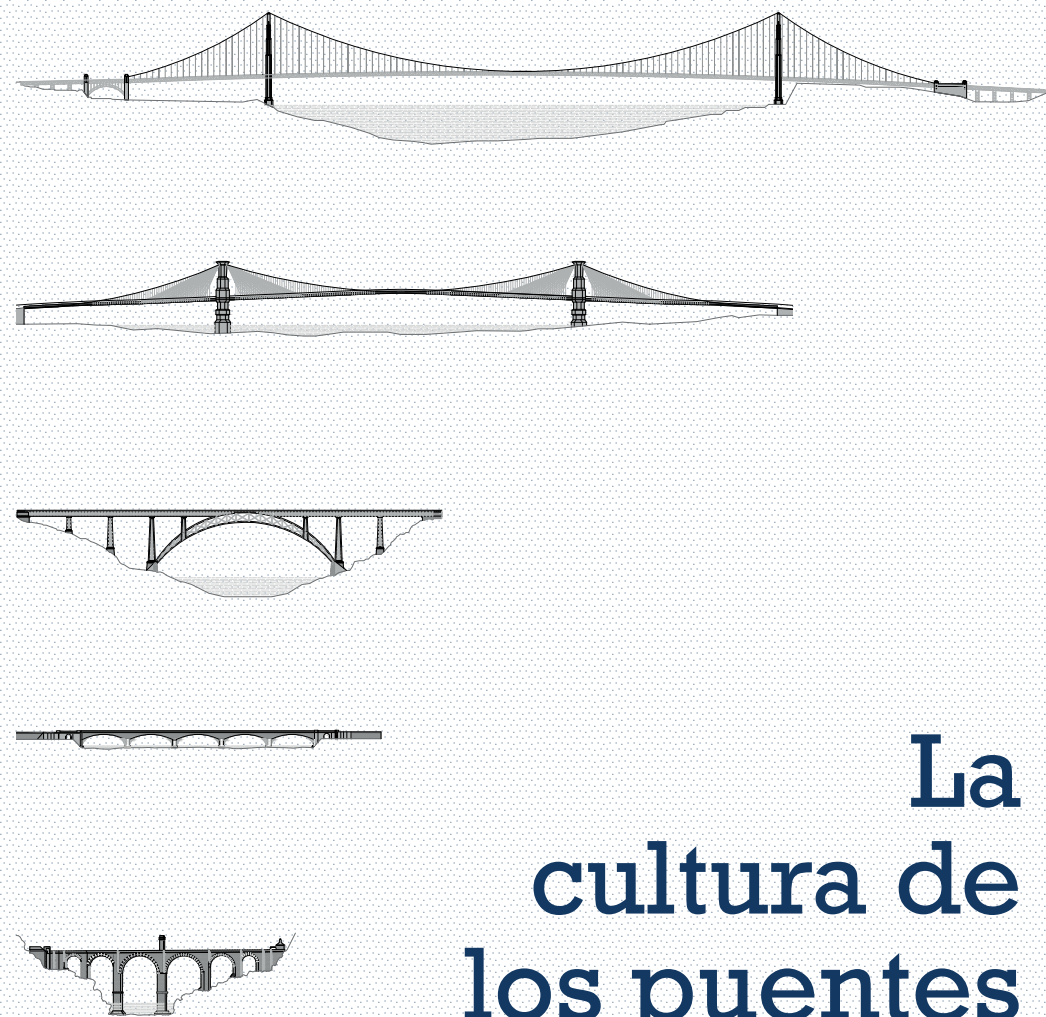


La sociedad no es suficientemente consciente de los muchos valores que tienen los puentes, objeto de uso cotidiano, pero asimismo expresión de ciencia y arte (lo constructivo también lo es). Su creación, construcción y conservación forman parte esencial de la labor de los ingenieros, pero su aprecio es cosa de todos. El propio concepto “puente” es rico en significados metafóricos de comunicación y, por tanto, de cultura.

El valor fundamentalmente utilitario de los puentes, que se reconoce especialmente -como la salud- cuando se interrumpe o se pierde por obras o catástrofes, es compatible con los técnicos, artísticos y culturales. Por esa razón el título del seminario lleva implícito lo esencial de la idea que se pretende analizar y transmitir: lo cultural. Abierto y sugerente, el seminario se propone a asistentes que provengan tanto del mundo de la ingeniería como de cualquier otro ámbito con curiosidad o sensibilidad hacia los puentes, tan importantes y desconocidos en comparación con otros elementos del patrimonio construido.

Con toda seguridad, ninguna otra pieza de la ingeniería civil concita resonancias tan positivas como los puentes, a diferencia de otras construcciones, también necesarias pero con evocaciones puntualmente peyorativas como los muros o los sistemas de saneamiento. Los puentes son, insistimos, elementos culturales, ligantes de las sociedades a las que prestan servicio. Y eso importa a personas, estudiantes universitarios o no, de ámbitos como la sociología, la historia, el periodismo y la comunicación, el arte, la literatura, la arquitectura y la propia ingeniería... En este seminario, planteado con vocación abierta, no se pretende entrar en detalles técnicos especializados, propios del proyecto o de la construcción, sino que, cobrando altura, se recorren aspectos descriptivos, culturales, periodísticos y del lenguaje, políticos, patrimoniales, etc.



# La cultura de los puentes



El encuentro *La cultura de los puentes* estuvo patrocinado por las siguientes empresas:



# La cultura de los puentes



© Fundación Fhecor

Reservado todo los derechos

Este libro ha contado con el generoso patrocinio de la Fundación ACS

“No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.”

Printed in Spain - Impreso en España

En colaboración con la Fundación Fhecor  
y la Universidad Internacional Menéndez Pelayo

# Autores

## **Francisco Javier León González**

Presidente de la Fundación Fhecor.  
*jlg@fhecor.es*

## **Ana Irene Lorea Arnal**

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.  
Directora de Proyectos e Innovación en Ingeniería Zero SL.  
*alorea@ingzero.com*

## **José Romo Martín**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Consejero delegado de Fhecor Ingenieros Consultores, S.A.

## **Miguel Aguiló Alonso**

Académico de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

## **Juan Rodado López**

Director Técnico de Ingeniería, Grupo PUENTES.  
*j.rodado@grupopuentes.com*

## **Inmaculada Aguilar Civera**

Catedrática de Historia del Arte, Universidad de Valencia.  
Académica correspondiente de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.  
Miembro del patronato de la Fundación Juanelo Turriano.  
Directora honorífica de la Cátedra Demetrio Ribes.

## **Ricardo Centellas Salamero**

Funcionario de carrera y Gerente del Consorcio Goya Fuendetodos, Diputación Provincial de Zaragoza.  
*rcentellas@dpz.es*

## **Xavier Font Solà**

Director de Alfa Polaris, S.L.  
*xavier@alfapolaris.net*

## **Abel Erzilla Lezea**

Responsable Técnico Back Office de ULMA Construction.  
*aercilla@ulmaconstruction.es*

## **Daniel Crespo Delgado**

Fundación Juanelo Turriano.  
Universidad Complutense de Madrid.  
*daniecre@ucm.es*

## **Laura Hernández Rodríguez**

Universidad Complutense de Madrid.  
*lauher11@ucm.es*

## **Conchita Lucas Serrano**

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.  
Jefa del Dpto. Puentes y Estructuras, Geotecnia y Obras Marítimas.  
Dirección Técnica. Dragados SA.  
*clucass@dragados.com*

## **Miguel Ángel Delgado Núñez**

Director Técnico del Área de Rehabilitación de puentes en IMESAPI.  
*madelgadon@imesapi.es*

## **Francisco Javier Fernández Pozuelo**

Director I+D+i, Fhecor Ingenieros Consultores, S.A.  
Secretario de la Fundación Fhecor.  
*fjfp@fhecor.es*

## **Javier Muñoz Álvarez**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Secretario de la Demarcación de Castilla y León del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.  
*264jma@gmail.com*

# Prólogo

La Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) es, por vocación y tradición, un espacio de encuentro donde el conocimiento trasciende disciplinas y se convierte en una herramienta de diálogo y reflexión. El curso *La cultura de los puentes*, celebrado el verano de 2024, representa una iniciativa paradigmática de esta filosofía, al abordar los puentes no solo como logros de la ingeniería, sino como expresiones del arte, la historia, la literatura y la identidad cultural de las sociedades.

Pocas infraestructuras, quizás ninguna, tienen el poder evocador de los puentes ni han jugado un papel tan trascendental y estratégico como ellos a lo largo de la historia. Su existencia ha hecho florecer ciudades y su desaparición o ausencia decaer a otras. Los hay de todas las épocas y materiales: puentes romanos, medievales, modernistas, colgantes, de piedra, madera, metálicos, hormigón, ... y se han convertido, en muchos casos, en una imagen icónica de las ciudades que los albergan: Mérida, Salamanca, Lisboa, Florencia, París, Sidney, Nueva York, San Francisco, ... deben parte de su personalidad a esos puentes indefectiblemente asociados a ellas y que las identifican.

Esta obra, fruto del esfuerzo conjunto entre la Fundación ACS, la Fundación FHECOR y la UIMP, recoge las ponencias y debates desarrollados durante el curso, estructurando un análisis multidimensional de los puentes. En sus capítulos iniciales, se aborda la rehabilitación de estas infraestructuras, explorando su ciclo de vida, la conservación ordinaria y especializada, los criterios de intervención y la importancia de su valoración patrimonial. En definitiva, diagnosticar y cuidar la salud de nuestros puentes igual que la medicina cuida de la de las personas. Posteriormente, se plantea una visión creativa e innovadora, destacando el puente como una obra que conjuga funcionalidad y estética, y cuyo diseño responde tanto a exigencias técnicas como a la interacción con su entorno. En momentos donde la técnica y los materiales permiten soluciones audaces y prodigiosas, todos estos otros componentes: estética, impacto visual y medioambiental, mantenimiento, cobran aún mayor importancia

Pero más allá de la técnica, este libro también nos invita a mirar los puentes desde una perspectiva crítica y patrimonial, analizando su papel en la historia, la cultura y la sociedad. Se abordan los retos constructivos, el impacto de la industrialización en los materiales y las nuevas técnicas de edificación. También se explora su representación en el arte y la fotografía, la recuperación de estructuras históricas y su presencia en la literatura, el cine y la poesía.

Es difícil exagerar la importancia de los puentes en la historia humana. El puente, en su esencia, es un símbolo de conexión. Une territorios, enlaza civilizaciones, fomenta el entendimiento y el progreso. Permite salvar esa barrera que nos separa apenas unas decenas de metros del otro lado pero que resulta infranqueable de no mediar un puente. Unir, comunicar, enlazar, comerciar. Los estrategas militares lo saben bien y por eso su destrucción o construcción y en definitiva su control, son objetivos prioritarios. Y su evolución y estética son testigos permanentes del avance de la tecnología y el arte. ¡Hasta han dado lugar a una teoría matemática de la mano del gran Euler en Königsberg!

Por ello, es particularmente significativo que este libro no solo reúna a ingenieros, sino también a historiadores, arquitectos, comunicadores y otros expertos que contribuyen a ampliar nuestra comprensión de estas estructuras.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Francisco Javier León González y Francisco Javier Fernández Pozuelo, por su liderazgo en este proyecto, así como a todos los ponentes, colaboradores e instituciones que han hecho posible esta publicación. Que estas páginas sirvan para inspirar nuevas conexiones y para seguir tendiendo puentes entre el conocimiento y la sociedad y las distintas disciplinas, a veces demasiado aisladas de las otras.

**Carlos Andradás**  
Rector de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo

# Índice

<b>Rehabilitación. Miradas retrospectiva y prospectiva .....</b>	<b>13</b>
¿Es inexorable el final de la vida útil de los puentes?.....	13
La analogía con el modus operandi en medicina .....	15
Elogio a la conservación .....	20
Rehabilitación e identificación de los valores del puente .....	24
Ejemplos de intervención.....	26
Consideraciones finales.....	31
Referencias.....	33
<b>El puente y la experiencia de usuario.....</b>	<b>35</b>
Reflexión inicial. Acercamiento. Diferentes usuarios.....	35
Proceso de diseño de puentes urbanos: “People centered” .....	36
¿Qué factores principales influyen en el proceso de diseño? .....	36
Puente de San Ignacio, Zorrotzaurre, Bilbao .....	37
Puente Lehendakari Aguirre sobre el Urumea. San Sebastián.....	39
Puente Lehendakari Aguirre v.s. Zorrotzaurre. Simetría o Asimetría.....	41
Puente de Astiñene. San Sebastián.....	42
La Pasarela de Miramón, un camino entre los árboles. San Sebastián.....	44
La Pasarela Onda Atlántica. Las Palmas de Gran Canaria .....	46
<b>El puente como hecho creativo y hecho creado.....</b>	<b>49</b>
Crear en ingeniería civil.....	49
Aprender, observar, aplicar .....	53
Conocer, reinterpretar, transformar .....	54
Analizar, descifrar y responder el contexto.....	60
Superar lo canónico.....	61
Idear, definir y comprobar.....	65
El resultado: el puente como hecho creado.....	70
Epílogo.....	73
Referencias.....	74
<b>Crítica, patrimonio e innovación .....</b>	<b>75</b>
Dimensión territorial.....	75
Ámbito local.....	76
Tecnología global .....	77
Voluntad de configuración .....	80
Introducción de lo Nuevo.....	82
Recepción crítica.....	86
Valor patrimonial .....	87
Referencias.....	89

<b>El reto constructivo de los puentes .....</b>	<b>91</b>
La construcción como reto.....	91
Algunos ejemplos en la historia de la construcción de puentes.....	94
Técnicas de construcción actuales .....	98
Construir arcos.....	98
Avance en voladizo.....	103
La construcción vano a vano con cimbra autolanzable .....	105
Tableros prefabricados.....	108
Ampliación de tableros y obras singulares .....	109
Referencias.....	113
<b>El puente metálico en el siglo XIX. Nuevos conceptos en el arte de la construcción.....</b>	<b>115</b>
Mirar la construcción metálica. un objetivo .....	115
El puente y la imagen de progreso.....	117
Características de la construcción metálica .....	119
La influencia de la ciencia .....	119
La influencia de la industria.....	122
La influencia del mercado.....	127
Fragilidad patrimonial de la construcción metálica .....	132
Referencias.....	135
<b>Un puente en el paisaje: Goya y la recepción del concepto de lo sublime en la Ilustración.....</b>	<b>137</b>
El paisaje en Goya .....	137
«El sublime» y la antropización de la naturaleza mediante el arte de la ingeniería .....	140
Paisajes sublimes con puente en la colección real .....	146
Una nota al margen: Goya y los ingenieros generales del ramo de caminos, puentes, arquitectura civil y canales.....	148
Referencias.....	151
<b>La imagen de los puentes a través de la fotografía .....</b>	<b>155</b>
La fotografía como medio para mostrar aspectos singulares de los puentes .....	158
La importancia de la elección del plano fotográfico.....	161
La belleza oculta del proceso constructivo .....	166
Los puentes como fuente de inspiración fotográfica.....	171

