

Gaudí
Le Corbusier
Mies van der Rohe
Louis I. Kahn
SOM
Foster

Carlos Nórdiz
Entre la arquitectura
y la ingeniería
6 + 6

Torroja
Nervi
Ove Arup
Schlaich
Peter Rice
Bollinger + Grohmann

NÁRDIZ ORTIZ, Carlos

Entre la arquitectura y la ingeniería 6 + 6. -- A Coruña : Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións : Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos : Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia, 2017

667 p. : il., fot. col., plan., secc. ; 26 cm. -- (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería ; 97 (CICCP)) (Monografías ; 160 (Universidade da Coruña))

Bibliografía por capítulos

D.L. C. 2117-2017

ISBN 978-84-3800-519-4 (CICCP). ISBN 978-84-9749-677-3 (Universidade da Coruña)

1. Arup, Ove Nyquist 2. Bollinger, Klaus 3. Foster, Norman 4. Gaudí, Antoni 5. Grohmann, Manfred 6. Kahn, Louis I. 7. Le Corbusier 8. Merrill, John O. 9. Mies van der Rohe, Ludwig 10. Nervi, Pier Luigi 11. Owings, Nathaniel Alexander 12. Rice, Peter 13. Schlaich, Jörg 14. Skidmore, Louis 15. Torroja Miret, Eduardo 16. Bollinger + Grohmann 17. Skidmore, Owings & Merrill 18. Arquitectos 19. Arquitectura e ingeniería 20. Estructuras 21. Ingenieros 22. Ingeniería civil I. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos II. Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia III. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións

3.00 Construcción e ingeniería

COAM 19955

Gaudí

Le Corbusier

Mies van der Rohe

Louis I. Kahn

SOM

Foster

Carlos Nórdiz

Entre la arquitectura

y la ingeniería

6 + 6

Torroja

Nervi

Ove Arup

Schlaich

Peter Rice

Bollinger + Grohmann

Carlos Nárdiz Ortiz es doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Entre 1985 y 1997 impartió docencia en la E.T.S. de Arquitectura de la Universidade da Coruña y, a partir de 1992, lo hace en su E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Ha publicado en más de cuarenta libros y es autor de medio centenar de artículos en revistas especializadas.

Entre la arquitectura y la ingeniería 6+6 analiza la contribución de la ingeniería –fundamentalmente estructural– a la arquitectura contemporánea, a través de la obra de seis arquitectos (Gaudí, Le Corbusier, Mies van der Rohe, Louis I. Kahn, SOM, Foster) y seis estudios de ingeniería (Torroja, Nervi, Ove Arup, Schlaich, Peter Rice, Bollinger + Grohmann), profundizando en las relaciones entre los arquitectos y los ingenieros a través de las obras de arquitectura más significativas del siglo XX.

Entre la arquitectura y la ingeniería 6+6

Carlos Nárdiz Ortiz

A Coruña 2017

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións
Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos
Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia

Entre la arquitectura y la ingeniería 6+6

NÁRDIZ ORTIZ, CARLOS

A Coruña, 2017

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións; Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia

Monografías, n.º 160 (Universidade da Coruña)

Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, n.º 97 (CICCP)

N.º de páginas: 668

19x26,7 cm

Índice: pp. 7-10

Depósito legal: C 2117-2017

ISBN: 978-84-9749-677-3 (Universidade da Coruña)

ISBN: 978-84-3800-519-4 (CICCP)

CDU: 72:624 "1850/..."

IBIC: AM | TN | 3JH | 3JJ | 3JMG

EDICIÓN

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións (<http://www.udc.gal/publicacions>)

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia

© de la edición: Universidade da Coruña, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia

© de las fotografías: Carlos Nárdiz (C.N.), Miguel Aguiló (M.A., pág. 86, 87, 291, 297, 299, 557 y 558) y Gael Sánchez Rivas (G.S.R., pág. 597)

© de los textos: Carlos Nárdiz Ortiz

DISTRIBUCIÓN

Galicia:

- Consorcio Editorial Galego. Av. da Estación 25, 36812 Redondela (Pontevedra)
pedimentos@coegal.com

España e internacional:

- Logística Libromares, S.L. C/ Matilde Hernández 34, 28019 Madrid (España)
pedidos@libromares.com
- Pórtico Librerías. C/ Muñoz Seca 6, 50005 Zaragoza (España)
distribucion@porticolibrerias.es

DISEÑO DE LA PORTADA: Julia Núñez Calo

DISEÑO INTERIOR: Carlos Nárdiz Ortiz

MAQUETACIÓN E IMPRESIÓN: Tórculo Comunicación Gráfica S.A.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin el permiso previo y por escrito de las personas titulares del copyright.

