe demasiado al mundo anglosajón; aunque se mencionan las grandes aportaciones francesas, tal vez deberían haberse tratado con algo más de amplitud.

Después del nacimiento de estos materiales, Strike describe el gran desarrollo de la estructura de esqueleto de acero en los grandes edificios de la llamada Escuela de Chicago. Fue en esos tiempos heroicos, y en el continente americano, cuando el desarrollo de la tecnología constructiva intentó evolucionar en una relación más estrecha con la arquitectura y el estilo. Las plantas de estos edificios de Chicago respondían con claridad a las técnicas empleadas, y el sentido pragmático y comercial de los proyectos permitió unas soluciones brillantes y nuevas. No olvidemos que el hierro fundido se usaba todavía imitando las decoraciones clásicas de terracota y piedra; ni que la ornamentación seguía teniendo un valor importante en esta arquitectura. El primer hormigón —en la iglesia de Saint-Jean de Montmartre, de Anatole de Baudot, en París— también imitaba la construcción en madera. Este problema es complejo; nos preguntamos de qué modo la técnica está influida, a su vez, por el estilo y la tradición formal. Las ideas de los arquitectos del Movimiento Moderno mostraban una débil relación con soluciones tecnológicas precisas, y sus programas de intenciones eran siempre mucho más avanzados que sus edificios. En su arquitectura se produce justo lo contrario de lo que antes hemos apuntado: sus formas (las de Gropius y Meyer, por ejemplo) representan un mensaje de ruptura más lingüística que tecnológica. A pesar de todo, el gran impacto de una construcción como el Crystal Palace de Londres no se ha producido de nuevo en la historia hasta la época de los grandes edificios en altura o las grandes obras de hormigón armado realizadas en las décadas de 1950 y 1960.

Los materiales disponibles en la primera mitad del siglo xx (el acero y el hormigón) han seguido distintos caminos. El hormigón armado ha pagado un serio tributo a su costoso sistema de producción y desde los años 1960 ha perdido terreno poco a poco, cediéndoselo al acero. El valor de la mano de obra, por ejemplo, hizo que las grandes experiencias formales y técnicas en hormigón llevadas a cabo por Félix Candela en México fuesen radicalmente abandonadas cuando en los años 1960 subió el salario mínimo de los trabajadores de aquel país; y esto mismo también

hace imposible actualmente emular las filigranas estructurales de Pier Luigi Nervi.

Los últimos ejemplos del libro muestran cada vez más construcciones de una mayor ligereza. La tendencia a construir con mayor ligereza demuestra la mayor capacidad de los materiales para satisfacer, con menor peso, las exigencias estructurales o de impermeabilización. Las construcciones de Norman Foster y Nicholas Grimshaw, o la de James Stirling en Haslemere para Olivetti, son ejemplos de los nuevos sistemas de construir. La obra más importante desde el punto de vista conceptual, y a la altura del Crystal Palace, es probablemente el Centro Sainsbury de Artes Visuales, construido por Foster en Norwich. Este edificio marca un salto paradigmático no sólo por la manera en la que se resuelve la piel a base de paneles embutidos de acero –sin distinción entre paredes y techo, algo a lo que se aproximaba el Crystal Palace–, sino por la clara independencia entre la estructura y el cerramiento, y también, sin duda, por el modo en que se ha concebido el proyecto: una sección que se interrumpe repentinamente por ambos lados con una pared de vidrio. Esta desacralización del edificio construido –en la que se abandonan todos los patrones jerárquicos clásicos– acerca la arquitectura a los objetos industriales, lo que permite una transferencia rápida y flexible de tecnología.

El libro termina en el punto clave hasta donde es posible hacer historia. Los paneles metálicos son embutidos o plegados; los de plástico pueden ser moldeados; y el hormigón, debido a factores económicos ajenos, ha perdido su capacidad de reproducir las espléndidas obras de los grandes ingenieros y arquitectos de los años 1960, como Eero Saarinen o el citado Candela. El acero, el aluminio, el vidrio y los plásticos dominan la tecnología punta. Sin embargo, el panorama tecnológico se expande hacia otros campos en los que la miniaturización y el control de los procesos de producción mediante ordenador –que se sirven del diseño y la fabricación asistidos (CAD-CAM), y de las técnicas de control numérico (CNN) o de experimentación con formas libres (SFF)– están revolucionando la construcción tradicional moderna. Ver hoy un edificio de Jean Prouvé o de Walter Gropius nos puede emocionar, pero somos conscientes de que pertenecen a la arqueología industrial. La pobreza de sus perfiles, o los torpes juegos con los que Prouvé se vio obligado a plegar la chapa para conseguir piezas con un valor tridimensional, son signos evidentes de su antigüedad tecnológica. Pocos ejemplos se salvan de esta impresión: incluso los primeros ensayos de Grimshaw en el Regent's Park de Londres, de 1968, son ya arqueología. El tiempo de obsolescencia de las técnicas aplicadas a la construcción se acorta y, por la misma razón, también lo hace el desfase tecnológico entre la invención y la aplicación.