<b>Ingeniería efímera en la recuperación de estructuras históricas: El caso del puente Deba</b> .....	<b>173</b>
Introducción.....	173
El puente Deba: Historia y Contexto.....	174
El colapso de 2018.....	175
El proceso de intervención: Ingeniería efímera en acción.....	175
Referencias históricas y modernización de técnicas.....	175
Evaluación de la situación.....	176
Una solución innovadora: uso de cimbras autolanzables.....	177
Sostenimiento del puente Deba: fase de emergencia.....	179
Industrialización del proceso: polipastos y puente grúa.....	184
Deconstrucción y reconstrucción del arco.....	185
Desmontaje del puente.....	185
Valor histórico y uso de elementos auxiliares en la restauración del puente Deba.....	188
Montaje en blanco: Evaluación preliminar de técnicas de restauración.....	192
Recolocación de las dovelas y fase final de reconstrucción.....	193
Un premio a la “magia” de la ingeniería efímera.....	195
Referencias.....	196
<b>Construir un puente en la Edad Moderna. La promoción y contratación de una obra hidráulica en el siglo de la Ilustración</b> .....	<b>197</b>
<b>La sensibilidad del constructor</b> .....	<b>215</b>
Introducción.....	215
Importancia del trabajo en equipo.....	215
Aplicación a la construcción de Puentes Atirantados.....	217
El valor de la experiencia acumulada.....	222
Puente de Waterford – Puente Internacional Gordie Howe.....	222
Puente de Cádiz – Queensferry Crossing.....	227
Motor de desarrollo tecnológico.....	233
Referencias.....	238
<b>Los puentes de la poesía</b> .....	<b>239</b>
Los puentes en nuestra cultura y su relación con la poesía.....	239
La presencia de los puentes en la sociedad: frases, metáforas y comparaciones.....	241
La poesía, una forma especial de expresar y sentir los puentes.....	243
Analogía con el fenómeno de resonancia. Resonancia poética-estructural.....	244
Algunas rimas célebres sobre puentes.....	245
La rehabilitación de puentes y la poesía, dos maneras de potenciar la cultura de los puentes.....	258

<b>Los puentes en la literatura y en el cine</b> .....	<b>267</b>
Introducción.....	267
Los Puentes de la literatura.....	269
Generalidades.....	269
Un puente sobre el Drina, de Ivo Andrić.....	269
El autor.....	269
La obra literaria.....	271
El puente.....	271
El puente de San Luis Rey, de Thornton Wilder.....	272
El autor.....	272
La obra literaria.....	274
El puente.....	274
El puente, de Gay Talase.....	275
El autor.....	275
La obra literaria.....	275
El puente.....	277
Los Puentes en el cine.....	277
Generalidades.....	277
El maquinista de la General (The General), Buster Keaton, 1926.....	278
Octubre, Sergei Eisenstein, 1927.....	280
Midnight in Paris, Woody Allen, 1926.....	281
Referencias.....	283
<b>El valor cultural de los puentes</b> .....	<b>285</b>
Introducción.....	285
Hecho cultural.....	286
La mirada de los otros.....	286
De puertas para adentro.....	289
Hecho civilizatorio.....	290
Hecho publicitario.....	290
Ingeniería icónica.....	290
Los puentes como “experiencia”.....	291

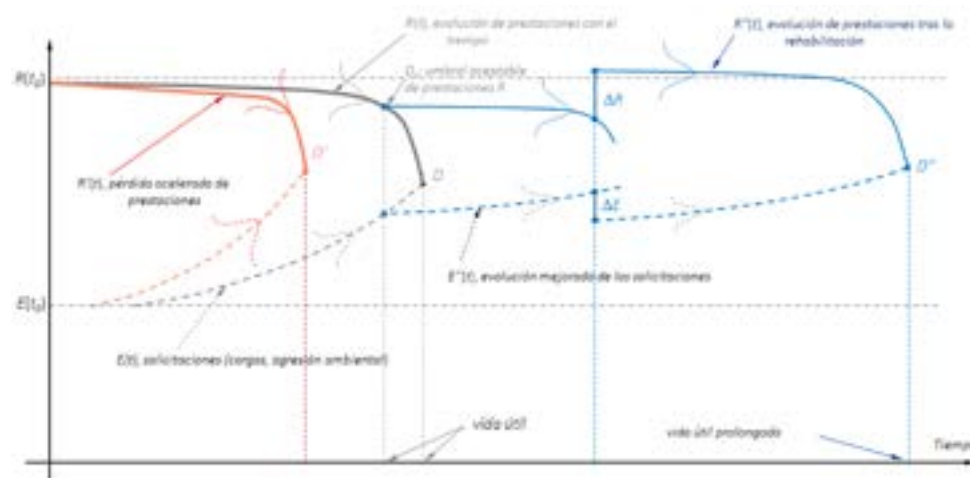
## Rehabilitación. Miradas retrospectiva y prospectiva

Francisco Javier León González

### **¿Es inexorable el final de la vida útil de los puentes?**

Repetía a mis alumnos de la Escuela de Ingenieros de Caminos de la UPM que las prestaciones de las estructuras -como sucede con las de los electrodomésticos, los automóviles y los seres vivos- van decayendo progresivamente, al tiempo que las sollicitaciones que actúan sobre ellas incluso aumentan. Si no se interviene, si no se hace mantenimiento oportuno y adecuado -si no vamos a las revisiones médicas periódicas o no nos vacunamos- la probabilidad de que el final de la vida útil se acerque va siendo progresivamente mayor. Si, por el contrario, abordamos un mantenimiento activo que se vaya anticipando a los estragos del tiempo, crece significativamente la probabilidad de conseguir que se retrase ese inexorable final. La gestión de todo ese proceso es lo que llamamos ingeniería de conservación, disciplina más bien ignorada que ha empezado a cobrar carta de naturaleza hace más bien poco tiempo. La conservación es, por cierto, una de las expresiones más concretas y tangibles de la sostenibilidad, tan en boga hoy. Pero, además, la ingeniería de conservación tiene una conexión muy particular, muy íntima con la cultura de los puentes, leitmotiv de este Encuentro.

Viene muy a colación la afirmación de Ortega y Gasset [9] acerca de la actitud del profesional: *Es preciso estar alerta y salir del propio oficio: otear bien el paisaje de la vida que es siempre total. La facultad suprema para vivir no la da ningún oficio ni ninguna ciencia: es la sinopsis de todos los oficios y todas las ciencias y muchas otras cosas además.* La oportunidad de la cita tiene que ver con la necesidad de que el profesional cobre altura y perspectiva, también cultural y temporal. En efecto, la mirada que debe lanzar el responsable de un patrimonio de estructuras -no sólo de puentes- ha de tener tanto carácter retrospectivo, de indagación en las múltiples facetas de su historia, como prospectivo, de reflexión y de decisión acerca de cómo se ha de legar ese patrimonio y de las lecturas que se harán del mismo en un cierto horizonte temporal futuro.



**Figura 1.** Esquema de la evolución de las prestaciones  $R$  y de las acciones  $E$  sobre los puentes. Inicialmente, la distancia entre  $R(t=0)$  y  $E(t=0)$  es el margen de seguridad (por simplicidad se ha supuesto un planteamiento determinista, aunque se insinúan en las figuras las funciones de distribución). La capacidad resistente  $R$  (de trazo continuo) decae como consecuencia del inexorable deterioro de los materiales. Las acciones (curva  $E$ , de trazo discontinuo) crecen porque han ido aumentando los tráficos, las cargas muertas y la agresión ambiental.

Pero ¿tan importantes son los puentes? Pensemos que se trata de elementos de enorme valor estratégico que los convierten en víctimas frecuentes de episodios bélicos, o que, rotos por avenidas, han dejado incomunicadas a las comunidades a las que venían sirviendo. Se ha dicho, con razón, que los puentes se valoran de verdad cuando se carece de ellos. Su existencia y su valor merecen, qué duda cabe, una reflexión.

## La analogía con el *modus operandi* en medicina

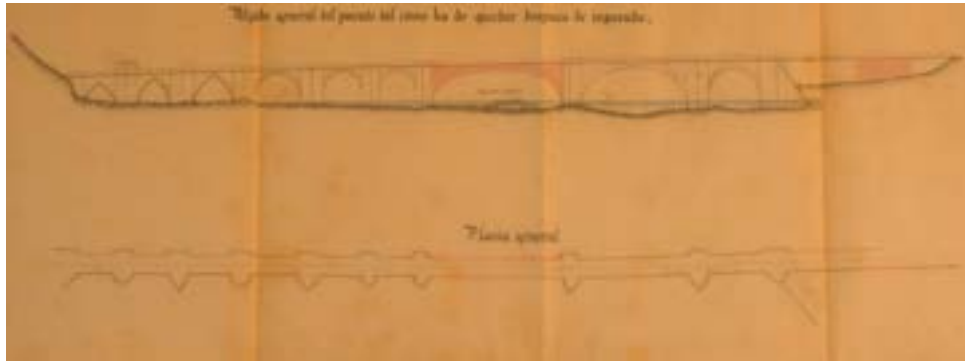
De Pieper [12] tomé hace ya muchos años la metáfora que permite entender a la perfección cómo plantear la ingeniería de conservación en paralelo con lo que se hace en el ámbito de la medicina. Los puentes -y otras construcciones- son los ‘pacientes’ que tratamos los ‘médicos’ en que nos convertimos los ingenieros de conservación para asegurar la durabilidad, la prolongación de la vida útil de los puentes. Se trata, pues, de la bien conocida secuencia de anamnesis, análisis, diagnóstico, terapia y pronóstico.

En efecto, lo primero que analiza el médico de su paciente, en el proceso normal de seguimiento regular de la salud, es examinar la **historia clínica** del paciente: la **anamnesis**. Esa revisión y profundización en la historia, incluyendo las facetas técnicas<sup>1</sup>, supone un incremento del valor patrimonial del puente y, por tanto, de su valor cultural. Saber del porqué del puente, de la calzada a la que ha dado soporte, de la relevancia en la economía y la comunicación de la región que supuso y supone la ruta, de cómo se construyó, de los avatares que ha podido sufrir, etc. es de enorme importancia. Lo es también situar su momento de construcción o reparación, porque el ingeniero responsable de su evaluación puede deducir con qué materiales y tecnologías constructivas se construyó, con que reglamentos técnicos (en tiempos modernos), etc.

Se da por hecho que la Administración sanitaria cuenta con los historiales de los pacientes y que, por razones obvias, sería un escándalo que se perdieran. Pues bien, la misma sensibilidad se habría de aplicar a las historias clínicas -que incluyen también la historia de la génesis y construcción del propio puente-correspondientes. Pero constatamos, por desgracia, una notable pereza de los ingenieros, tanto de las propias administraciones como de los consultores y contratistas, a la hora de buscar y apreciar la historia, porque, lejos de ser la guinda erudita del pastel, esa información, repetimos, es de extraordinario valor práctico<sup>2</sup>.

1 Como afirma José Carlos Palacios [10: 173-191], El conocimiento de la construcción ha de ser herramienta imprescindible para comprender en toda su dimensión la arquitectura de la Antigüedad. Suscribimos esa afirmación, extensiva íntegramente a los puentes.

2 Durante mi etapa como docente insistí mucho en el valor que tiene el conocimiento de la Historia (así, con mayúscula). Preparamos unos apuntes que pueden verse en [5].



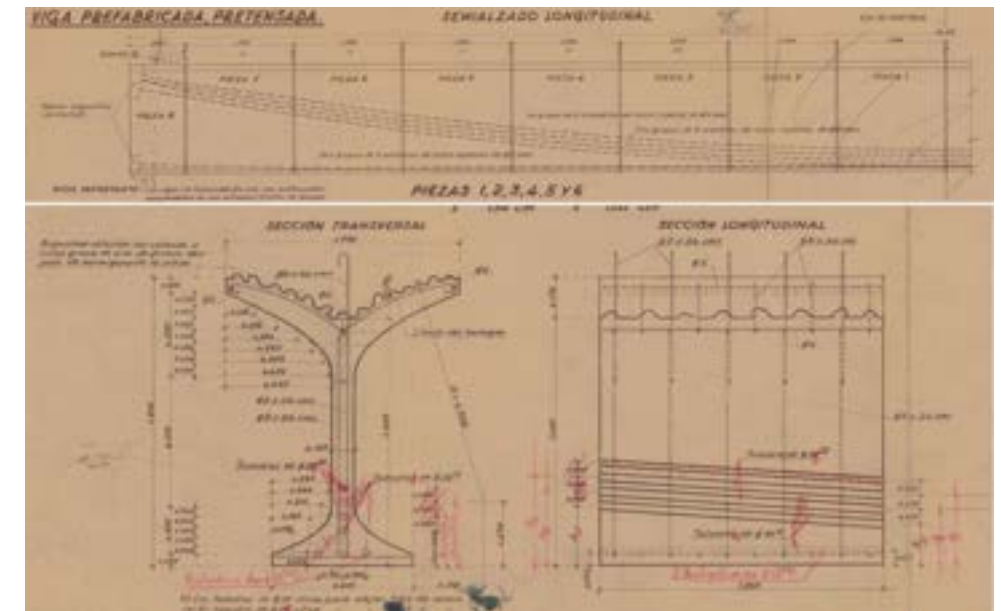
**Figura 2.** Puente de S. Vicente de la Sonsierra. Proyecto de rehabilitación (1871), custodiado con envidiable celo en el Ayuntamiento de esa localidad riojana. Se representa en rojo el tramo que se llevó una riada y que sería objeto de reconstrucción en los dos años siguientes. La memoria y los planos describen hasta qué punto las circunstancias condicionan la solución dándose toda suerte de explicaciones en un lenguaje interesantísimo, no siempre fácil de leer, que revela cuánto sabían aquellos ingenieros.

Además de las fuentes documentales clásicas, el proyecto o las intervenciones posteriores están reflejadas, cuando hay suerte, en la fotografía y hasta en el cine o en los documentales. Este es el caso del puente sobre el río Tera, en Zamora, en una fotografía de Jean Laurent, cuyo fondo completo puede consultarse telemáticamente en la página web del Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE).



**Figura 3.** Fotografía de Jean Laurent del puente sobre el río Tera. A la bóveda de la izquierda, ya descimbrada, sigue otra aún construyéndose sobre cimbra y una tercera con cimbra en proceso de montaje. A la derecha, las bóvedas cuyas primeras hiladas se mantienen gracias al rozamiento entre éstas. Por encima, la pasarela auxiliar para el transporte de dovelas y otros materiales.

Ejemplo de repositorio de información histórica de los puentes es el de los fondos del CEHOPU. Allí encontramos valiosísimos datos con los que pudimos completar la fase de anamnesis tras el colapso del puente de la M-527 sobre el río Guadarrama el 29 de mayo de 2015. Diseñado en 1957 por el insigne ingeniero Alfredo Páez, resultó que el puente era de los primeros de España en hormigón pretensado [1: 15-16, 3 y 4].



**Figura 4.** Planos del puente de la M-527 sobre el Guadarrama, obra de Alfredo Páez (1957), pionero del pretensado en España.

El paso siguiente que suele dar el médico es el del **análisis**. Comienza con la observación [4], si acaso incluyendo una auscultación con medios sencillos. Con frecuencia, tal exploración es base suficiente para apuntar un diagnóstico, pero a menudo se encargan, para dar mayor fundamento al dictamen, análisis de creciente nivel de sofisticación si los más sencillos no acaban de ser suficientes. El ingeniero dedicado a la conservación de puentes hace algo parecido. Si tiene ojo clínico educado por el estudio y por la experiencia, sabrá detectar qué sucede y sólo si es necesario, acometerá una investigación más profunda -y más costosa- para determinar con menor probabilidad de error, cuál es el origen de los problemas detectados.