Agradecimientos

a Cristina Balado, Adolfo Fernández Seijo y Carlos Nárdiz Pérez, por su
colaboración en la elaboración de este libro;

a las bibliotecas de las Escuelas T.S. de Arquitectura y de Ingenieros de
Camino, Canales y Puertos de A Coruña.

ÍNDICE

PRÓLOGO	15
---------------	----

PRESENTACIÓN	19
--------------------	----

CAPÍTULO 1. GAUDÍ. ENTRE LA ESTRUCTURA Y LA FORMA

1. Introducción.....	35
----------------------	----

2. Gaudí a través de las obras	39
--------------------------------------	----

3. La Sagrada Familia	52
-----------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	65
--------------------	----

CAPÍTULO 2. TORROJA. LA COLABORACIÓN CREATIVA CON LOS ARQUITECTOS DE LA REPÚBLICA

1. Introducción	71
-----------------------	----

2. La ingeniería en esos momentos en España	74
---	----

3. La obra de Torroja en colaboración con los arquitectos	79
---	----

4. La geometría, lo resistente y lo estético en la obra de Torroja	93
--	----

BIBLIOGRAFÍA	101
--------------------	-----

CAPÍTULO 3. LE CORBUSIER. LA ESTÉTICA DEL AUTOMÓVIL

1. Introducción	107
-----------------------	-----

2. El contexto del diseño industrial y del arte de vanguardia.....	110
--	-----

3. El debate entre la geometría y la técnica en Le Corbusier.....	115
---	-----

4. Las casas en serie y las Unidades de Habitación	125
--	-----

5. El papel de la circulación en las propuestas urbanísticas.....	137
---	-----

6. Le Corbusier y la extensión a la ciudad a escala territorial apoyada en las autopistas	146
--	-----

BIBLIOGRAFÍA	152
--------------------	-----

CAPÍTULO 4. PIER LUIGI NERVI. LA EXPRESIÓN DE LO RESISTENTE

1. Introducción	159
-----------------------	-----

2. Las enseñanzas de la historia	161
--	-----

3. La aproximación de Nervi al hormigón armado	166
4. Los ingenieros proyectistas del hormigón en la Europa de las primeras décadas del siglo XX	172
5. La expresión de lo resistente.....	184
6. Las obras de Nervi.....	192
BIBLIOGRAFÍA	207

CAPÍTULO 5. MIES VAN DER ROHE. LA TRANSPARENCIA GEOMÉTRICA DE LA ESTRUCTURA

1. Introducción	213
2. El lenguaje formal y constructivo de la arquitectura de Mies	218
3. El orden geométrico y constructivo de las estructuras metálicas	225
4. La estructura y el cerramiento en las edificaciones altas de cristal y acero.....	238
5. Los detalles constructivos en la obra de Mies Van der Rohe	245
BIBLIOGRAFÍA	259

CAPÍTULO 6. OVE ARUP. LA FILOSOFÍA DEL CONSULTOR ESTRUCTURAL

1. Introducción	265
2. Reflexiones sobre la colaboración entre arquitectos e ingenieros.....	267
3. Los trabajos de Arup como consultor estructural.....	272
4. La Ópera de Sidney.....	283
5. Las relaciones entre Utzon y Arup durante el proyecto y la construcción de la Ópera de Sidney	290
BIBLIOGRAFÍA	302

CAPÍTULO 7. LOUIS I. KAHN. UN INGENIERO EN LA SOMBRA

1. Introducción	307
2. El pensamiento arquitectónico de Kahn.....	310
3. La obra de Kahn vista por los arquitectos e historiadores.....	317

4. La obra de Kahn vista por Komendant	328
5. Komendant en el contexto de la ingeniería del siglo XX	341
6. El proyecto de Louis I. Kahn para el centro de Filadelfia y la influencia de Ricolais	344
BIBLIOGRAFÍA	356

CAPÍTULO 8. SOM. LA TRANSFORMACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS TORRES DE OFICINAS

1. Introducción	361
2. La estructura en los edificios de gran altura. Las aportaciones de Goldsmith y Khan	364
3. El cerramiento de los edificios altos.....	382
4. Las torres de oficinas de SOM	388
BIBLIOGRAFÍA	403

CAPÍTULO 9. SCHLAICH. LA CONQUISTA DE LA LIGEREZA

1. Introducción	409
2. La búsqueda de la ligereza en las cubiertas	413
3. La obra de Schlaich	431
BIBLIOGRAFÍA	449

CAPÍTULO 10. PETER RICE. LA ESCALA DE LOS MATERIALES Y LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS

1. Introducción	455
2. El papel del ingeniero y la cualidad de los materiales.....	459
3. El Beaubourg	465
4. La colaboración de Rice con Piano	473
5. La colaboración de Rice con Rogers	486
6. Las colaboraciones de Rice con otros arquitectos.....	492
7. La aproximación de Peter Rice al vidrio estructural.....	504
BIBLIOGRAFÍA	513