El mundo de las micromáquinas y el de la nanotecnología han abierto un panorama de cualidades microscópicas que afectará a la creación de nuevos materiales. Hoy se estudian las propiedades reológicas o la memoria de forma sin olvidar la capacidad de crear materiales complejos que sirvan a distintos usos: por ejemplo, la resistencia estructural y la transmisión de información, la protección frente a la intemperie en los nuevos cristales y la publicidad incorporada.

La ambigüedad y la disponibilidad, así como el cambio de la relación entre la resistencia y el peso propio, permiten –como decía el ingeniero Javier Manterola– comprar las mayores estructuras de la historia en un supermercado. Los cálculos estructurales se han afinado mucho gracias a los ordenadores y la simulación virtual de modelos permite ensayar formas complejas muy alejadas de la ya histórica arquitectura adintelada. Como ocurrió con el acero o con las grandes láminas de hormigón, los arquitectos empiezan a proyectar con la sensación de que sus espacios pueden ser mucho mayores. Algunos de ellos, como la iraquí Zaha Hadid o el austriaco Wolf Prix, son sobre todo soñadores que se adelantan a las posibilidades del momento, pero que al mismo tiempo fuerzan a que las cosas sean posibles un poco más allá, con un ligero compromiso entre constructores, calculistas y fabricantes. A esta sensación de libertad se une la producción de materiales de cerramiento o de compartimentación capaces de absorber mayores deformaciones, con lo que los umbrales de deformabilidad estructural se agrandan y permiten entrar en juego a materiales como el aluminio o los compuestos. Las ideas de normalización y estandarización han desaparecido frente a las posibilidades de fabricación que ofrecen las técnicas de CAD-CAM. La voluntad de normalizar elementos que Cedric Price mostró en 1960, intentando fijar gamas y series al modo de las viejas modulaciones clásicas, ya no sirve para nada. Los componentes industrializados pueden variar en pequeñas series, ya no es necesario repetir para industrializar. Del control de tolerancias y medidas se ha pasado a la compatibilidad de los sistemas y del *software* incluido en los componentes industrializados que contienen los elementos constructivos.

Todo este conjunto de avances (nanotecnología, micromáquinas, materiales compuestos o nuevas propiedades) representa una revolución silenciosa que se ha infiltrado en las escuelas de arquitectura o en los profesionales y que ejerce una gran presión en favor del cambio. Esta invasión ha producido unos cambios cualitativos irreversibles. Cada vez más, los elementos constructivos pueden venir de distintos lugares y ser recibidos en estructuras aptas para ello.

De nuevo habría que intentar adivinar el futuro inmediato. Hoy entendemos que muchos de los sueños de aquellos pioneros

del Movimiento Moderno han sido superados. Las carpinterías del Pabellón Suizo de Le Corbusier en París se han cambiado, al igual que las de la sede que este mismo arquitecto construyó, también en París, para el Ejército de Salvación. Nada de aquello nos sirve para las nuevas exigencias de confort y equilibrio medioambiental. La publicidad vende las cabinas de los coches como espacios habitables móviles. La ciudad se extiende y con ello se produce el fenómeno del *sprawl*, una dispersión urbana que exige mejores comunicaciones y fomenta la movilidad. La ciudad periférica es cada vez más un fenómeno mediático extenso, mucho más abierto a las nuevas experiencias y las nuevas tecnologías. Reyner Banham y Archigram son los grandes profetas de este cambio. Frente a la durabilidad aparece la necesidad de contar con materiales de vida corta, autodestructibles, sin residuos, limpios de historia y de memoria. Si algo cambia rápidamente es la metodología de trabajo. Como Aaron Betsky y Erik Adigard dicen en su reciente libro *Architecture must burn* –algo así como ‘La arquitectura debe quemar(se)’–, sin duda los límites de la arquitectura se difuminan. Esta realidad, percibida por todos, es el camino para que las técnicas, los inventos y sus aplicaciones acorten su desfase, y para que la arquitectura entre con sus especificidades en el mundo tecnológico convencional.

Madrid, mayo de 2002.

# Prefacio

Siempre me ha interesado cómo se arman las cosas y cómo funcionan. Todavía conservo mi gran caja de mecano y recuerdo el placer de reparar el delicado mecanismo del reloj de pared de nuestro abuelo. Me pasaba el tiempo buscando las pautas y la construcción de la música de Bach, midiendo el crecimiento de los tallos y pedúnculos de las plantas, e intentando visualizar las fuerzas estructurales que descendían por las esbeltas columnas de la iglesia. Me preguntaba por qué me fascinaban estas cosas y buscaba una conexión lógica entre su construcción y mi respuesta emocional. Supongo que andaba buscando algún tipo de ecuación definitiva.