A diferencia de los médicos, los ingenieros solemos hacer, además de pruebas analíticas experimentales de muy diversa índole, análisis numéricos. Hacemos cálculos estructurales que están orientados a confirmar y cuantificar las intuiciones previas. Se trata de estudios que permiten estimar la seguridad estructural frente a colapsos parciales o totales, su aptitud al servicio (que no se deformen o vibren por encima de umbrales inaceptables para el confort de los usuarios) y, aunque eso es más difícil, estimar la vida útil residual del conjunto del puente o de algunos de sus componentes. Nos basamos para ello en las fecundas matemáticas, la física y la química, cuyos principios aplicaran, al final de la Ilustración, los fundadores de la ingeniería moderna (ver, entre otros, [8]).

En definitiva, sólo sobre una sólida y bien documentada historia clínica (anamnesis) y un bien orientado análisis se llega a la **diagnos**is más certera posible. Diagnosticar es emitir pronunciamiento claro acerca de las causas que explican el daño o el deterioro que experimenta el puente. Un correcto diagnóstico es, naturalmente, base irrefutable de una correcta terapia. Lo contrario -un diagnóstico erróneo- lleva a decisiones equivocadas, incluida una terapia desacertada. Esta crucial fase fue objeto de la ponencia de Julio Sánchez Delgado en este mismo Encuentro en la UIMP, en Santander, en julio de 2024.

La **terapia** es el ámbito en el que se mueve la rehabilitación, que da título a esta ponencia. Y es precisamente la restauración la actividad que, entendemos, debe comunicarse a la sociedad, no sólo porque ha de padecer la incomodidad de la intervención en un puente existente, que ya es razón suficiente, sino porque el puente tiene una historia vinculada a esa misma comunidad y también porque se va a actuar para mejorar prestaciones, seguridad y, no menos importante, para engrandecer el valor que esa sociedad debe atribuir al puente: para que lo quiera más. Ese amor es, como en otras facetas de la vida, esencial para engrandecer el valor cultural de los puentes. Leonardo da Vinci, personaje en el que se dan cita la curiosidad infinita, el trabajo y el espíritu racionalista del Renacimiento, proclamó: *Il grande amore nasce della grande cognitione de la cosa che si ama*. Este aserto sintetiza a la perfección que ingenio y arte, técnica y emoción, no son incompatibles, sino recíprocamente potenciadores. La proclama de Leonardo entraña también una simbiosis de razón y sentimiento, de racionalismo científico que se torna en amor, sentimiento difícilmente explicable en términos físico-matemáticos (quizás ‘químicos’). El amor estimula la profundización en la materia objeto de estudio: una dualidad sinérgica formidable propia del ser humano con voluntad. Carlos Fernández Casado, filósofo además de gran ingeniero y profundo conocedor de la Historia, afirmaba certeramente, como principio, que *ese grande amor legitima el fruto material de nuestra relación con las cosas*, lema en el que basó la justificación de su actividad como ingeniero. Cierro la digresión invocando la necesidad de contagiar a la sociedad ese amor por los puentes, que son parte imprescindible de la sociedad.



Figura 5. Panel divulgativo elaborado para explicar (2020) la necesidad de intervenir en el puente sobre el Jándula (Jaén), A-6177 p.k. 22+300.

No es tan raro que sea durante las fases de reparación y refuerzo cuando sobrevengan algunos accidentes en los puentes, como fue el caso del archiconocido colapso del puente Polcevera (Génova), acaecido el 14 de agosto de 2018. Antonino Recupero [15] ha expuesto cómo la intervención terapéutica ha de ser completa o, de no serlo, ha de asegurar la robustez de la obra tanto durante el proceso de intervención como, antes aún, en el lapso que media entre la identificación del problema y la actuación segura. No intervenir, o no hacerlo con los medios adecuados con pretextos difícilmente defendibles, llevó a un desastre que conmocionó al mundo y, por supuesto, a la profesión.



Figura 6. Colapso del puente Polcevera (Morandi). Génova, 14 de agosto de 2018.

Sigue a esta fase la del seguimiento, el **pronóstico** o **prognosis** de lo que ha de ser objeto de atención a lo largo del tiempo: el tratamiento pautado que, para los puentes, constituyen las discretas y poco valoradas conservación ordinaria y conservación especializada, a pesar de la gran responsabilidad que conlleva decidir acerca de si los puentes siguen siendo aptos para el uso. También es importante en esta fase pulsar si socialmente se han apreciado sus muchos y polifacéticos valores.

Aún hay una fase más, más bien simbólica, que me enseñó Miguel Aguiló durante un retiro en el convento San Benito de Alcántara (Fundación Iberdrola) en abril de 2007, adonde acudimos para reflexionar acerca de los puentes romanos a la vera del majestuoso puente de Alcántara. Presenté esta analogía del citado Pieper [12] -sobre el paralelismo entre médicos e ingenieros de conservación- y Miguel Aguiló apuntó que existe un estado más: el de la **Memoria**, la documentación de todo tipo que queda de una obra que ya desapareció, sean cuales sean las causas de su baja. También nos queda, bien lo sabemos, la memoria de los seres queridos y admirados que, de alguna forma, prolongan indefinidamente su vida a través del legado que dejan en formas diversas. Creo que el argumento es sólido y es criterio que debería presidir cualquier actuación relativa a la intervención *post-mortem* en un puente colapsado, o de cambio de uso en un puente existente que pase a tener otra función, como hemos presentado recientemente [16].

### Elogio a la conservación

Las actuaciones de conservación se han considerado tarea menor, sin el relumbrón que tiene justamente el proyecto y la generación de obra nueva, pero juegan un papel crucial. Decía el político francés Édouard Herriot (1872-1957), con razón, que *el valor de una civilización no se mide por lo que sabe crear, sino por lo que sabe conservar*. Los romanos instituyeron la figura del Curator, funcionario dotado de recursos humanos y presupuestarios para atender la conservación de las obras públicas correspondientes. Se contaba con los *curator viarum*, *curator aquae*, *curator cloacarum*, etc. Sin las actuaciones de conservación ordinaria (la más directa, con personal y recursos propios) y de la conservación especializada (la que aportan empresas externas de juntas, de gateo de tableros para sustitución de aparatos de apoyo, o reemplazo de tirantes, o de actualización del sistema de contención, por ejemplo), los puentes quedarían inservibles al cabo de poco tiempo. Como en el plano doméstico, esas actuaciones pasan muy principalmente por la limpieza de los desagües. En efecto, el agua es el enemigo público número uno de las construcciones, en general, y darle salida es tarea primordial, así que hay que evitar que los desagües se atasquen o que se congelen las conducciones. También han de mantenerse libres de vegetación los caces, desagües, juntas, los paramentos de las obras de piedra, etc.



Figura 7. Sumidero en mal estado, canalones y bajantes atascados y rotos por el hielo en la Indiana Toll Road (2006).



Figura 8. Desagües y caz del puente de La Toja (2004) antes de las operaciones de mantenimiento.

Está demostrado que concebir correctamente el sistema de drenaje y mantenerlo adecuadamente es lo más eficaz y económico para asegurar la durabilidad. Controlar durante la ejecución que los desagües están en los puntos bajos (es obvio decirlo) es más sencillo que otras sofisticadas operaciones constructivas, y mucho más barato. Hemos venido reclamando desde hace tiempo que deberían llevarse a cabo, en la fase de recepción de la obra -tanto nueva como de rehabilitación- pruebas de que el sistema general de desagüe funciona correctamente, porque estas comprobaciones son a la durabilidad y funcionalidad de la obra lo que las prescriptivas pruebas de carga son a la capacidad resistente, al menos protocolariamente.

Las actuaciones de conservación son cruciales para asegurar la funcionalidad de los puentes por razones fácilmente comprensibles. Pero queremos dar un paso más, en la línea de que, con criterios y recursos, las actividades relacionadas con la ingeniería de mantenimiento deben asegurar que se satisfacen, a lo largo de la vida de servicio del puente, las tres premisas que sentara Vitruvio: la *Firmitas* (seguridad suficiente a lo largo del tiempo, esto es, durabilidad), *Utilitas* (funcionalidad, cualidad más obvia y primariamente reclamada por el usuario) y *Venustas* (belleza, estética, sentida tanto más por las sociedades cuanto más cultas son).



**Figura 9.** Intervención en el puente de Deba en la fase de emergencia, de consolidación de la ruina, previa a la restauración.

Un aspecto controvertido y aún abierto es, como también sucede en el ámbito de las actuaciones en el patrimonio arquitectónico construido, el del difícil equilibrio entre el respeto a los elementos primigenios de la obra y el máximo aseguramiento de la seguridad de los usuarios, o la máxima accesibilidad. Un movimiento pendular típico es el que se ha producido en lo relativo a los sistemas de contención. De ser elementos aparentemente secundarios<sup>3</sup> que no condicionaron la estética de los puentes del pasado, en las circunstancias de entonces ciertamente, se ha pasado a exigir, para todo tipo de puentes, nuevos y existentes, de poco o de mucho valor patrimonial, la disposición de elementos -dimensionados con criterios empíricos discutibles- de estética más que dudosa. Se trata de un interesante debate que aún está pendiente de ser cerrado y en el que, ciertamente, están en juego las responsabilidades de los agentes intervinientes (la administración, el proyectista, el constructor). Pero cabe apelar asimismo a soluciones imaginativas que, en muchas ocasiones, tienen más que ver con medios eficaces de controlar la velocidad de los vehículos. La sociedad reclama seguridad, ciertamente, pero una sociedad avanzada reclama también calidad y estética, respeto por lo existente, ingenio para conciliar los crecientes requisitos, frecuentemente contradictorios, que plantea el progreso bien entendido.



**Figura 10.** Izquierda, accidente (sin víctimas mortales aunque las consecuencias podrían haber sido dramáticas al poner en riesgo la seguridad de los usuarios del ferrocarril) con fallo del sistema de contención de vehículos en el tablero del paso superior. Derecha, actuación en el viaducto de Asti (Zarauz, Guipúzcoa) para anclar reglamentariamente el sistema de contención de vehículos.

3 En [13:370], comentario (IV.64), hacemos unas consideraciones acerca de la importancia que tuvieron los pretilos de los puentes en la seguridad del propio puente (los pretilos en estos puentes tienen función estructural como elementos estabilizadores) y en la de los usuarios.

## Rehabilitación e identificación de los valores del puente

En sintonía con lo que acabamos de señalar, al responsable de la conservación, especialmente cuando se ha de acometer la tarea de rehabilitar, se le debería pedir que identifique, si no lo están aún, los valores conferidos por el proyectista y constructor primigenios -o los aportados por los autores de intervenciones posteriores-, los adapte armoniosamente al momento presente, en circunstancias seguramente muy distintas a las de la obra original, y les dé proyección futura. Eso pasa por las muchas veces intangible y poco apreciada tarea de estudiar la obra hecha y reconocer sus valores: los que tuvo, los que ganó o perdió a lo largo del tiempo y los que se imaginan con perspectiva de futuro, siempre sobre la premisa de satisfacer el equilibrio entre los conceptos de la terna vitruviana.

Naturalmente, esa manera de proceder tan aparentemente exquisita no es imprescindible en todos los casos, porque, como sucede con los edificios, hay también puentes que no tienen valores apreciables. Pero ¿en qué consisten esos valores apreciables? ¿Quién está capacitado para emitir pronunciamiento al respecto? Se situará en mejores condiciones de responder a la segunda pregunta quien lea el documento *Recomendaciones para caracterizar el valor patrimonial de los puentes* [2], que redactó un grupo de trabajo -quien esto escribe tuvo el honor de coordinarlo- en el seno del Comité de Puentes de la prestigiosa Asociación Técnica de Carreteras (ATC-AIPCR). A la primera pregunta, el lector encontrará cumplida respuesta en el citado texto, en el que se enumeran siete valores, a los que se añaden otros valores parciales adicionales que configuran, al final, una lista jerarquizada y lo más objetiva que se pudo preparar. Tales valores son: el emotivo y social; el estético, paisajístico y medioambiental; el valor de uso; el técnico y estructural; el valor histórico; el valor ya reconocido (Bien de interés cultural, p. ej.) y, por último, el valor de conservación.

Como afirma Juan Carlos Prieto [14], experto en la gestión del patrimonio, se alcanza la vinculación óptima entre lo construido y la sociedad a la que sirve cuando tal vínculo descansa sobre tres pilares: el conocimiento, la difusión y la explotación. El primero, el del conocimiento, no es tan obvio y a los ingenieros nos queda mucho por hacer porque es necesario profundizar en la historia -en general y en la técnica en particular- con actitud mucho más abierta, liberada de estereotipos y más transversal. El segundo pilar, el de la difusión, es el más divertido y visible, pero se ha de nutrir del conocimiento previo. El último soporte, el de la explotación, es claro en la gestión del patrimonio arquitectónico, pero es más complejo en el ámbito de los puentes, siendo su propia funcionalidad (dar paso, comunicar) el primer y más tangible retorno.

Ejemplo de difusión del valor del puente es el que, con gran sentido de la oportunidad, tienen otras sociedades como la inglesa, al menos en ciertos casos. Baste como ejemplo el de la actuación, diríase que ‘de oficio’, en el londinense puente de Wandsworth: la programada e inevitable actuación se inició informando al vecindario de que un puente hermoso y útil sobre el Támesis, de uso cotidiano, con valores técnicos e históricos (1939) estaba necesitado de cura. Se dio noticia pública de lo que se iba a hacer comunicándolo con naturalidad.

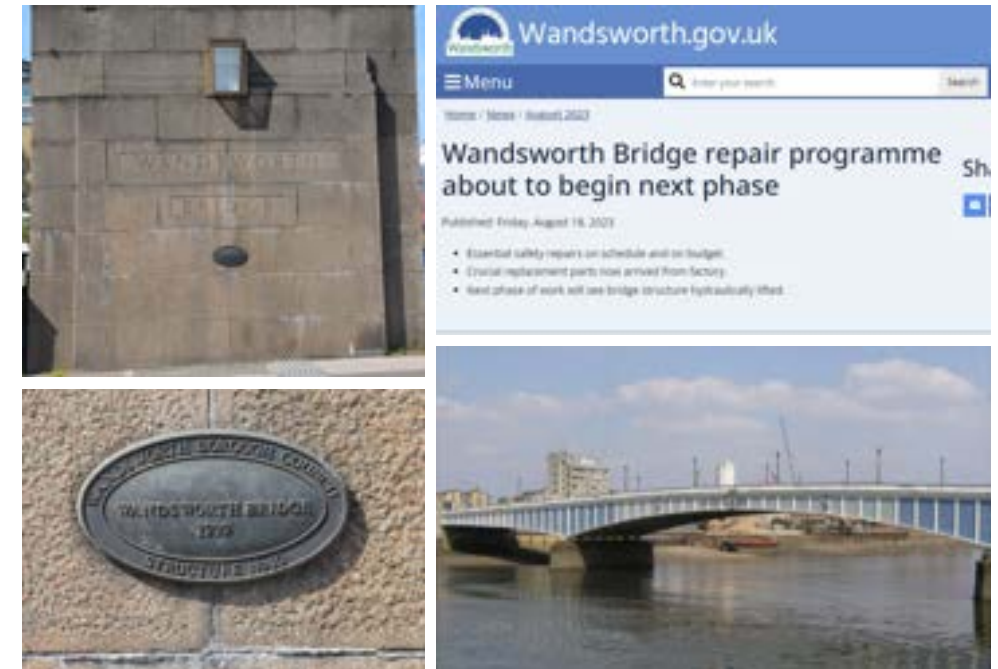


Figura 11. Puente de Wandsworth, Londres. Información pública previa al cierre para la rehabilitación.