CAPÍTULO 11. FOSTER. EL DISEÑO COMPARTIDO

1. Introducción	517
2. El lenguaje arquitectónico de Foster	520
3. Las primeras obras de Foster y su colaboración con Anthony Hunt	524
4. La influencia de Buckminster Fuller	534
5. El diseño compartido y la obra en colaboración con Arup	541
6. Proyectando con el nuevo siglo	555
BIBLIOGRAFÍA	568

CAPÍTULO 12. BOLLINGER + GROHMANN. LA INGENIERÍA AL SERVICIO DE LAS FORMAS COMPLEJAS EN LA ARQUITECTURA

1. Introducción	573
2. La definición de las geometrías complejas en la arquitectura	576
3. Los arquitectos de las formas complejas	583
4. La ingeniería al servicio de las formas complejas	620
5. Bollinger + Grohmann	648
BIBLIOGRAFÍA	664

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos se siente muy honrado por contribuir a la publicación de esta obra de Carlos Nárdiz, *Entre la arquitectura y la ingeniería 6+6*, que el lector tiene en sus manos, en la que aborda con inteligencia y sabiduría una de las cuestiones más apasionantes de nuestro ámbito profesional, la de las relaciones entre ambas disciplinas. Un número reciente de la *Revista de Obras Públicas*, órgano de expresión del Colegio, se dedicó monográficamente a indagar en tales relaciones, y lógicamente contó también con la colaboración del propio Nárdiz.

La relación enmascara casi siempre una rivalidad que no es sino la pugna por la autoría. Las contribuciones estructurales al diseño arquitectónico pueden entenderse como esenciales al proyecto o como instrumentales, y de que predomine una visión sobre la otra depende la atribución de lo creado, cuyos ingredientes funcionales y estéticos descansan generalmente en ambas patas inseparables. En la complejidad de esta relación indaga el libro de Nárdiz, que acude a un grupo selecto de arquitectos con amplia formación ingenieril como Gaudí o Foster, así como a un plantel de ingenieros que extrapolan el alarde estructural al diseño arquitectónico, como Torroja o Nervi.

Es innecesario decir que en esta sana competitividad está el secreto de la excelencia. Porque cuando se plantean estas cuestiones sutiles es que se ha sobrepasado determinado umbral de rutina y vulgaridad y se ha entrado en el terreno de la innovación y el descubrimiento, que es en el que se mueven determinados nombres que han abierto brecha y descubierto mundos en nuestras creativas profesiones.

JUAN A. SANTAMERA
Presidente del Colegio de Ingenieros
de Caminos, Canales y Puertos

La **Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia** es una entidad de interés gallego y sin ánimo de lucro nacida en 1993 por una iniciativa conjunta de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de A Coruña y la demarcación del Colegio en Galicia. Desde su creación, la Fundación ha venido apoyando y desarrollando, con decisión, la realización de actividades científicas, institucionales, de formación o de investigación en el ámbito de la ingeniería civil. En la actualidad, el **Patronato de la Fundación** está formado por las siguientes empresas e instituciones:

- Aluman
- Autopistas del Atlántico
- Autoridad Portuaria de A Coruña
- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia
- Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas
- Copasa
- Eptisa-Servicios de Ingeniería
- E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de A Coruña
- Extraco Construcciones e Proxectos
- FCC Construcción
- Gas Natural Fenosa Engineering
- Grupo Puentes
- Iceacsa
- Ovisa Pavimentos y Obras
- Portos de Galicia
- Sacyr Infraestructuras
- Universidade da Coruña

Este libro, *Entre la Arquitectura y la Ingeniería 6+6*, editado conjuntamente por la Fundación, la Universidade da Coruña y el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, plantea unas reflexiones muy interesantes, tanto en el ámbito profesional como en el docente, sobre las profundas imbricaciones existentes entre la ingeniería y la arquitectura. Sin duda, el libro del profesor Carlos Nárdiz contribuirá a una mejor comprensión de la interrelación entre estas dos disciplinas milenarias y su gran potencial para el desarrollo de las sociedades del siglo XXI.

JUAN M.º LOUREDA MANTIÑÁN

Presidente de la Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia

PRÓLOGO

ARQUITECTURA E INGENIERÍA

Aun hoy en día, después de toda una vida observando, admirando y estudiando a fondo las grandes obras de arquitectura e ingeniería, sigo siendo incapaz de trazar esa imaginaria línea roja, de identificar y establecer esa nítida frontera, que pudiera separar las unas de las otras.