En 1980 me invitaron a ocupar un puesto docente en la Escuela de Arquitectura de Kingston, donde me volví a encontrar frente a cuestiones similares. Por entonces mis ideas eran menos simplistas, pero los problemas seguían siendo igualmente fundamentales. En primer lugar, ¿cómo pueden aprender los estudiantes todo lo que hay que saber sobre la construcción de edificios?; y en segundo lugar, ¿cómo pueden elegir los estudiantes una serie concreta de detalles entre el interminable número de posibilidades y opciones disponibles en estos momentos? A un proyectista con experiencia le puede parecer algo instintivo, pero esta respuesta intuitiva no se le suele ocurrir de manera natural a un estudiante. Consideré ciertas hipótesis para establecer algunos principios, preparé una serie de clases sobre aspectos específicos y debatí los problemas con mi grupo de colegas. Principios tales como guarecerse de la lluvia, preservar la comodidad de los ocupantes y evitar que la estructura se venga abajo, eran sencillos y se podían calcular. Lo que me atraía era cómo establecer unos principios que fuesen más allá de esas formulaciones científicas, unos principios que englobasen tanto los problemas de cálculo como la reacción emocional, unos principios que considerasen la construcción como arquitectura y que tuviesen en cuenta las relaciones propias de los temas científicos, así como el importante aspecto de la voluntad de los proyectistas para crear un objeto coherente con una imagen concreta.

El debate suscitado en las conferencias de verano organizadas por el Institute of Advanced Architectural Studies (IAAS) de la Universidad de York, junto con las reuniones de profesores con ideas afines, condujeron finalmente a mi tesis de posgrado: *La in-*

*fluencia de los nuevos materiales y los nuevos métodos constructivos en el diseño arquitectónico, 1700-1970* (IAAS, Universidad de York, 1988).

Creo que una de las maneras más provechosas de entender la relación entre la construcción y el proyecto es examinar el camino por el que han evolucionado los materiales y las maneras de construir a lo largo de la historia. Es a través de esta evolución como podemos ver los cambios en la apariencia de los edificios y reconocer, en definitiva, los tipos edificatorios.

El propósito de este libro es desarrollar esta interpretación. Aunque va dirigido primordialmente a los estudiantes de arquitectura, ingeniería y construcción, servirá también de estímulo útil y de esquema crítico a los profesionales implicados en el proceso del proyecto, y será una obra de referencia para cualquier persona interesada en la historia de los edificios.

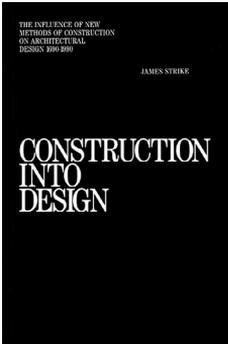
### **Agradecimientos**

Quiero dar las gracias a todas las personas que, cada una a su manera, han contribuido a la documentación, la crítica y la preparación de este libro: John Adams, Tim Bell, Dennis Berry, Michael Blackstock, Tim Clark, Jonathan Coad, John Fidler, Bryan Gauld, Godfrey Golzen, Peter Jacob, Stephanie Leitch, Dick Linzey, Howard Martin, Edward Mills, Michael Rowley, John Savage, Caryl Stanley, Stuart Sutcliffe, Douglass Wise, Paul Woodfield y Bastiaan Valkenburg.

Y un agradecimiento especial para mi esposa Sarah y mis hijos Tom y Edward, por su paciencia, su aliento y su ayuda.

Con respecto a la presente edición, agradezco la oportunidad de ampliar el alcance de este libro al mundo de lengua española, y quiero dar las gracias al profesor Jorge Sainz (del Departamento de Composición Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid) por sus conocimientos y su entusiasmo en la labor de aclarar y corregir el texto.

# Introducción



Cubierta de la edición original de este libro, publicada en Oxford por Butterworth-Heinemann en 1991.

Este libro estudia los acontecimientos y los avances que, en el ámbito de la industria de la construcción, han transformado el proceso de realización de los edificios y han provocado un cambio en la composición y la imagen de las construcciones. A lo largo del texto se analiza cómo todo ello también ha conducido, casi siempre con lentitud, a un cambio en el diseño arquitectónico y, a la postre, también en la actitud de los proyectistas y en las características de las teorías del proyecto.

La industria de la construcción se entiende aquí en su sentido más amplio y con toda su infraestructura: no sólo los materiales y las personas que se concentran en la obra, sino también las empresas que extraen las materias primas, las compañías de transporte, las sociedades de transformación y fabricación que producen materiales constructivos elaborados y piezas normalizadas, los arquitectos e ingenieros que proyectan los edificios, los equipos de gestión de obras y de control de costes, las entidades financieras que inyectan capital y especulan con la propiedad, así como los organismos gubernamentales que intervienen en el sector. La amalgama resultante no es algo estático, sino una fuerza activa y cambiante que da respuesta a las aspiraciones sociales, económicas y políticas de la sociedad.