Se trata de un espléndido puente metálico que requería de la reparación de los aparatos de apoyo y de unas juntas a media madera. Es de esos puentes en los que se forzaba el carácter isostático para que el cálculo de las tensiones no ofreciera incertidumbres. En aquel tiempo, y hasta la década de 1970, tener controladas las tensiones era tener controlada la seguridad. No se tenía en cuenta entonces, como sí ahora, la afección que supone a la durabilidad la existencia de más juntas. No hay duda de que explicar bien, de manera asequible, lo que le sucede al puente, cuyos valores se presentan también de manera cercana, es una buena idea. En España eso resulta más bien excepcional porque interrumpir el tráfico genera unas molestias que, se teme, repercuten en la reacción de una sociedad a la que se considera erróneamente inmadura porque no sabe aceptar que los puentes, como todo, requieren cuidados periódicos. Parece que hay que hacer, también en esto, un ejercicio de pedagogía entre los políticos responsables.

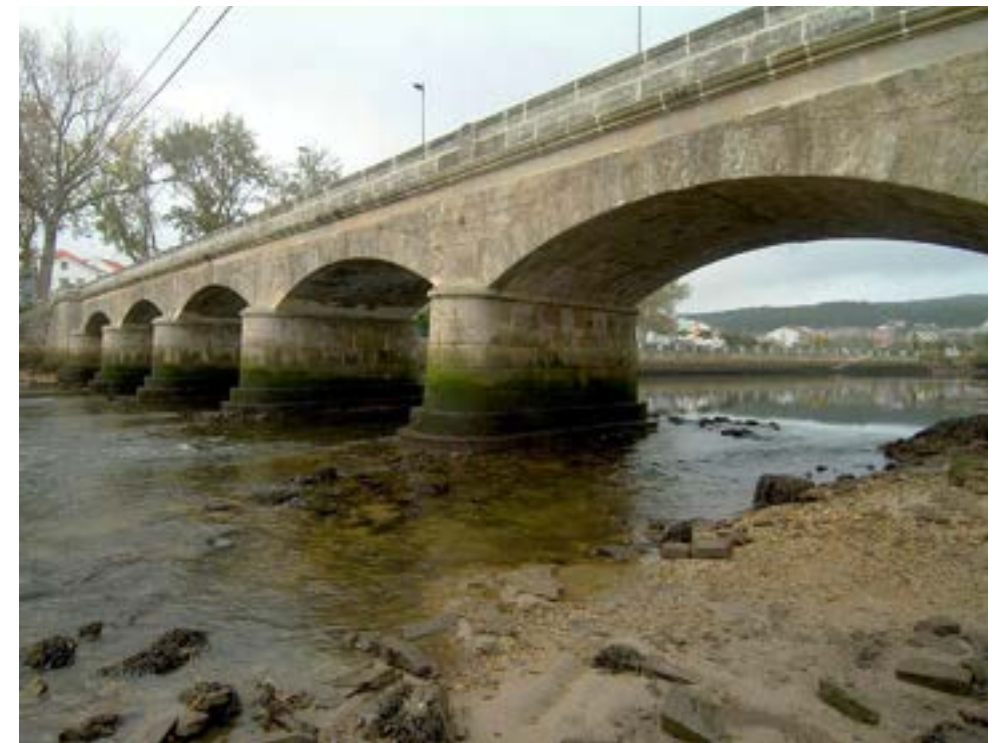
### Ejemplos de intervención

Los ensanches son actuaciones muy frecuentes, con antecedentes incluso en centurias pasadas. Un ejemplo, no especialmente afortunado en mi opinión, aunque es de justicia reconocer su enorme mérito técnico, es el ensanche del puente atirantado de Rande, cuya estética primigenia se ha visto notoriamente empeorada.



**Figura 12.** Puente de Rande antes y después del ensanche del tablero y nueva instalación de familias de tirantes.

También los puentes de piedra han sido objeto de frecuentes ensanches, acometidos con mejor o peor criterio. Un ejemplo vivido en carne propia fue el de Ponteceso (2004), sobre el río Anllóns en su desembocadura en el Atlántico. El principio rector seguido en la actuación consistió, una vez mejorada la capacidad resistente (muy comprometida por deterioros en la cimentación que se manifestaban en movimientos en la estructura), en asegurar la reversibilidad de la intervención, para que, en un momento futuro, se pudiera devolver fácilmente al puente la configuración que tuvo. Para preservar un alzado con su configuración original, se dispuso la nueva plataforma de manera excéntrica, manteniéndose el alzado de aguas abajo, más visible, con un ensanche lo más ligero posible en el lado de aguas arriba. No pudieron entonces eliminarse o reubicarse las horrendas conducciones adosadas, verdaderos parásitos que alteran la visión del puente. Esa deplorable actitud es muestra también de la necesidad de sensibilizar a empresas y administraciones. Aún no hemos perdido la confianza en el género humano porque, a fuer de ser sincero, en las últimas intervenciones sí hemos logrado, no sin esfuerzo, que empresas de suministros (telefonía, agua, gas, etc.) y administraciones lleguen a un acuerdo razonable que concilie la funcionalidad y la estética.



**Figura 13.** Escorzo del alzado de aguas abajo del puente de Ponteceso tras la restauración de la estructura.



**Figura 14.** Alzado parcial de aguas arriba del puente de Ponteceso tras la restauración de la estructura.



**Figura 15.** Vista inferior del puente de Ponteceso, en el que se aprecia el ensanche parcialmente aligerado de la plataforma.

En algunas situaciones, alcanzado inexorablemente el final de la vida útil, no queda más remedio que aceptar que la obra debe ser sustituida. Fue el caso (2000) del puente de la isla de La Toja (1915), cuando se comprobó que los materiales habían dado de sí todo lo que podían, que tenían defectos congénitos y que el puente había sido objeto de intervenciones no muy afortunadas, dicho sea con todo respeto a los autores del diagnóstico y de la terapia, puesto que, en la década de 1980 no se sabía aún lo que formaría parte del acervo de conocimientos de algunos especialistas en torno al cambio de siglo. La intervención, tras un estudio completo de la historia del puente, permitió dotar de más anchura al tablero sin cambiar apenas la percepción que tiene el ciudadano del puente ya que, en puentes largos, un aumento moderado de la anchura apenas afecta a la fisonomía general de la obra. En el proyecto y la ejecución se puso un cuidado exquisito para que materiales y procesos constructivos aseguraran al máximo posible la durabilidad futura de la obra.



**Figura 16.** Puente de la Toja (1999) antes de la intervención.



**Figura 17.** Puente de la Toja tras la intervención de 2002-2003.

Otro caso de final inexorable, con diagnóstico especialmente difícil para nuestro equipo, fue el del paso superior de Joaquín Costa – Francisco Silvela, en Madrid, obra (1969) del gran ingeniero José Antonio López Jamar. El dictamen final fue concluyente: la estructura se encontraba en un estado muy precario -aunque no lo parecía- y era, en la práctica, de imposible recuperación [16].

No se optó por la reconstrucción porque los planteamientos del siglo XXI con relación a los viaductos urbanos ya no eran (2020) los de la época del desarrollismo, cuando lo imperante era favorecer el tránsito de vehículos. El resultado, tras una impecable y rápida demolición, es un espacio urbano recuperado que ha ganado valor global, aunque se haya perdido una estructura de gran valor técnico, de la que ahora queda la aludida memoria que, antes de la intervención, ni siquiera tenía.



**Figura 18.** Desmontaje del paso superior Joaquín Costa - Francisco Silvela (Madrid, 2020). Foto cortesía de DRAGADOS.

## Consideraciones finales

No siempre se pueden anticipar las incidencias. Gregorio Luri recordaba<sup>4</sup>, en este sentido, una frase de Freud alusiva a tres imposibles: gobernar, educar y curar. No siempre es posible contar con gobiernos serios; no podemos garantizar una escuela de éxito al cien por cien con todos; ni podemos tener hospitales que nos ahorren la muerte. En definitiva, hemos de convivir con la fragilidad humana y la de sus creaciones. No es difícil, pues, entender que es igualmente imposible a los ingenieros de conservación detectar vicios ocultos en los puentes construidos -también en los reparados- o atinar siempre certeramente en sus diagnósticos. El objetivo es reducir al mínimo esas inevitables situaciones [7].

Los puentes no son, desde luego, objetos sagrados sobre los que no pueda hacerse intervención alguna. El tiempo, las cambiantes necesidades y el deseable mayor aprecio por los puentes ha obligado a actuar y lo hará en el futuro de manera cotidiana porque el patrimonio de puentes con que cuentan las sociedades avanzadas no ha hecho sino crecer en las últimas décadas. Atinar con la solución perfecta en una intervención es también una de esas tareas imposibles a las que aludía Freud, pero eso no puede ser pretexto para renunciar, sino más bien lo contrario: un fascinante reto que, por lo expuesto, merece de consideraciones que trascienden la limitación de espacio de este texto.

En [16] (ver también [17]) desgranábamos algunas consideraciones acerca de las virtudes que tienen las autopsias como inmejorable fuente de aprendizaje, no siempre gozoso pero siempre útil. Explicamos allí que el significado de “autopsia” no se ciñe al del examen de un cadáver, sino que incluye la observación con los propios ojos de cualquier otro objeto y, por tanto, debe desprenderse del carácter fatal, luctuoso, al que se asocia la “autopsia”. Defendemos la idea de que también las inspecciones principales y especiales, así como el estudio de los valores patrimoniales deben formar parte de lo habitual en las inspecciones de puentes. Y aún más, sostenemos la idea de que, con carácter previo a cualquier intervención en los puentes, ésta vaya precedida, en la medida de lo posible, de una caracterización de los valores enunciados más arriba, de forma que la actuación prevista incluya un análisis de la potencial afección a tales valores. Ese análisis debería ser un anejo más de los proyectos, como pueda serlo el del impacto ambiental. Un informe de ese tipo es trámite previo imprescindible en obras del patrimonio arquitectónico y no hay razón para que no lo sea en el patrimonio de los puentes.

4 Entrevista concedida por este pedagogo y filósofo navarro a ABC y publicada el 3 de septiembre de 2023.

Las experiencias vividas enseñan que el pesar por la pérdida de un puente de valor patrimonial ignorado por propios y extraños ha de contraponerse con el de las enseñanzas que depara la autopsia. Las autopsias han de acometerse con carácter mucho más general, no sólo tras un accidente para identificar responsabilidades y responsables. Lo que proponemos es formular las pautas para abordar este tipo de trabajos. Para ello ha de partirse, en el ámbito de los puentes, como primer paso, de un inventario que tenga identificado el valor patrimonial con arreglo a las indicaciones de [2]. La ignorancia y la insensibilidad son lacras que se alimentan mutuamente. Sus antídotos, conocidos pero poco aplicados, son la educación y el amor al arte [6].

El paso siguiente consiste en confirmar que se ha alcanzado el final de la vida útil. Eso sucede cuando las prestaciones han decaído hasta situarse por debajo del umbral de aceptación, entendiendo por ‘prestaciones’ no sólo las funcionales (*Utilitas*), sino los demás valores vitruvianos de *Firmitas* y *Venustas*.

Reconocido el final de la vida útil, el debate siguiente es qué hacer con la construcción. En muchos casos merece la pena conservar, quizás con otra función y en otro contexto.

Luego han de definirse pautas para acometer la autopsia, que no pueden ser rígidas porque cada puente es un prototipo, pero sí suficientemente generales. Lo primero es contar con el visto bueno de una cierta instancia, quizás no del todo vinculante. Para eso están las Comisiones de Patrimonio, con personal tan experto en los puentes como el existente en el ámbito del patrimonio de edificios. El estudio debe incluir el análisis de alternativas a la demolición, que no tiene por qué ser la razón de ser de la autopsia: la autopsia, o inspección especial, puede ser una parte sustancial de la restauración. Para acabar, cuando la demolición sea inevitable, definir la campaña de ensayos y la recuperación de piezas que merezcan un destino orientado a la educación y al fomento de la cultura de la ingeniería en el resto de la sociedad. En algunos casos [3] cabe plantear una prueba de carga hasta rotura. En todos los casos, documentar y difundir, implicando a la sociedad en un diálogo más abierto con ella.

## Referencias

- [1] ATEP; 1970. Puente sobre el río Guadarrama, Madrid. Realizaciones españolas en hormigón pretensado. Asociación Técnica Española del Pretensado (hoy ACHE), 1970, pp. 15-16.
- [2] Comité de Puentes de ATC-AIPCR; 2021. Recomendaciones para caracterizar el valor patrimonial de los puentes”. Comité de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC-AIPCR).
- [3] León, Javier; Espejo, Sergio; Corres, Hugo; 2007. Estudio teórico y experimental del comportamiento hasta rotura del puente de fábrica del antiguo ferrocarril del Plazaola en Urnieta. Informe de autopsia realizado por FHECOR para la Diputación Foral de Guipúzcoa.
- [4] León, Javier; Corres, Hugo; Prieto, Francisco; 2008. Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes. Revista de Obras Públicas, nº 3.492.
- [5] León, Fco. Javier; 2021. Notas para una historia del hormigón estructural. FHECOR.
- [6] León, Fco. Javier; Orfeo, Benedetta; Todisco, Leonardo; 2021. Elogio de los puentes de piedra. Apelación a que los ingenieros los estudien. RUTAS. Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, 186, 26-38 (parte I) y 187, 20-32 (parte II).
- [7] León, Fco. Javier; Corres, Hugo; 2021. Experiencias relacionadas con riesgos no evidentes en puentes existentes. Hormigón y Acero, 72(294-295), 233-248.
- [8] León, Fco. Javier; 2024. Libros traducidos para los estudios de la Inspección General de Caminos: Monge, Francoeur, Prony y Bossut. Capítulo del catálogo de la exposición en la Biblioteca Nacional de España, marzo-junio de 2024, “Agustín de Betancourt 1758-1824: fundador de la Escuela de Caminos y Canales, ingeniero cosmopolita”. Comisario: Daniel Crespo. Ed. Fundación Juanelo Turriano.
- [9] Ortega y Gasset, José; 1939. Ensimismamiento y alteración. Meditación de la técnica y otros ensayos. Reedición de Alianza Editorial de 2014.
- [10] Palacios, José Carlos; 2013. Segovia, su catedral y su arquitectura. Ensayos en homenaje a José Antonio Ruiz Hernando. Instituto Juan de Herrera.

- [11] Peña, Belén; Berrueto, Pedro; León, Javier; 2017. Colapso del puente del Guadarrama en la M-527. Autopsia y enseñanzas. RUTAS. Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, 170.
- [12] Pieper, Klaus; 1983. Sicherung historischer Bauten. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin-München.
- [13] Pontones, fray Antonio de San José; 1768 (2025). Arquitectura hidráulica en las fábricas de puentes. Método de proyectarlos y repararlos. Edición comentada por Crespo Delgado, Daniel; León González, Fco. Javier; Orfeo, Benedetta. Fundación Juanelo Turriano – Fundación Fhecor, 2025.
- [14] Prieto, Juan Carlos. La Fundación Santa María la Real. Apartado 7 en “Los puentes de piedra (o ladrillo) antaño y hogaño”. Colección “Lecciones Juanelo Turriano de historia de la ingeniería”. Fundación Juanelo Turriano. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPM. 2917. Javier León y José M<sup>a</sup> Goicolea, coordinadores.
- [15] Recupero, Antonino; 2024. Riccardo Morandi, a futurist and visionary Italian engineer. Keynote Lecture. Congress Rehabend 2024 on Construction pathology, rehabilitation technology and heritage management. Gijón, mayo de 2024.
- [16] Sánchez Delgado, Julio; León González, Fco. Javier; 2023. Las autopsias como fuente de aprendizaje y valoración del patrimonio. I Congreso Internacional de Patrimonio de la Obra Pública y de la Ingeniería Civil. Cuenca, Toledo y Madrid, septiembre de 2023.
- [17] Simonnet, Cyrille; 2019. Morandi à gènes. Autopsie d’un pont. Ed. Parenthèses. Marseille.