Sí observamos y profundizamos en el estudio de las pirámides egipcias o mayas, del Partenón, del Acueducto de Segovia, del Puente de Alcántara, del Panteón, de la Mezquita de Córdoba, del Empire State, del Chrysler, de la Casa de la Cascada, del Puente Golden Gate o el de Brooklyn, de la Torre Eiffel... todos ellos tienen en común una gran racionalidad, una enorme utilidad, una admirable belleza y, a pesar del tiempo transcurrido desde que se construyeron, una extraordinaria calidad constructiva, que les ha permitido satisfacer la función para que fueron construidas, seguir en pie, superar las modas y los gustos pasajeros y seguir siendo hoy, a pesar del tiempo transcurrido, novedosas y vanguardistas. También poseen, todas ellas, ese halo poético que nos asombra y emociona cuando las contemplamos, y ello hasta el punto de poder afirmar, como ocurre con la buena poesía, que ni sobra ni falta nada, ni tan siquiera una palabra, un punto o una coma.

Y si bien la arquitectura se vincula más estrechamente con el hábitat y la ingeniería con la obra pública, ambas confluyen, se complementan y conviven inexorablemente en ese largo e imparable proceso de hacer útil, accesible, habitable y más confortable el medio natural.

Decía Ildefonso Cerdá que la vialidad y la habitabilidad están estrechamente ligadas, que son inseparables, que las ciudades son accesibles y se conectan entre sí por vías (carreteras, ferrocarril...), y en las ciudades los barrios y los diversos edificios necesitan calles, vías de tranvías, vías de metro... para relacionarse. E incluso, dentro de cada casa, a sus estancias se accede y éstas se comunican entre sí mediante pasillos, que no dejan de ser otra vía, de carácter más íntimo, más familiar, pero otra vía. Y cada una de ellas requiere un ancho, un gálibo y unas pendientes determinados.

Y uno podría preguntarse ¿dónde termina la vía y comienza la ciudad, la villa, o la aldea? También ¿dónde acaba la calle y empieza el edificio, o viceversa. ¿En la acera, en el portal?, o ¿dónde acaba el pasillo y comienzan el salón o la cocina, o el resto de las estancias de una casa?

En cualquier lugar, también en Galicia, el país de los mil ríos que decía Ramón Otero Pedrayo, en cualquier trozo de su territorio, esté situado en el interior o en la costa, nos encontraremos, junto con una gran diversidad de elementos naturales, un sinfín de objetos artificiales: fuentes, pozos, minas, regos, presas, canales, acueductos... que el hombre ha construido para captar, conducir, depositar el agua y regar; también numerosísimos molinos, fábricas de cuero, fábricas de papel, presas de producción hidráulica para facilitar la producción industrial o hidroeléctrica; toda una serie de pasos, *pontellas*, *pontillóns*, *pontes*... caminos,

corredoiras, carreiros, pistas, viales, carreteras, autovías, autopistas... construidos por el hombre para poder desplazarse por el territorio, que han sido determinantes en el largo e inacabado proceso de humanización del dicho territorio. Y todo ello, dada la tradicional dispersión de la población, mezclado con pallozas, casas, casales, pazos, aldeas, villas, ciudades... todo mezclado e integrado de tal manera que sería muy difícil, casi imposible, separar, delimitar y discernir aquello que corresponde al campo específico de la arquitectura y al de la ingeniería.

Si los ingenieros y los arquitectos fuéramos capaces de dejar a un lado ese ego profesional y de afrontar y resolver con ingenio, sensibilidad y racionalidad la necesaria interrelación entre lo que habitualmente se considera específico del ingeniero y del arquitecto, como lo han logrado siempre las buenas obras de ingeniería y arquitectura, esas que nos emocionan por la sabia integración de la función y la forma, acompañadas por ese mágico halo poético, como ocurre con los ejemplos seleccionados en este interesantísimo libro que hoy nos regala Carlos Nárdiz, en el que se relatan y describen las obras y la trayectoria profesional de Gaudí, Torroja, Le Corbusier, Nervi, Mies van der Rohe, Ove Arup, Louis Kahn... y otros grandes ingenieros y arquitectos, y que nos permite analizar esas permanentes afinidades que existen entre la ingeniería y la arquitectura.

Y, aunque son disciplinas que tienen entidad propia y podemos considerar diferentes, no nos vendría nada mal que, en nuestro ejercicio profesional, los arquitectos tratáramos de ser un poco ingenieros y los ingenieros un poco arquitectos. Seguro que saldríamos ganando: los arquitectos, los ingenieros y, lo que es más importante, los usuarios de sus obras.

CÉSAR PORTELA

Arquitecto