Gracias a la industria de la construcción, los clientes y los arquitectos intentan no sólo satisfacer sus necesidades materiales, sino también hacer realidad otras aspiraciones. John Ruskin describía así el doble requisito de un edificio:

El deber práctico se divide a su vez en dos grupos: el que actúa y el que habla. El que actúa nos defiende del clima o de la violencia; el que habla, como en el caso de los monumentos y las tumbas, registra hechos y expresa sentimientos.<sup>1</sup>

En el proceso de proyecto, el arquitecto necesita poner la construcción del edificio por encima de la solución física concreta, en un plano mental superior que aúne las cuestiones intelectuales y estéticas con las exigencias físicas. El influyente ingeniero Pier Luigi Nervi aludía a esta síntesis en el proceso constructivo:

Construir es, sin comparación, la más antigua e importante de las actividades humanas; nace de la

1. John Ruskin, *The Stones of Venice* (Londres: Smith, Elder and Co., 1851-1853); tomado de la versión española: *Las piedras de Venecia* (Madrid: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, 2000; traducción de Maurici Pla), libro 1, capítulo 2 'Las virtudes de la arquitectura', primera página (35).

satisfacción de las exigencias materiales de los individuos y de la colectividad, y se eleva para expresar sus más profundos y espontáneos sentimientos; reúne en una única síntesis el trabajo manual, la organización industrial, las teorías científicas, la sensibilidad estética y los grandes intereses económicos; y por el hecho mismo de crear el marco de nuestra vida, ejerce una acción educativa y silenciosa, pero muy eficaz, sobre todos nosotros.<sup>2</sup>

A través de la estructura del edificio, el arquitecto verifica la solución del diseño y expresa las cuestiones físicas y emocionales inherentes al proyecto específico.

La solución del diseño surge de una compleja interacción entre los numerosos problemas que aparecen durante el proceso del proyecto, y supone inevitablemente establecer prioridades entre influencias opuestas; éstas incluyen factores tan diversos como las finanzas, las actitudes sociales, la historia, la política, los recursos humanos, los materiales y las técnicas, así como las expectativas y las emociones de los seres humanos. Desde el interior de esta intrincada red, los arquitectos se esfuerzan por diseñar y construir una estructura que desarrolle con prudencia las ambiciones del proyecto con respecto al diseño. Todas estas cuestiones afectan al aspecto y a la calidad estética del edificio acabado, algunas de manera más directa que otras. Aunque todos los factores están relacionados entre sí, se pueden dividir en dos grupos claramente identificables: uno tiene relación con el proceso real de la construcción de los edificios (por ejemplo, materiales, estructura y técnica); y el otro tiene que ver con temas contextuales y de aplicación externa, tales como el urbanismo, la sociología, el entorno y los antecedentes históricos.

Resulta interesante observar que, históricamente, la mayor parte de la bibliografía arquitectónica relativa al proyecto y la teoría se ha ocupado de las cuestiones externas y de contexto; mucho menos se ha escrito sobre la influencia que en el proyecto arquitectónico han tenido el proceso y la actividad de construir edificios. Los libros de arquitectura anteriores al siglo XIX pueden dividirse entre los que versaban sobre los tipos clásicos de edificios, sus proporciones correctas, la decoración y el estilo; y los que servían como manuales prácticos para el uso correcto de los materiales y los métodos de construcción habituales. Apenas existen pruebas de que ambos grupos estuviesen relacionados. Hay algunos ejemplos, como *I quattro libri dell'architettura* de Andrea Palladio,<sup>3</sup> que incluyen ambos aspectos en la misma obra, pero, incluso en este caso, en el libro primero se trata de «la prevención de los materiales; y ya preparados, cómo y en qué forma se deban emplear»;<sup>4</sup> y en los libros segundo a cuarto se describe e ilustra separadamente «la calidad de las fábricas que convienen a diver-



Andrea Palladio,  
I quattro libri  
dell'architettura, 1570;  
versión española  
de 1797.

2. Pier Luigi Nervi, *Struc-tures* (Nueva York: F.W. Dodge, 1956); publicado originalmente como *Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate* (Milán: Hoepli, 1955), página 1.

3. Andrea Palladio, *I quattro libri dell'architettura* (Venecia: Dominico de' Franceschi, 1570); versión española: *Los cuatro libros de arquitectura* (Madrid: Imprenta Real, 1797; las referencias siguientes corresponden a esta edición).

4. *Ibidem*, libro 1, capítulo 1, proemio a los lectores, página 3.