## El puente y la experiencia de usuario

Ana Irene Lorea Arnal

### Reflexión inicial. Acercamiento. Diferentes usuarios.

Al acercarnos al pensamiento de los puentes desde *la experiencia de usuario*, tenemos que analizar primero de una forma más cercana a los diferentes usuarios y su posible experiencia previa con los puentes. En nuestro proceso de diseño y concepción de puentes categorizamos a éstos por el uso específico que van a hacer de éste: viario, peatonal, modo espectador...pero a la hora de valorar la experiencia hay toda una serie de factores, vivencias previas, personales y a nivel global como integrantes de un ente colectivo que van a condicionarla.

Como CIUDADANOS, el acercamiento inicial al puente depende en gran medida de si mi ciudad tiene río o marisma. Múltiples cuestiones se han formulado en el entorno de este usuario (historia, literatura, familia, amigos, medios de comunicación...): ¿qué había al otro lado? ¿cómo se ha eliminado esa barrera? ¿qué hay hoy?... Antiguamente la ciudad vivía de espaldas al río. Gracias al planeamiento urbanístico hoy no se concibe desarrollo urbano con una ciudad sin conexión de orillas, hoy en día las ciudades abrazan al río. Ésta experiencia de ciudad y puente cambiará con la edad del usuario.

Como CIUDAD, la planificación y celebración de grandes eventos asociados a la construcción de nuevos puentes permiten la recuperación e integración de espacios. En Sevilla, la Exposición Universal de Sevilla EXPO'92 permitió la recuperación de la Isla de La Cartuja con la construcción de múltiples puentes: El Alamillo, La Barqueta, Cachorro, pasarela La Cartuja... En Zaragoza: La Exposición Internacional de Zaragoza "Agua y desarrollo sostenible" EXPO 2008, logró la integración del meandro de Ranillas y el Arrabal con la construcción de dieciocho nuevos puentes y pasarelas sobre el río Ebro, entre ellos: Pabellón puente de Zaha Hadid, Puente del Tercer Milenio, Pasarela del Voluntariado...

Como GOBERNANZA, existe una gran importancia geopolítica en los puentes. Su construcción o destrucción siempre han sido nexos de unión o de separación. Ejemplos como el Puente de Mostar, el Puente de Crimea...

Como TODO y la gestión del tiempo, a lo largo de la historia los puentes han permitido el ahorro de minutos, horas que, multiplicados por días, por años y por personas, arrojan una gran cantidad de tiempo disponible para la realización de diversas actividades... siendo que el tiempo pasa inexorablemente y no se puede recuperar.

### Proceso de diseño de puentes urbanos: "People centered"

El proceso de diseño de puentes urbanos tiene que pivotar en torno al usuario, a la gente. Las nuevas actuaciones, y las rehabilitaciones, tienen que satisfacer necesidades funcionales, estratégicas y estéticas del usuario, en el concepto amplio de usuario. Hay que analizar qué emociones generamos en él, qué le aportamos (input).

¿Qué factores principales influyen en el proceso de diseño?

La complejidad de escalas, combinamos la escala humana que es una escala de detalle con la escala estructural, lejana, lo que nos exige una plena integración formal de las soluciones.

Esta integración en el entorno determina el diseño de la solución, de modo que se ha de proyectar la estructura adecuada para ese entorno y no la que uno quisiera proyectar. Como proyectistas de puentes, se tiene predilección por una tipología determinada, que en un primer ejercicio de diseño se intenta encajar (aunque sea mentalmente), tenemos que rehuir de esta reacción instintiva y dejarnos estimular por los condicionantes del entorno: los paseos existentes, los edificios circundantes, el flujo de los peatones, de los vehículos... porque nuestro puente se convertirá en un elemento del paisaje, una parte del mobiliario urbano.

Es muy importante la calidad del diseño. Calidad entendida como un refinamiento adaptativo de la solución inicial en la que nuestra estructura va adquiriendo la esencia del lugar y la va incorporando a su desarrollo formal (colores, texturas, flujos, espacios...) y del mismo modo va desprendiéndose de elementos superfluos, transformándose la estructura en expresión formal.

No se puede obviar en este proceso los medios, la tecnología y técnica disponible. En el diseño utilizamos a nivel de herramientas de software "casi" todas las disponibles. La modelización tridimensional de la estructura es básica y es nuestra herramienta de trabajo utilizada ya desde las primeras etapas de nuestros diseños. La sección transversal de los puentes, que los ingenieros entendemos como una de las bases de nuestros diseños, es un lenguaje no entendido por el resto de los equipos multidisciplinares en los que trabajamos hoy en día. El modelo 3D, el "gemelo digital" es un lenguaje de comunicación entre diseñadores y usuarios que todos entendemos.

Las estructuras sobre las que se muestra cómo la experiencia de usuario condiciona el diseño son puentes urbanos, dado que éstos tienen mayores exigencias estéticas y de diseño. Formalmente y relativo al proceso de diseño y experiencia de usuario existe una gran diferencia entre los puentes rectos y curvos. Los puentes rectos son lineales, estáticos, cuando ésta línea se formaliza y toma espesor siempre lo hace de modo que "pesa", porque la representación mental lineal es un trazo fino, en éstos el ejercicio de diseño es más laborioso. Por el contrario, en los puentes curvos el diseño se expresa en la misma forma, y ésta les dota de espacialidad y dinamismo, que el usuario entiende inmediatamente.

### Puente de San Ignacio, Zorrotzaurre, Bilbao



Figura 19. Vista de pájaro. Puente San Ignacio, Zorrotzaurre Bilbao.

El Puente de San Ignacio se concibe como la arteria principal que organiza el tráfico, los peatones y las redes de servicios sobre el río Nervión. Las comunicaciones por carretera al norte de la futura isla de Zorrotzaurre son cruciales ya que conectan la isla con la ciudad de Bilbao. Los condicionantes de diseño del puente son muy rígidos: se han de cruzar los 75m de anchura del canal sin apoyo intermedio, respetar el régimen de avenidas del río Nervión, la cimentación ha de ser profunda debido a la profundidad a la que aparece la roca, el material ha de ser acero siguiendo la tradición industrial de Bilbao y la alta exigencia estética derivada de la realización por Zaha Hadid del Master Plan de Zorrotzaurre.

Estos condicionantes definen el esquema conceptual del puente, un doble arco simétrico mixto, esbelto y tecnológico. Una estructura de 75m en el que los arcos arrancan del cauce y se elevan en el tablero en sus 51m centrales. Es un bowstring atirantado por el tablero. La plataforma es de 28 metros de ancho, los arcos segregan la carretera de las aceras. Transversalmente una segunda familia estructural cuelga la cubierta de los arcos, son vigas mixtas en la zona interior y voladizos en los exteriores. Las péndolas son de acero inoxidable que minimiza su diámetro y las hace menos perceptibles. El puente está fijo en los estribos, por ello los efectos reológicos y térmicos han sido cuidadosamente estudiados. La barandilla de cristal proporciona al puente máxima permeabilidad visual e integración formal en el entorno urbano.



Figura 20. Vista desde el cauce Puente San Ignacio.

### Puente Lehendakari Aguirre sobre el Urumea. San Sebastián.



Figura 21. Puente Lehendakari Aguirre, vistas aguas abajo. San Sebastián



Figura 22. Puente Lehendakari Aguirre, vistas aguas arriba. San Sebastián.

El proceso de diseño del Quinto Puente sobre el Urumea se fundamenta en la búsqueda de la solución formal sin pilas, idónea para la conformación de un entorno urbano integrado en el nuevo diseño del tráfico viario y estructuración de la ciudad, así como la reserva de un lugar en el viario para los peatones.

La longitud del puente, impuesto por el Urumea (vano de 80 metros) y las limitaciones de canto impuestas por la cota de avenida del Urumea imponen la necesidad estructural de elementos resistentes superiores, que definen la línea de diseño del puente, haciendo de su concepción un proceso de minimización de la estructura superior en aras de lograr la menor incidencia visual para el observador y permitir desde él una vista plana de la desembocadura del Urumea. De esta búsqueda surge un puente arco de planta y alzado asimétricos.

Dos arcos gemelos emergen desde la ribera derecha, se elevan sobre la rasante y apoyan en el paseo de la margen opuesta, conceptualizando un alzado sólo surcado por la horizontal de la plataforma. En planta, los dos arcos paralelos, delimitan una zona interior formada por la acera de aguas arriba y la calzada, y permiten, de forma no simétrica, volar un balcón aguas abajo entre ambas riberas.

Los arcos, morfológicamente cambiantes, evolucionan desde las zonas inundables de arranque, a un esbelto tramo curvo metálico de sección en “V” muy tendida y de espesor e inclinación variables a lo largo del desarrollo del mismo.

La relación entre los arcos y el tablero no está exenta de formas. Aguas arriba, el tablero se macla a su cruce con el arco, que en su ascenso y ocaso desperdiga péndolas verticales para finalizar uniéndose de nuevo al tablero en el apoyo de la ribera opuesta. Aguas abajo, la unión arco-tablero cede protagonismo a la acera, que vuela aquí por delante de ambos elementos. Desde la margen izquierda el usuario percibe los arcos como dos elementos manguantes que son recogidos por el terreno.

Sobre la calzada la segregación parcial entre los flujos de peatones y vehículos que permite el arco aguas abajo, favorece la utilización de las aceras como espacio urbano para el peatón, mientras que la inclusión entre los arcos de la acera de aguas arriba permite humanizar la zona interior destinada a los vehículos. Aguas abajo la zona volada finaliza en un pronunciado saliente o “nariz”. Aguas arriba son los propios elementos estructurales, sin elemento ornamental alguno los que componen la forma.

Dentro de las posibilidades estéticas que nos posibilitan los materiales utilizados y la cromática se propone la estructura íntegramente en blanco (Ral 9003), los pavimentos en colores fríos y madera sintética, dejando el protagonismo al juego formal entre las diferentes partes y a la sutil variación de sombras y texturas.

Con la intención de dotar a la estructura de valores ocultos, se diseñó la pauta de los cristales del arco de aguas arriba con un mensaje oculto en morse para celebrar: San Sebastián 2016 Capital Europea de la Cultura. Así mismo, se proyectó en las aceras de aguas arriba una foto de la desembocadura del río relacionando cauce con estructura y ciudad.

### Puente Lehendakari Aguirre v.s. Zorrotzaurre. Simetría o Asimetría.

¿Por qué dos puentes tan diferentes se reconocen como de una misma serie? Por la experiencia de usuario, ese conjunto de factores y elementos relativos a la interacción del ciudadano con los puentes que da como resultado una percepción que no depende sólo del diseño sino de las emociones. En estos puentes uno reconoce el aspecto formal de los arcos, las aristas afiladas, el tacto frío del acero, el colgar de las péndolas, el tecleo del costillar, las aceras anchas, el cristal de las barandillas...es el vínculo entre el sistema persona-estructura que los hace similares.



Figura 23. Mensaje oculto en las barandillas 2016 Capital Europea de la Cultura.



Figura 24. Vista superior en la que se puede ver la acera de aguas arriba.

### Puente de Astiñene. San Sebastián.

La génesis del diseño del nuevo Puente de Astiñene parte de la consecución de una solución económicamente contenida, técnicamente factible y con sencillez de ejecución, integrada en el entorno urbano.

La forma sinuosa en planta permite dotar de espacialidad y expresividad formal a la estructura. La avenida de 500 años limita el canto bajo tablero a 1 metro. El trazado del vial y el estudio ocupacional del puente para redistribuir espacios entre peatones, ciclistas, viales es vital. Se diseña una estructura porticada, de longitud total 83 metros y tres vanos de luces de 25+42+16 metros. El tablero está formado por un núcleo central en el que se sitúan los dos carriles para tráfico viario y dos plataformas laterales segregadas para aceras y carril bici, con una anchura total de 17 metros, abocinada en la margen de Loyola.



Figura 25. Alzado del Puente de Astiñene.

La tipología de tablero adoptada es una solución en tablero mixto. Un cajón metálico central con las almas sobre plataforma que permite mayor canto resistente y separar los flujos de tráfico, y unas costillas laterales para estas plataformas. El encuentro del tablero con las márgenes se realiza de forma integral. En ambas márgenes la cimentación es del tipo profunda mediante micropilotes y en el cauce el tablero se apoya en dos pilas-pilote.

Todo el conjunto pilotes-pilas-tablero se concibe como una estructura monolítica, solución posibilitada por la curvatura en planta que permite absorber los movimientos por cambios térmicos y procesos reológicos impuestos mediante cambios de la curvatura mientras los extremos se mantienen prácticamente fijos.

El nuevo puente sustituye al antiguo, permitiendo la reordenación y adecuación viaria en la margen de Loyola y en Eguía, y se enmarca en las actuaciones de la Agencia Vasca del Agua (URA) para la prevención contra inundaciones. La gran plataforma de aceras aguas abajo crea un espacio urbano sobre el cauce del Urumea.



Figura 26. Vista desde el paseo del Puente de Astiñene.

### La Pasarela de Miramón, un camino entre los árboles. San Sebastián.



Figura 27. Interior de la Pasarela Miramón.

La pasarela de Miramón se concibe como un paseo entre los árboles, como una continuación del sendero que atraviesa el parque del que toma su nombre. Del mismo modo que los senderos naturales no son rectos, su trazado se define sinuoso para invitar al usuario a disfrutarlo y evitar la sensación de distancia.

Una vez fijada la cota de arranque y desembarco de la pasarela que tiene que conectar dos calles existentes en los límites del parque, el ejercicio de diseño radica en adecuar formalmente la estructura de las pilas entre los troncos y el propio tablero de la pasarela entre las copas de los árboles. Los condicionantes de diseño son estéticos.

El empleo de una solución resistente eficaz, sin elementos fuera de escala, permite presentar una solución ligera, proporcionada con el entorno y de sencilla ejecución lo que redundará en la contención del gasto y el impacto en el entorno durante la obra.

Para alcanzar este objetivo se recurre a una sección de tablero en “U”, en el que barandilla y pasamanos se emplean como elementos portantes principales, aunando la función resistente y la de contención, eliminando la necesidad de barandillas. Las pilas, configuradas en parejas de tubos ordenados en forma arborecente, evidencian el flujo directo de fuerzas hasta el terreno, en sintonía con las formas naturales del entorno.

El trazado en planta es fruto de la búsqueda de una solución integradora con la orografía natural mientras se potencia el rendimiento de la solución global. De esta forma la curvatura en planta posibilita la utilización de una solución integral – con mínimo mantenimiento de aparatos de apoyos y/o juntas - donde la eliminación de la mayor parte de estos dispositivos resulta posible gracias a la transformación de las dilataciones del tablero en movimientos radiales.

Pensada para ser usada, la elección de la sección y de la planta no obedece exclusivamente a principios estructurales, sino que alberga una vocación de protección al usuario. Así, los laterales opacos confieren seguridad frente a la altura y proporcionan abrigo del viento. Conjuntamente, la planta sinuosa reduce la percepción de la longitud de la totalidad de la travesía, reduciendo la monotonía frente al caso de trayecto recto.



Figura 28. Fotografía inferior desde el parque de la Pasarela Miramón.

### La Pasarela Onda Atlántica. Las Palmas de Gran Canaria.



**Figura 29.** Fotografía aérea de la Pasarela Onda Atlántica, Las Palmas de Gran Canaria. Ingeniería Zero y Arquitectos Javier Haddad y Ramon Checa.

Con una longitud total de 283 metros, la pasarela de Onda Atlántica vuela los espacios públicos con sus tres vanos de 63 metros. Su forma ondulada, sinuosa, resultante de los condicionantes de diseño le confiere un gran dinamismo a la propia estructura.

El perfil en forma de V es el resultado de la necesidad de mitigar el impacto acústico de la vía rodada inferior, permitiendo vistas a la ciudad y proporcionando luz natural en todo el camino. La forma se percibe bidimensionalmente en ciertos ángulos, creando la ilusión de una hoja de papel curva.

El resultado es un sistema estructural con forma de perfil triangular capaz de salvar las distancias curvas requeridas con un gran desarrollo y una estética minimalista.

Sobre la plataforma peatones, mascotas y ciclistas comparten el mismo espacio, por la noche la luz rasante en los bordes de la misma dibuja el recorrido. Bajo la plataforma, la pasarela sobrevuela las vías de comunicación, manteniendo un dialogo entre el usuario superior e inferior.



**Figura 30.** Camino nocturno. Vista superior de la pasarela.



**Figura 31.** Vista inferior de la pasarela.

## El puente como hecho creativo y hecho creado

José Romo Martín

### **Crear en ingeniería civil**

Es frecuente que el ciudadano de a pie considere que la ingeniería civil es una actividad regida por una estricta racionalidad, en la que todas las decisiones se basan en un aséptico juicio técnico. Esa visión es también compartida por una parte de los compañeros que consideran que para proyectar bien basta con resolver cuidadosamente los aspectos técnicos y económicos de la obra.

Como pretendo demostrar en lo que sigue de texto, esta forma de entender la ingeniería es errónea e incompleta. Los proyectistas, sin dejar nunca a un lado la razón, estamos obligados a considerar en nuestro trabajo otros factores externos que ni son medibles ni son cuantificables y que no tienen que ver directamente con lo técnico ni lo económico. Los ingenieros abordamos el diseño con un sesgo personal, consciente o inconsciente. Por ello, como en cualquier actividad creativa, y la ingeniería civil lo es, la obra resultante depende no solo de los aspectos técnico-económicos, sino también de otras circunstancias particulares y ante todo de la manera de diseñar de cada ingeniero.

Esa diversidad al proyectar se puede percibir claramente en los concursos de ideas para puentes. En estos procesos, varios proyectistas realizan un diseño para un lugar concreto del territorio para resolver una necesidad funcional específica, como puede ser el paso de una línea de ferrocarril sobre un valle, o la conexión peatonal entre las dos riberas de un río en una ciudad. En los concursos, cada proyectista interpreta los condicionantes existentes de una forma particular: unos se fijarán más en lo global, en lo paisajístico, otros en la expresión de la forma de la propia estructura o quizás en la percepción del usuario que va a cruzar el puente, etc. Esta variedad de planteamientos y el propio “estilo” de proyectar de cada uno producen siempre una rica variedad de propuestas que es lo que hace que los concursos sean realmente interesantes y estimulantes.

Un ejemplo de lo anterior es el concurso convocado en 2022 para seleccionar el diseño de un puente sobre el río Duero. La estructura formará parte de una línea de metro que conectará Oporto con Gaia cruzando el río cerca de su desembocadura. El diseño tenía que cumplir con un conjunto de condiciones muy estrictas al no poderse modificar el trazado de la vía, ni permitirse cimentaciones en el río. Además de esas condiciones geométricas, ya de por sí muy rigurosas, el contexto jugaba un papel fundamental a la hora de plantear la solución debido a la proximidad del puente de la Arrábida de Edgar Cardoso (Figura 32.).

La presencia de esa imponente obra (monumento nacional en Portugal) era fundamental y de alguna forma orientaba las soluciones hacia puentes tipo arco o pórtico<sup>1</sup>.



**Figura 32.** Puente de la Arrábida. Ingeniero Edgar Cardoso

<sup>1</sup> Esta misma afirmación indica ya un sesgo personal, ya que es probable que ninguno de esos tipos fuesen los más económicos para la luz del puente que se tenía que diseñar.

A pesar de estas circunstancias, que aparentemente reducirían la variedad de soluciones, se recibieron más de 25 propuestas, que incluían: puentes arcos, puentes pórticos, puentes atirantados e incluso alguna solución colgante (Figura 33.).



**Figura 33.** Algunas propuestas del concurso del puente del metro de Oporto sobre el río Duero

Esa diversidad se reflejó no solo en la variedad de los tipos estructurales propuestos, sino que también se mostraba al comparar soluciones con el mismo tipo estructural. En la (Figura 34.) se pueden observar, tres propuestas de puente póstico con tableros en celosías. El observador atento puede comprobar las diferencias que tienen tanto en la geometría general, como en la formalización de los componentes de los puentes o en la manera de resolver la conexión entre los tableros y sus soportes de cada solución. Las tres propuestas eran viables técnicamente, y probablemente tuviesen un coste similar, sin embargo, difieren notablemente en su expresión formal, lo que demuestra que no solo a partir de lo técnico y de lo económico se define un puente. El resultado final depende del estilo del diseñador. Como indica con certeza Miguel Aguiló: “Cualquier diseñador dispone de una serie de recursos expresivos, concentrados en una particular tectónica que permite reconocer sus obras” [1].



**Figura 34.** Tres soluciones tipo póstico con tablero en celosía para el concurso del metro de Oporto

### Aprender, observar, aplicar

Para proyectar puentes bien es indispensable el dominio de la resistencia de materiales y del análisis estructural. Es imprescindible conocer de antemano cuál va a ser la respuesta resistente del puente cuando este se construya. Además, ese saber es una herramienta básica en el acto creativo, es un instrumento que sólo tenemos los ingenieros. En palabras de Javier Manterola [2]: “el conocimiento resistente es fundamental ya que a partir de él se pueden inferir formas o sistemas estructurales innovadores”. Aprender a usar ese saber teórico en la práctica del proyecto es esencial ya que conducirá a obras de interés y además basadas en la razón y por lo tanto con un coste aceptable.

Pero además de esa preparación en lo teórico es necesario conocer, observar y entender lo ideado previamente por otros, es decir, la “praxis” de la ingeniería. Una práctica que, quizás para sorpresa del profano, ha ido muchas veces por delante de lo teórico, como demuestran los fallos o errores cometidos a lo largo de la historia de la ingeniería, causados frecuentemente por el desconocimiento de ciertos aspectos críticos. También resulta de interés el conocimiento de unas soluciones que quizás se abandonaron en su momento por un tema tecnológico y que hoy en días se podrían volver a usar gracias a las mejoras en los materiales o en los sistemas.

Pero esos conocimientos sobre lo teórico y práctico son solo suficientes en la primera etapa del proyectista. Como en cualquier disciplina creativa, en el diseño de puentes, el hacer forma parte fundamental del aprendizaje. Con el tiempo, el ingeniero va creando su propio lenguaje formal que va refinando con la práctica. Esa destreza que se va adquiriendo paulatinamente incluye no solo los puentes que ha proyectado y construido, con la riqueza que da todo el proceso, sino también el que se obtuvo al idear otras soluciones que por algún motivo no llegaron a materializarse y que podrían llegar a aplicarse en algún momento. Esos conceptos malogrados forman parte del “almacén de ideas” particular del diseñador y constituyen sin duda una herramienta adicional con la que cuenta el proyectista experimentado.

Finalmente, no puede dejar de mencionarse el influjo que pueden ejercer otras disciplinas a la hora de proyectar. Conocer y estudiar otras actividades creativas como la arquitectura, el arte, la ingeniería naval o el diseño industrial, aumentan las capacidades y las fuentes de inspiración del proyectista. Como en alguna ocasión indicó Javier Rui Wamba, el ingeniero diseña con todo lo que lleva dentro. Todos estos conocimientos y experiencias enunciados constituyen las herramientas básicas de diseño con las que contamos los proyectistas de puentes. De su uso y perfeccionamiento depende nuestra forma de proyectar, que necesariamente es particular por lo personal de esos recursos.

### Conocer, reinterpretar, transformar

En la ingeniería no tiene sentido el adanismo. Por una parte, nos apoyamos en una teoría que ha madurado en los dos últimos siglos y que, aunque evoluciona lentamente, nos sirve hoy en día para la toma de decisiones fundamentales del proyecto. Por otra, el conjunto de los tipos estructurales sigue siendo, con los matices correspondientes al lugar y a la manera en que se va a construir la obra, la paleta de soluciones con las que parte el proyectista. Es necesario conocer a fondo lo construido o ideado para seleccionar y adaptar el tipo a las circunstancias específicas del proyecto. En lo que sigue, se presentan varios ejemplos de reinterpretación y transformación de las soluciones canónicas para adaptarlas a las características específicas del caso.

Un par de ejemplos de la reinterpretación y transformación de una solución canónica a dos casos particulares son el viaducto de Riudellots de la Selva [3] y la propuesta para el cruce de la SE-40 sobre el río Guadalquivir en Sevilla [4]. En el primer caso el proceso constructivo, mediante la técnica de empuje, llevó al diseño de una celosía continua tipo Warren modificada (Figura 35.) y en el segundo caso se realizó una propuesta de celosía intermedia con un único plano resistente central para conseguir el gálibo vertical requerido con una estructura sobre el tablero lo más baja posible (Figura 36.).



Figura 35. Viaducto de Riudellots de la Selva



Figura 36. Puente sobre el Río Guadalquivir, autovía SE-40

Otra muestra de la reinterpretación de una solución previa es la propuesta para el nuevo puente de Alcántara. En 2017, se celebró un concurso que tenía como objetivo diseñar un nuevo puente paralelo al puente romano, una de las obras maestras de la ingeniería romana. En las bases del concurso se definía la posición de la nueva obra, muy próxima al puente romano (Figura 37.). Ante la imposibilidad de cambiar la posición de la nueva obra se propuso un puente colgante con un tablero muy esbelto (Figura 38.), prácticamente imperceptible a la distancia inspirado en el histórico puente de Las Cellas [5].



**Figura 37.** Posición del nuevo puente de Alcántara



**Figura 38.** Propuesta de puente colgante en Alcántara

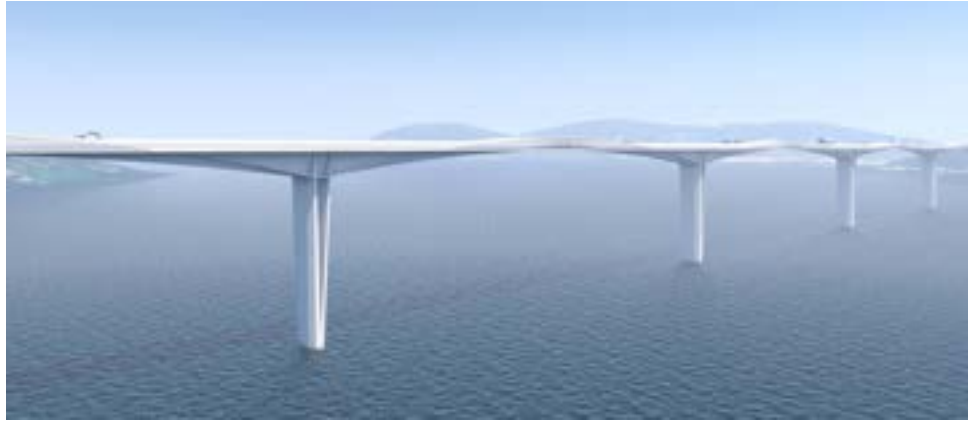
El mismo concurso fue reconvocado unos meses más tarde, dando libertad para modificar el trazado de la carretera, lo que permitió hacer una segunda propuesta mucho más próxima a la presa de Alcántara y alejada del puente romano (Figura 39.). La solución que se propuso estaba inspirada en el Palacio de la UNESCO en París, diseñado por Nervi [6]. En la cubierta de este edificio, Nervi desarrolló una estructura con pliegues de hormigón y una losa horizontal que se disponía en la parte alta o baja de la sección según la distribución de los esfuerzos. Esta idea se aplicó al diseño del puente, creando una losa de hormigón en forma de ala exterior que se sitúa en la parte de la sección en la que mejor se adapta a las fuerzas solicitantes (Figura 40.). Esa misma idea se aplicó al nuevo puente sobre la ría de Viveiro, en Lugo. La solución propuesta fue un puente de múltiples vanos con luces típicas de 200 m [4]. El tablero, con sección cajón en hormigón pretensado dispone de unas alas exteriores que siguen la ley de compresiones, y unas pilas en diapasón ligeramente abierto, que aportan un carácter especial y un dinamismo visual al puente, sin perder la deseada lógica resistente (Figura 41.).



**Figura 39.** Posición alternativa para el nuevo puente de Alcántara



**Figura 40.** Propuesta de puente en cajón de Alcántara en la posición alternativa



**Figura 41.** Puente sobre la ría de Viveiro

Otra manera de reinterpretar las soluciones clásicas consiste en reconsiderar el empleo del material en las piezas de forma que se concentre en aquellos puntos en los que resulta más eficiente estructuralmente. Ejemplos de esta forma de transformar las soluciones canónicas son: el puente en Hauterive en Suiza (Figura 42.) [4], la pasarela sobre el río Deva (Figura 43.) [7] o el nuevo puente Buriano (Figura 44.) [4].

Como ha podido apreciar el lector, el conocimiento y el análisis de las obras construidas previamente no solo enriquecen culturalmente al diseñador, sino que también ofrecen una base sólida de trabajo mediante su posible reinterpretación y transformación. Este proceso, lejos de ser una mera repetición del pasado, se puede convertir en una estrategia de diseño para el proyectista contemporáneo, quien a través de la innovación y la adaptación puede lograr propuestas que con un sustrato histórico sean capaces de responder a las necesidades del presente.



**Figura 42.** Puente de Hauterive



**Figura 43.** Pasarela sobre el río Deva



**Figura 44.** Nuevo puente Buriano sobre el río Arno

### Analizar, descifrar y responder el contexto

En ingeniería no es posible diseñar sin la consideración del contexto. Parafraseando a Vittorio Gregotti se podría decir que el entorno no es un sistema en el que disolver la ingeniería, sino que al contrario es el material más importante a partir del cual desarrollar el proyecto. El entorno es el aspecto determinante del diseño; como indica Miguel Aguiló: “la solución se polariza hacia lo singular cuando priman las sugerencias del contexto” [1] El lugar, en el sentido amplio del término e incluyendo sus circunstancias, es siempre una fuente de inspiración para el diseñador.

Modelos de la importancia del contexto en el diseño son la pasarela de Zabalzana [8] (Figura 45.), la pasarela del Padre Anchieta en Tenerife [4] (Figura 46.) o la pasarela sobre el río Carrión, en la ciudad de Palencia (Figura 47.) [9]. En los dos primeros casos el flujo de peatones fue el determinante de la configuración en planta de cada una de las obras. En la obra palentina fue el desnivel de las dos zonas a conectar y la posición del río la que llevó a la solución en curva y rampa que resolvía de una sola vez todos los problemas funcionales.