Auguste Choisy,  
Histoire de  
l'architecture, 1899;  
versión española  
de 1951.

sas clases de personas».<sup>5</sup> Hasta que no empezaron a notarse los efectos de la Revolución Industrial en los edificios y los paisajes de principios del siglo XIX, no comenzaron a surgir las críticas sobre la influencia que la construcción estaba teniendo en los gustos de la gente. A gran parte de ese debate se hace referencia en este libro.

A finales del siglo XIX, Auguste Choisy reconocía que la construcción era un importante ingrediente de la buena arquitectura. Su *Histoire de l'architecture*<sup>6</sup>—que cubre el espectro completo de la arquitectura, desde los griegos hasta el siglo XIX— hace hincapié en la necesidad de utilizar un método de construcción auténtico para cada tipo de edificio, lo que llevaría lógicamente a una arquitectura correcta. Esta idea es interesante en tanto que acepta una relación entre la construcción y la arquitectura, pero se trata de una relación inevitable y situada más allá de la intervención o el control del arquitecto.<sup>7</sup> Este sentido del destino constructivo llegó a ser el tema central de los numerosos manifiestos promulgados durante el primer cuarto del siglo XX, escritos por unos fundamentalistas que llegaron a ser conocidos como los ‘pioneros’ del Movimiento Moderno.<sup>8</sup>

Aunque el presente libro comparte con Choisy y con los pioneros del Movimiento Moderno un interés fundamental por la influencia de la construcción en los edificios, la postura que se adopta es menos determinista. Aquí se reconoce que no todas las innovaciones de la construcción han llevado a un cambio en el diseño arquitectónico, y también que las raíces de las innovaciones constructivas han de verse en el contexto de todo un amplio abanico de temas que influyen en la industria de la construcción. El objetivo de este libro es estudiar y conocer con más detalle cómo evolucionan las innovaciones en el campo de la construcción y hasta qué punto influyen en el proyecto arquitectónico.

Como primera medida, es necesario tener en cuenta cómo interactúan los numerosos requisitos físicos y emocionales de los edificios. Históricamente, el proyectista y el constructor de un edificio eran la misma persona y, por tanto, la interacción se producía de manera natural. Sin embargo, ha habido una tendencia cada vez mayor a separar ambas funciones: a un lado, consultores de proyectos, arquitectos e ingenieros proyectistas; y al otro, constructores, gestores y contratistas. En estos momentos, la interacción entre los dos grupos se considera un proceso en las dos direcciones, una fecundación cruzada. El proyecto puede guiar la construcción, y la construcción puede guiar el proyecto. Esta idea requiere un minucioso estudio. Por una parte, los proyectistas pueden modificar y manipular la construcción para conseguir un efecto concreto; ésta es una idea que repugnaba a los racionalistas pioneros del Movimiento Moderno de principios del siglo XX, pero que fue explotada por arquitectos como Robert

5. *Ibidem*.

6. Auguste Choisy, *Histoire de l'architecture* (París: Édouard Rouveyre, 1899); versión española: *Historia de la arquitectura* (Buenos Aires: Víctor Lerú, 1951).

7. Véase ‘Choisy: racionalismo y técnica’, capítulo 2 de Reyner Banham, *Theory and design in the first machine age* (Londres: Architectural Press, 1960); primera versión española: *Teoría y diseño arquitectónico en la era de la máquina* (Buenos Aires: Nueva Visión, 1965), en lo sucesivo se hará referencia a esta edición.

8. Véase Nikolaus Pevsner, *Pioneers of the Modern Movement from William Morris to Walter Gropius* (Londres: Faber & Faber, 1936); versión española: *Pioneros del diseño moderno: de William Morris a Walter Gropius* (Buenos Aires: Infinito, 1958), en lo sucesivo se hará referencia a esta edición.

Venturi en los primeros años de la década de 1960 para conseguir esas metáforas históricas y esas ironías contextuales que fueron típicas de la arquitectura posmoderna.<sup>9</sup> Por otra parte, la construcción puede llevar a la solución del proyecto; la razón de ser de la técnica constructiva se puede considerar el motor que influye en la solución del diseño. En realidad, la mayoría de las soluciones son una mezcla concreta de ambas cosas, pero esta aclaración ayuda a determinar el recorrido específico que sigue este libro: a saber, su principal interés es la influencia de la construcción en el proyecto arquitectónico, y no tanto la manipulación de la construcción para lograr un resultado concreto. Esta salvedad tiene como objetivo concentrar la atención en esa estética que es inherente a la construcción y que está generada por ella.

Ahora es preciso considerar cómo influye esa estética, inherente a la construcción, en el proyecto; y para ello hay dos vías. La primera es el modo en que el proyectista selecciona y utiliza los materiales y los métodos de montaje existentes, para crear así un edificio en el que se alcance la maestría gracias a un entendimiento coherente y sensible de las características de los materiales utilizados, y gracias a cierta empatía con la naturaleza y el carácter distintivo de la manera de levantar el edificio. La segunda vía es el modo en que se integran gradualmente en la industria de la construcción los nuevos materiales y los nuevos métodos de montaje, para proporcionar así al diseñador una extensa gama de soluciones y un mayor número de opciones de proyecto. Es como si se añadiese un color nuevo a la paleta de un pintor: intentemos imaginar, por ejemplo, lo que habría ocurrido si a Tiziano le hubiesen ofrecido como opción adicional un pigmento rojo brillante de base química. Algo parecido ocurrió realmente en la década de 1320, cuando los interiores de algunas iglesias se transformaron de manera radical gracias a la introducción de una solución de plata que permitía producir un nuevo vidrio amarillo para las ventanas.

El presente estudio se centra en la segunda de las dos vías expuestas; por consiguiente, investiga y comprueba la siguiente hipótesis:

*La introducción de nuevos materiales y la formulación de nuevos métodos dentro de la industria de la construcción han provocado cambios en la práctica y en la teoría del proyecto arquitectónico.*

El estudio traza un recorrido a lo largo de la historia para observar cómo los cambios en la industria de la construcción —especialmente la introducción de nuevos materiales y el desarrollo de nuevas técnicas constructivas— han provocado un cambio en el proyecto arquitectónico. Se identifican aquí los edificios y los acontecimientos trascendentales que, colocados en una secuencia cronológica, configuran una línea de desarrollo identificable; y se

9. Véase Robert Venturi, *Complexity and Contradiction in Architecture* (Nueva York: The Museum of Modern Art, 1966); versión española: *Complejidad y contradicción en la arquitectura* (Barcelona: Gustavo Gili, 1974).

indica cómo esos avances van evolucionando lentamente a base de pruebas, errores y experimentos hasta llegar a formar parte del uso arquitectónico habitual. El estudio hace énfasis en la importancia arquitectónica de esas transiciones y es, por tanto, una interpretación de la historia más que un intento de buscar nuevos datos históricos. Los capítulos están dispuestos cronológicamente, y cada uno de ellos se centra en un desarrollo temático concreto.

Este planteamiento –importante porque es un método de identificación y comprensión de algunas transiciones– precisa ser abordado con cautela. Ninguno de los recorridos históricos que se elijan puede apreciar en su totalidad el carácter intrincado y entrelazado de los hechos coetáneos que lo rodean. Para afrontar los acontecimientos simultáneos, la palabra escrita tiene menos capacidad que la música, que utiliza la armonía y la disonancia para desarrollar varios temas coincidentes. Por tanto, cada uno de los temas seleccionados ha de considerarse dentro del contexto más amplio del estudio en su conjunto y de los acontecimientos históricos coetáneos que quedan fuera de su ámbito.

El cuadro cronológico de la página 210 pone de manifiesto las relaciones entre los diversos temas y su solapamiento.

El periodo histórico del presente estudio abarca los trescientos años comprendidos entre 1700 y 2000; es decir, empieza en los albores de la Revolución Industrial.

Un breve apunte acerca de los lentos cambios evolutivos que tuvieron lugar en la edificación antes de la Revolución Industrial nos servirá como una útil introducción a ese repaso histórico.

El cambio más importante habido en el proceso de edificación durante los setecientos años que precedieron a la Revolución Industrial fue el lento pero imparable quebranto de la tradición local. Los núcleos aislados de la construcción artesanal, inmersos en la tradición vernácula y obligados a usar los materiales locales, fueron desapareciendo lentamente con las mejoras graduales en los transportes y las comunicaciones. Las ideas comenzaron a influir en las acciones de la gente, y poco a poco empezó a ser factible transportar materiales de construcción foráneos para satisfacer estas nuevas aspiraciones. La cualidad de ‘inevitable’ que las antiguas tradiciones constructivas imponían a la apariencia de los edificios dentro de cada localidad seguía existiendo en 1700, aunque la identidad regional empezaba a verse socavada, en especial a causa de los terratenientes y la Iglesia, que podían permitirse los gastos adicionales de la importación de ideas, materiales y artesanos en su región.

Dentro de este periodo preindustrial, también hay que reconocer un lento pero incesante perfeccionamiento del sistema estructural medieval basado en los muros de carga. Este proceso evolutivo cambió la gramática arquitectónica natural, que pasó de las

construcciones compartimentadas, pequeñas, oscuras y robustas de las iglesias sajonas, a esas bóvedas majestuosas, delicadas y estructuralmente equilibradas de las catedrales francesas del siglo XIII, y luego a las inmensas cúpulas de fábrica de ladrillo del siglo XV en Italia. La Revolución Industrial fomentó un tipo de cambio mucho más rápido.