Estos ejemplos son solo una muestra de la importancia del contexto en el proceso de diseño. La geomorfología, las condiciones físicas, la presencia de infraestructuras existentes y el flujo de peatones son factores que deben considerarse cuidadosamente y que dan la oportunidad de desarrollar soluciones de interés.



Figura 45. Pasarela de Zabalzana



Figura 46. Pasarela del Padre Anchieta en San Cristobal de la Laguna

### Superar lo canónico

Hasta el momento, las soluciones que se han brevemente descrito corresponden a una aplicación de los tipos clásicos con una cierta reinterpretación y transformación, o adaptadas a las condiciones particulares del entorno. Pero más allá del empleo de esos tipos estructurales ortodoxos, el proyectista contemporáneo puede atreverse a combinar una o varias soluciones tradicionales gracias a la potencia que dan los sistemas actuales de análisis cuando se emplean racionalmente. Este método de combinación se denomina habitualmente hibridación e implica la integración de diferentes soluciones estructurales canónicas, en un mismo puente, para crear un nuevo diseño que reúna las ventajas de la combinación de cada componente individual [10].

Históricamente, el Puente de Brooklyn es un ejemplo emblemático de hibridación (Figura 48.). Este puente combina la elegancia y la eficiencia del diseño colgante, donde las cargas son suspendidas de cables, con la robustez y la estabilidad de un sistema atirantado, donde las fuerzas se transfieren a través de cables inclinados. Esta combinación de sistemas es muy eficaz para gestionar las cargas tanto estáticas como dinámicas y ofrece además una apariencia visual distintiva.



**Figura 47.** Pasarela sobre el río Carrión en Palencia



**Figura 48.** Puente de Brooklyn: Ingeniero John Augustus Roebling

En un contexto contemporáneo, el puente de Orío (Guipúzcoa) [11] (Figura 49.), la pasarela de Nájera [12] (Figura 50.) o el puente en Dvorecky, Praga [4] (Figura 51.) son buena muestra del empleo de esa técnica. El puente de Orío es una reinterpretación del puente de Brooklin, la pasarela de Nájera es una combinación entre un sistema de suspensión muy tendido con un tablero en arco casi plano y el puente de Dvorecky una hibridación entre un semiportico y una estructura colgante. En todos los casos los sistemas de hibridación propuestos incorporaban las ventajas de los dos sistemas estructurales superpuestos<sup>2</sup>.

El lector atento habrá notado que los tres métodos de creación de proyectos, como la evolución, la explotación del contexto, y la hibridación no son excluyentes entre sí. De hecho, como se ha visto en alguno de los ejemplos anteriores, es común que dos o incluso los tres métodos se combinen al desarrollar una solución. En resumen, estos métodos descritos y mostrados con ejemplos son herramientas valiosas que permiten generar diseños atractivos que muestran la riqueza de la ingeniería de puentes.



**Figura 49.** Puente de Orío, Guipúzcoa

<sup>2</sup> En la referencia citada, correspondiente a un número especial de la Revista Hormigón y Acero dedicado a la figura de Javier Manterola coordinado por el autor, se detallan las ventajas de la técnica de hibridación.



Figura 50. Pasarela de Nájera



Figura 51. Puente en Dvorecky, Praga

### Idear, definir y comprobar

Hasta el momento se han repasado algunas de las herramientas conceptuales para la creación y el resultado de su aplicación en forma de proyecto o de obra. En lo que sigue se intentará describir el procedimiento que comprende desde el comienzo del estudio hasta su materialización final en el proyecto.

Este proceso debe empezar siempre con el estudio del contexto. Este es un paso fundamental que incluye el análisis de todos los condicionantes existentes, el conocimiento del sitio y la visita al lugar. El contexto, incluye la geomorfología, las condiciones geotécnicas, las posibilidades de acceso para la construcción, la cultura constructiva de la zona, la presencia de otros elementos culturales, etc.

Después de este primer paso es necesario establecer las bases del diseño. Parte de estas premisas son externas, son aquellas indicadas por el cliente o determinadas por la naturaleza del sitio, como la hidráulica, la altura del puente para evitar inundaciones o los gálibos que deben mantenerse; otras bases de diseño son propias, es decir, autoimpuestas.

Por ejemplo, en el caso concreto de un puente en Belluno, en el Véneto italiano, el paisaje impulsaba a hacer un puente muy bajo, sin elementos sobre la rasante (Figura 52.). Además, debido a las características del río, se prefirió hacer un único vano. La decisión de no tener elementos sobre la rasante es eminentemente propia, al igual que la de construir el puente en hormigón. Otras, como puede ser el gálibo vertical son totalmente exógenas. En resumen, hay una serie de condicionantes externos e internos que guían el diseño y se materializan en la realización del concepto.



Figura 52. Puente de Belluno: contexto

Una vez analizado el contexto hay que pasar a la concepción de la solución, a su definición y a su comprobación. Este proceso es muy personal y depende en gran medida de la experiencia y las propias habilidades y también manías del diseñador. En lo que sigue se expresa una forma de trabajar que no es ni mucho menos única ni perfecta.

Para el autor la forma de empezar a plasmar un concepto es siempre con un dibujo, especialmente con un boceto a mano. Como dice Álvaro Siza, se trata de “pensar dibujando”, lema de una interesante exposición de sus bocetos en Lisboa. Nuestro admirado Javier Manterola también señalaba que las soluciones “le salían” dibujando, rectificando y corrigiendo. En ingeniería, el dibujo a mano es una herramienta de trabajo personal que ayuda a aproximarse a la solución. No es un producto terminado para mostrar, sino un medio para explorar, como sugiere John Berger [13]: En pintura, lo importante es la obra final; en el dibujo, el espectador se pone en la piel del creador, en este caso, del ingeniero proyectista. Vemos en la Figura 53. una serie de croquis realizados para el concurso del puente de Belluno en los que se puede apreciar ese pensar dibujando.

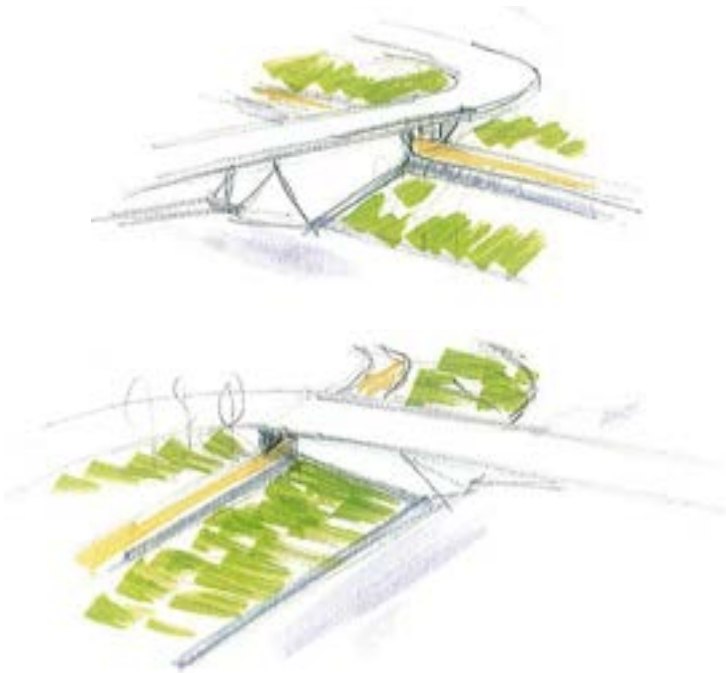


Figura 53. Puente de Belluno: esquemas de trabajo

Una vez que la idea está en la mente y abocetada, hay que ponerla en escala y sobre el terreno. Este trabajo de precisión implica definir las dimensiones aproximadas, requiriendo la experiencia necesaria para establecerlas con un margen de error razonable para no invalidar la solución. Actualmente, este dibujo se suele realizar ya con ordenador, aún en representación bidimensional, pero con una precisión alta. Durante este proceso, se ajustan las dimensiones y, en algunos casos, se vuelve incluso al boceto a mano hasta conseguir un diseño que se ajuste a los diversos condicionantes y expectativas. Se analiza especialmente el ajuste con las condiciones singulares del emplazamiento, como la geomorfología, la geometría de la vía, los gálibos o distancias libres a considerar, etc. En la Figura 54. se muestra un ejemplo del paso del boceto a la geometría precisa lograda con ordenador.

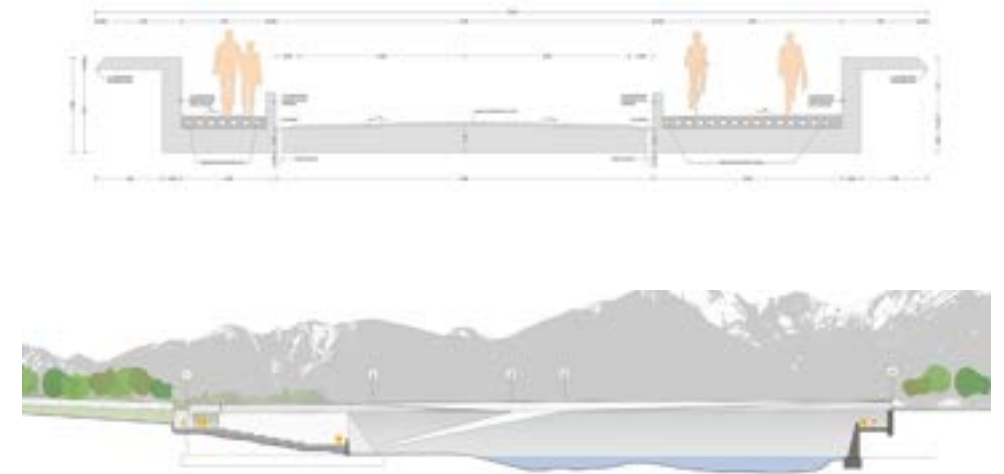


Figura 54. Puente de Belluno: geometría con ordenador

Del dibujo en dos dimensiones se pasa rápidamente al dibujo tridimensional que ayuda a terminar de perfilar la solución.

La maqueta física de trabajo no es muy habitual en ingeniería, aunque puede ayudar a visualizar de forma abstracta el concepto. Estas maquetas pueden construirse desde una modesta cartulina hasta con modernas impresoras 3D. Los modelos físicos de trabajo son más conceptuales que realistas, pero precisamente por eso ayudan en la fase inicial de diseño. En la imagen (Figura 55.) se muestra una maqueta de trabajo para estudiar el encuentro entre una pila y el tablero del puente.



**Figura 55.** Puente de Belluno: maqueta de trabajo

Cabe destacar que, cada vez más, en muchos concursos el jurado prefiere la maqueta física a la imagen virtual o al fotomontaje que veremos seguidamente, ya que estos últimos pueden “manipularse” mostrando solo la parte visible “más agradable” del puente en cuestión.

Las visualizaciones hiperrealistas y las inmersiones en un entorno virtual tridimensional son herramientas fundamentales en el diseño contemporáneo. Permiten conocer cómo será la apariencia de la obra y su relación con el entorno. El uso de estas herramientas otorga una potencia inusitada al proyectista, ya que ya no es necesario imaginar cómo resultará el proyecto: podemos apreciar la obra construida en etapas muy tempranas del proceso.

Hoy en día, las herramientas de visualización virtual permiten estudiar cualquier punto de vista, en cualquier momento del día, simulando a la perfección el efecto de la luz sobre las superficies, dependiendo del tipo de material y su acabado. Estas herramientas no solo facilitan la comprensión aislada del puente, sino que también permiten evaluar la experiencia del usuario, tanto del que pasa por la obra como del que la observa en la distancia, así como la relación de la obra con el entorno de manera precisa.

El uso de software de modelado 3D y renderizado ha transformado la capacidad de los ingenieros para prever y modificar sus diseños antes de la construcción. Los programas permiten crear visualizaciones fotorrealistas y recorridos virtuales que pueden ser presentados a clientes y partes interesadas para obtener una retroalimentación temprana. Estas visualizaciones pueden incluir elementos dinámicos como el movimiento de personas y vehículos, y el impacto de las condiciones climáticas, lo que proporciona una comprensión más completa del proyecto final. A modo de ejemplo, en las imágenes se pueden ver las visualizaciones presentadas al concurso del puente de Belluno (Figura 56.). Las visualizaciones realistas y las inmersiones virtuales han revolucionado el diseño, permitiendo a los ingenieros crear con una claridad y precisión sin precedentes.

Hoy en día no hay excusa para hacer un puente feo; podemos visualizar de antemano cuál será la imagen de nuestro proyecto y realizar los ajustes necesarios para asegurar su calidad visual y su relación con el entorno.



**Figura 56.** Puente de Belluno: imágenes virtuales

### El resultado: el puente como hecho creado

El puente, como hecho creado por el ingenio humano, representa mucho más que una simple estructura física que conecta dos puntos separados por una barrera natural o artificial. Desde tiempos antiguos, los puentes han sido símbolos de ingeniería y progreso, reflejando el ingenio creativo y la capacidad de resolver desafíos técnicos y logísticos. En su esencia, un puente es una manifestación tangible del deseo humano de superar obstáculos, tanto físicos como simbólicos. El proyectista de puentes se siente estimulado por esos retos, que como bien recoge en su prosa el escritor portugués Jose Luis Peixoto al indicar que: “la distancia es bonita porque nos desafía”.

Además de su función práctica de facilitar el tránsito, los puentes son construcciones que complementan y enriquecen el paisaje. El encaje en el terreno, la forma y sus proporciones, la articulación entre elementos pueden hacer que una simple estructura de cruce sea un elemento fundamental de lo que puede llegar a ser un paisaje cultural gracias a la presencia de la obra de ingeniería.

La apreciación del puente puede realizarse desde muchas perspectivas, pero es la crítica la que ayuda a mejorar. Más allá de los aspectos técnicos, el diseño y la construcción de puentes deben ser evaluados desde una perspectiva crítica que considere factores como su relación con el lugar, su expresión plástica, o la importancia de lo social en el diseño.

De forma breve, puede indicarse que además de la innovación técnica, son las formas, la relación del puente y el paisaje y finalmente, la valoración o experiencia del usuario los aspectos que permiten hacer una evaluación del puente como hecho construido.

La sutileza de las formas puede ser apreciada, por ejemplo, en el puente de Mosteiró (1972) de Edgar Cardoso (Figura 57.). Las proporciones generales, la curvatura de la rasante en alzado para encajar el canto en la zona de las pilas, el ritmo y configuración de los elementos de la celosía de hormigón que resuelve con elegancia el problema del canto variable, son una muestra de la importancia del cuidado de las formas en la apreciación de la obra.



Figura 57. Puente de Mosteiró. Ingeniero Edgar Cardoso

La relación de puente y paisaje es otro punto clave en la apreciación del diseño. El puente de Saginatobel (1930) de Robert Maillart (Figura 58.) es un buen ejemplo de cómo se pueden reforzar mutuamente el puente y el paisaje.



Figura 58. Puente de Saginatobel. Ingeniero Robert Maillart

Por último, la experiencia del peatón al cruzar el puente de Brooklyn (1883) es extraordinaria (Figura 59.). Seguramente Roebling no diseñó el puente teniendo en cuenta lo que iba a sentir el peatón al cruzar el puente, pero dejó una obra única para el disfrute del peatón.