# Los pioneros de las estructuras de hierro 1690-1840

El propósito de este libro, ya indicado en la introducción, es analizar la hipótesis de que los nuevos materiales y los nuevos métodos constructivos provocan cambios en el diseño arquitectónico. La primera oportunidad para estudiar esta idea surge con la introducción del hierro como elemento estructural en la edificación durante el siglo XVIII. En este capítulo se identifican una serie de construcciones que presentan un uso innovador del hierro, y se determina hasta qué punto todo ello supuso un cambio en la apariencia de los edificios.

Antes de reanudar esta historia, es necesario presentar primero el escenario con una descripción de la industria del hierro a finales del siglo XVII.<sup>1</sup>

El hierro se había estado produciendo a la manera tradicional, en cantidades pequeñas y poco rentables, mediante la fusión de mineral de hierro en hornos alimentados con carbón vegetal. Este proceso requería mucha mano de obra, y fue resultando cada vez menos rentable a medida que se talaban los bosques para obtener así el combustible de los hornos y el material para la construcción de barcos; por todo ello, la madera se convirtió en un bien cada vez más caro y escaso. El producto salido de los hornos de carbón vegetal se utilizaba tanto para el hierro forjado (o hierro ‘dulce’), modelado a golpe de martillo hasta obtener los objetos requeridos, como para el que se vertía en moldes de arena para producir formas de hierro fundido (llamado también ‘colado’ o simplemente ‘fundición’).

El término ‘hierro forjado a martillo’ se utiliza en este libro para describir esta forma primitiva de hierro forjado hecho a mano, y distinguirlo así de la variante producida industrialmente a partir de la década de 1780.

Isaac Ware, un autor de aquella época, describía así la producción de hierro colado que se llevaba a cabo en las tradicionales fundiciones de carbón vegetal situadas en el bosque de Dean, en Gloucestershire:

Al fundir el hierro, hay un lecho de arena delante de la boca del horno, en el que se vacían una especie de moldes según la figura y el tamaño de las piezas que se desean.<sup>2</sup>

Ware hace referencia a la escasa calidad de esas piezas fundidas:

1. Véase Hans R. Schubert, *History of the British iron and steel industry from c. 450 BC to AD 1775* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1957).

2. Isaac Ware, *A complete body of architecture* (Londres: T. Osborne & J. Shipton, 1756), página 89 (de la edición de 1768).

[...] y la fragilidad del hierro fundido es tal que cualquier cosa hecha con él puede sufrir un accidente, y con frecuencia, por efecto de las oquedades que contiene, se romperá incluso al ponerla al fuego.<sup>3</sup>

Estas formas primitivas de hierro forjado o fundido se usaban tradicionalmente de distintos modos en los edificios antes de acabar el siglo XVII. El hierro forjado a martillo se empleaba en balaustradas y verjas decorativas. A partir de la década de 1690, estos trabajos se convirtieron en caros y elegantes símbolos de prestigio, aplicados sobre todo a solemnes cancelas de entrada, rejas, y verjas y pérgolas decorativas de hierro.<sup>4</sup> Uno de los mejores artesanos en esta clase de obras fue Jean Tijou, cuyas verjas de hierro en Hampton Court ponen de manifiesto la capacidad de refinamiento en los trabajos de hierro forjado a mano (figura 1.1).



1.1. Verja de hierro forjado, Privy Garden, jardín privado del palacio de Hampton Court, Londres, 1693, obra de Jean Tijou. (Fotografía del autor.)

3. *Ibidem*.

4. Véase Alec Clifton-Taylor, *The pattern of English building* (Londres: Batsford, 1962), página 387.

1.2. Rejas de hierro forjado que rodean la catedral de San Pablo, Londres, 1714, construida por Christopher Wren. (Fotografía del autor.)



Se trataba de obras completas en sí mismas, y no hay pruebas de que se utilizasen como soporte estructural de ninguna parte de los edificios.

La fundición se utilizaba para fabricar cañones, piezas de artillería y otros objetos, y por aquella época se podían fundir elementos de un tamaño considerable, como se aprecia en las grandes losas sepulcrales de hierro, de carácter monumental, que se fabricaban ya en 1619.<sup>5</sup>

Un uso precoz de la fundición en los edificios fueron las rejas colocadas en 1714 en torno a la catedral de San Pablo de Londres (figura 1.2). A Christopher Wren no le parecían bien;<sup>6</sup> las veía como una intromisión en las ideas de su época, pues su diseño no derivaba ni de la apariencia de encaje del hierro forjado a martillo, ni de la firme solidez de las auténticas balaustradas de piedra. Cien años más tarde, William Lethaby comentaba:

No veo cómo podrían haberse mejorado las rejas; son robustas y bastante contundentes, como corresponde a la situación y al material del que están hechas.<sup>7</sup>

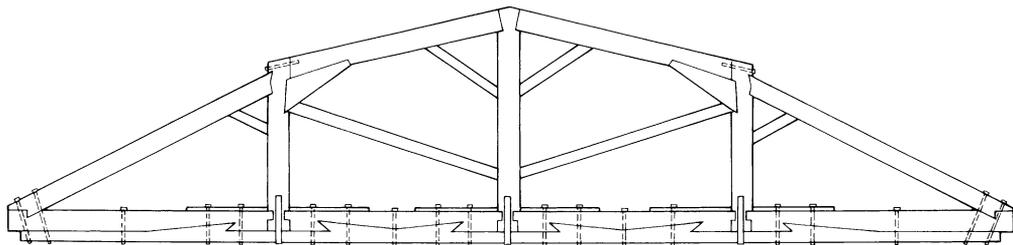
Para Lethaby ya no existía ‘el impacto de lo nuevo’; el comentario refleja su interés en el oficio y los materiales.

El hierro de los hornos de carbón vegetal se utilizó en la fabricación de las abrazaderas y pletinas de sujeción introducidas du-

5. Véase Hans R. Schubert, *History of the British iron and steel industry*.

6. Véase John Edwards Gloag y Derek Bridgwater (edición), *A history of cast iron in architecture* (Londres: George Allen and Unwin, 1948), página 115.

7. *Ibidem*.



rante el siglo XVII para reforzar las cerchas de madera de las cubiertas.<sup>8</sup> Se usaban estribos metálicos en el extremo inferior de los pendolones para *colgar* el tirante inferior; junto con otras sujeciones metálicas, estas piezas contribuían a mejorar la eficacia estructural de las cerchas. Las que hizo Wren para la cubierta del Sheldonian Theatre de Oxford (1669) revelan cómo el uso de sujeciones metálicas hizo posible alcanzar los 21 metros de luz, utilizando para ello piezas de madera de una longitud razonable (figura 1.3). Estas mejoras estructurales evolucionaron de un modo algo empírico exactamente hasta 1820,<sup>9</sup> cuando Thomas Tredgold publicó su libro *Elementary principles of carpentry* ('Principios elementales de la carpintería'), la primera obra de referencia sobre estructuras de madera que se basaba en conocimientos científicos.<sup>10</sup>

Las piezas de hierro también se incorporaron a la fábrica de albañilería para reforzar la estructura. Ya en 1638 se utilizó una pieza de hierro para sostener el dintel de fábrica del horno cerámico de Coalbrookdale (Shropshire). Los límites naturales de la construcción de fábrica se fueron ampliando gradualmente con grapas de hierro ocultas, llaves de atado y barras de refuerzo, para permitir la construcción de los grandes pórticos y las columnatas de la arquitectura racionalista del siglo XVIII.<sup>11</sup> Ya en 1670, Claude Perrault, Louis Le Vau y Charles Le Brun recurrieron a gran cantidad de refuerzos de hierro para realizar la columnata del Louvre, en París (figuras 1.4 y 1.5). Este recurso constructivo llegó a ser de uso común durante el siglo XVIII, aunque la reciente restauración de algunos de estos edificios ha revelado que no siempre se entendieron totalmente los principios estructurales de los refuerzos.<sup>12</sup>

El uso del hierro estructural como elemento oculto desempeñó un papel más significativo en la construcción de la catedral de San Pablo (1675-1710), donde se utilizaron dos pesadas cadenas –forjadas en las fundiciones de Lamberhurst, en los bosques que separan los condados de Sussex y Kent– para limitar los empujes hacia fuera de la cúpula interior, hecha de fábrica de ladrillo.

El desarrollo del hierro para su empleo como elemento estructural en los edificios debe entenderse como parte integral de la Re-

1.3. *Cercha de madera con conectores de hierro, Sheldonian Theatre, Oxford, 1669, construido por Christopher Wren. (De Sunley y Bedding, Timber in construction, 1985; cortesía de la Timber Development Association.)*

8. Véase John Sunley y Barbara Bedding (edición), *Timber in construction* (Londres: Batsford, 1985), capítulo 5.

9. *Ibidem.*

10. Este libro llegó a conocerse como 'las tablas de Tredgold' y se usó hasta la década de 1940.

11. Véase Martin K. Meade, 'Iron in the soul' (*Architectural Review*, volumen 184, número 1097, julio 1988, páginas 57-63).

12. Por ejemplo, durante la restauración de la Customs House (la Aduana) de Dublín, llevada a cabo por James Gandon en 1791, se descubrieron unos refuerzos de hierro, de sección cuadrada de 50 milímetros, que recorrían la fábrica de albañilería por encima de cada fila de ventanas y por el entablamento. El interior del edificio fue destruido por el fuego en 1922, lo que provocó que las barras de hierro se expandiesen y dañasen la fábrica de piedra. El análisis estructural ha mostrado que estas bandas de hierro no contribuyen a la estabilidad del edificio, por lo que se han eliminado.