Figura 59. Puente de Brooklyn: Ingeniero John Augustus Roebling

## Epílogo

El proceso de creación es un acto muy personal, que supone la aplicación de la técnica a un lugar concreto. El bagaje completo del proyectista, tanto el técnico como el cultural es crucial durante la fase de concepción. Las tres obras mostradas en el apartado anterior son ejemplos de buenos puentes. De su análisis puede afirmarse que el puente como hecho creado representa la capacidad humana de innovar y transformar el entorno natural para beneficio de la sociedad. El diseñador debe tener eso siempre en su mente y recordar como afirmaba Jörg Schlaich que los ingenieros tomamos prestada una parte del medio ambiente y tenemos la obligación de devolverlo en forma de Cultura.

## Referencias

- [1] Aguiló, M. (2010). FORMA Y TIPO EN EL ARTE DE CONSTRUIR PUENTES. Abada Editores.
- [2] Manterola, J. (2024) CONSIDERACIONES SOBRE ESTÉTICA, ARQUITECTURA E INGENIERÍA. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [3] Romo, J. (2011) PUENTE DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD BARCELONA-FRONTERA FRANCESA SOBRE LA AP-7 EN RIUDELLOTS DE LA SELVA. Revista Hormigón y Acero vol62 nº261
- [4] Romo, J.; Fernández, F. J. (2020) FHECOR: DISEÑAR PUENTES.
- [5] Navascués P. (2007) ARQUITECTURA E INGENIERÍA DEL HIERRO EN ESPAÑA (1814-1936). Fundación Iberdrola
- [6] Desideri, P. (1979) PIER LUIGI NERVI. Estudio Paperback GG
- [7] Romo, J.; Prieto, F.; Martín, M. (2022): FOUR FOOTBRIDGES ON THE EIBAR-MALTZAGA CYCLE PATH. Footbridge 2022: Creating Experience, Madrid, Spain
- [8] Romo, J.; Prieto, F.; Capdevila, L. (2017): ZABALGANA FOOTBRIDGE OVER MADRID-IRÚN RAILROAD IN VITORIA. Footbridge 2017 Berlin
- [9] Romo, J.; Martín, M. (2005) PASARELA SOBRE EL RÍO CARRIÓN (PALENCIA) Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE Zaragoza
- [10] Romo, J. (2019): NUEVAS TENDENCIAS EN TIPOLOGÍA: PUENTES HÍBRIDOS, UN CAMPO PARA LA INNOVACIÓN EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL. Hormigón y acero, v. 70, n. 289
- [11] Romo, J (2013): ORIO BRIDGE: AN INNOVATIVE HYBRID: CABLE STAYED – SUSPENDED STRUCTURE. IABSE Symposium Kolkata, India.
- [12] Romo, J.; Soriano, J.; Jimenez, D. (2011): NAJERA FOOTBRIDGE. International Conference Footbridge 2011, Wroclaw, Poland
- [13] Berger, L. (2013) SOBRE EL DIBUJO. Gustavo Gili

## Crítica, patrimonio e innovación

Miguel Aguiló Alonso

### Dimensión territorial

Empiezo por resaltar la dimensión territorial del puente, como obra primordial de la Ingeniería Civil. Esta disciplina reúne unos productos del construir -las obras y servicios públicos, junto al cuidado del territorio para que el planeta siga siendo habitable [6:8]. A finales de los 1920, Heidegger integró ambos conceptos, al formular que construir es habitar. Un habitar que rebosa la estancia, pues la vida no transcurre entre cuatro paredes, e incluye movimiento, ritmo y desplazamientos.

De hecho, el ámbito vital no es un hueco donde establecerse, sino un intervalo a recorrer, que incluye a los demás y su derredor, con la ciudad como primera envoltura en esa dialéctica de refugio y desplazamiento [11:16]. Ildefonso Cerdá insistió en ello cuando escribió que, “en la ciudad el hombre está, el hombre se mueve: no hay más que estancia o movimiento” [9:595].

En esa actividad esencial del habitar, la ingeniería civil se ocupa de la movilidad, mientras la arquitectura se ocupa de la residencia. Aunque no se trata solo del movimiento de las personas, sino de todo lo que se mueve en el Planeta, el viento, los ríos, las corrientes, el oleaje, las mareas o la propia tierra cuando tiembla. Su tarea es alojar esos flujos en la Tierra, para que su movimiento se desarrolle sin conflictos ni destrucción. Los encauza, procura atemperar sus excesos y carencias, y se protege de su furia en la tierra y el mar.

En contraste con otras ingenierías, dominadas por la tecnología, el objeto esencial y distintivo de la Ingeniería Civil es el territorio y sus flujos. Los vehículos y las máquinas son productos de una tecnología que es global y se puede usar en cualquier sitio. Pero la obra de ingeniería se diseña a medida del sitio, y se construye con atención y respeto de las costumbres y condiciones de vida locales, que concurren en ese lugar y momento histórico.

En los sitios donde estos flujos se cruzan, la Ingeniería Civil se hace imprescindible, y requiere construir la obra pública por excelencia, que es el puente. Su ejemplo primordial es el cruce de un camino sobre un río, un flujo de movilidad en conflicto con una corriente de agua. Pero no se trata de cualquier camino y cualquier río: cada puente se construye para un camino concreto, sobre un río particular y, de ese modo, establece un territorio.

### Ámbito local

Esa primacía territorial se concreta como ámbito local con el uso de la escala, un concepto básico que nos permite relacionar nuestra actuación, sea cual sea su tamaño, con el entorno donde se ubica. Permite resaltar ciertos caracteres y ocultar otros, tanto del entorno como de la obra, para establecerla como territorio.

La base del diseño está en la función -en su por qué- pero cualquier obra supera lo útil en busca de sentido para su ámbito. La función siempre es múltiple, e incluye su encaje local, responde a su dónde, aunque a veces se simplifique como mera utilidad. Pero las raíces locales van mucho más allá de la utilidad de salvar un obstáculo o levantar una estructura, pues constituyen su principal fuente de sentido.

En el puente, la confluencia del sitio con la obra genera el lugar. Y allí, en el lugar, el dónde y el por qué se relacionan como encaje, pues, cuando la obra surge de la tierra, no solo desvela su función, sino todo el ámbito en que se ha gestado su construcción y todo aquello que permite entender su sentido. Cualquier propuesta requiere un dónde para ver la luz, pero solo podrá surgir si se adecúa a las exigencias locales: nadie quiere un basurero en su patio trasero [6:11].

La esencia de la obra es porosa respecto al contexto, y su diseño debe ser “a la medida” del sitio para recoger sus influencias. La presencia cultural de la obra resuena con el patrimonio, las tradiciones y los valores locales, fomentando un sentido de pertenencia y orgullo en la comunidad, que enriquece su ámbito y su tejido cultural, sea lugar, ciudad o territorio [13:11-18].

### Tecnología global

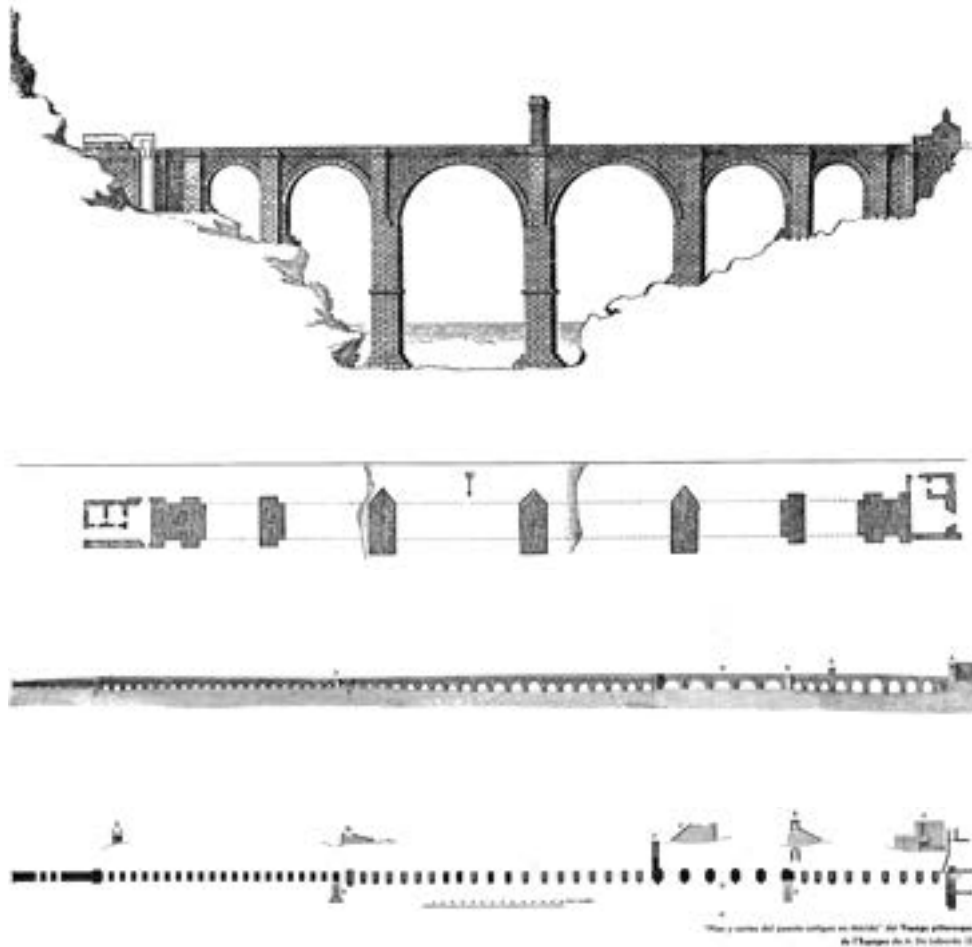
El diseño del puente se apoya en una tecnología global, universal, que viene sistematizada en una tipología. Los tipos recogen y ordenan los puentes realizados en la historia, y son un recurso decisivo para seleccionar una solución tecnológica. En los puentes esto ha sido crucial, porque las opciones tecnológicas de diseño siempre fueron mínimas. Durante miles de años, el arco de piedra “enjutado” o con tímpanos macizos fue el único tipo disponible de puente duradero. Las celosías de madera, también utilizadas de antiguo, se deterioraban y adquirieron un carácter provisional.

Desde ese origen a la aparición del arco exento, quedaba un gran camino por recorrer, con aligeramientos pequeños primero, más grandes después, hasta que el hierro permitió diferenciar los tres elementos resistentes, arco, pilares y tablero, en un proceso de depuración técnica y artística, que necesitó muchos siglos. De hecho, el arco exento justifica el nacimiento de la idea de tipo estructural [3:71].

Sin embargo, la aparición de los ordenadores tuvo una gran repercusión, no tanto en los tipos tal y como estaban establecidos, sino en la forma de utilizarlos para el diseño. Antes, la selección de un tipo conllevaba todos los detalles y métodos específicos de cálculo. Ahora el tipo solo se usa como punto de partida o esquema previo, pues la rapidez de los tanteos permite al diseñador ensayar otras soluciones en breves períodos de tiempo [2:331].

Por ello, bastante a menudo, la lucha local de las obras con la Tierra explica su presencia mejor que sus características globales de material, época o técnica de construcción.

Eso ocurre en los puentes de Alcántara y de Mérida: ambos son romanos, de piedra y en arco de medio punto, pero son totalmente distintos por su manera de encajarse en la Tierra. Ni la época, ni el material, ni la estructura aportan diferencias, pero las formas acusan un origen distinto, vinculado al lugar.



**Figura 60.** Puentes de Alcántara y Mérida

Alcántara se afirma como puente alto entre laderas escarpadas, frente a Mérida como paso rasante sobre un río de ancho y variable cauce. Para salvar el máximo nivel de las crecidas del río Tago, el puente de Alcántara ha de situarse en alto y resistir allí las fuerzas de la gravedad y la corriente. El abrupto cañón obliga al río a ir más rápido y aumenta su nivel. Con ello, la corriente empuja más y lo hace sobre una estructura más alta, que exige grandes vanos y robustas pilas.



**Figura 61.** Puentes de Alcántara y Mérida

En Mérida, la fuerza del río Guadiana y la elevación de sus aguas se manifiestan como desbordamiento. Por ello, el puente romano se amplió con un nuevo tramo en el siglo XVII y con otro en el XIX, para afrontar la extensión de las aguas que, saliéndose de madre, impedían el paso sin destruir el puente. Más que fortalecerse en vertical, necesitó extenderse en horizontal para acoger los desplazamientos del cauce [4:18].

### Voluntad de configuración

El creador otorga la forma al conjugar el conflicto entre las sugerencias del lugar y el tipo, esto es, de la Tierra y del mundo. La relación entre obra y entorno se establece según un proceso de ajuste, que se elabora en torno a cuestiones de ubicación, configuración espacial, articulación y límites. Se trata de responder a las preguntas fundamentales: dónde se ubica la obra, cómo la disponemos, cuál es su relación con el entorno y hasta dónde llega.

La forma se entiende como aportación del diseñador, más que como resultado del proceso de diseño. Esa aportación se manifiesta, tanto en su tectónica, acumulada como potencial de su manera habitual de trabajar, como en su voluntad formal, esto es, lo que quiere expresar cuando afronta el diseño. Como todo creador el ingeniero tiene su propio mundo creativo, que concreta con su voluntad formal en cada realización [2:36].

El creador define así la forma, a través de un proceso que parte de su experiencia y busca nuevas soluciones, pero no de una manera neutra entre posibilidades abstractas, sino impulsado por su propia voluntad de configuración. Este término desarrollado por la teoría del arte implica la existencia de una idea, esquema o propósito previo que debe plasmar en una forma concreta.

Los primeros puentes colgantes de Nueva York son buen ejemplo de un variado muestrario de propósitos.



Figura 62. Puentes de Brooklyn, Williamsburg y Manhattan, New York

Cuando John Roebling diseñó las pilas del puente de Brooklyn para unir esa ciudad con la naciente Manhattan, en 1889, quería construir un pórtico de entrada que se constituyese en símbolo de Nueva York, como la mayor ciudad del mundo. Trataba de emular las grandes catedrales, ostentadas por las ciudades europeas. Pero el contraste entre los arcos de piedra de las pilas y la grácil catenaria de los cables evidencia un conflicto estético, que generó cierto rechazo, a pesar de ser la principal fuente de interés de ese formidable puente [6:12].

Los ingenieros de la época se posicionaron contra esa pretendida monumentalidad y forzaron un estricto diseño funcional para el siguiente puente de Williamsburg en 1903 -situado aguas arriba- que fue un rotundo fracaso de público y crítica. El tosco diseño de sus pilas y el excesivo canto del tablero no gustaron a nadie, y el puente fue calificado como el “supremo ejemplar de lo feo”.

Cuando Nueva York necesitó un tercer cruce, situado entre los dos, Ralph Modjeski diseñó el puente de Manhattan, en 1908, con la doble voluntad de gustar a los neoyorquinos y de satisfacer las ansias de novedad de los ingenieros. Y lo logró con una nueva solución estructural de pila flexible, nunca probada, pero formalizada con un gran arco, como puerta simbólica de entrada, flanqueado por dos tecnológicas celosías verticales, que lo convirtió en uno de los puentes más queridos de la ciudad.

Es evidente que, en el mismo lugar y con el mismo tipo de puente colgante, la voluntad de configuración del diseñador logra resultados muy diferentes para la misma función. Y con ello demuestra la autonomía de la forma respecto a la función, y supera el clásico debate entre utilidad y belleza [6:13].

Frente a quienes, como el arquitecto Gottfried Semper, pensaban que “una obra de arte no es sino el producto mecánico resultante del objetivo utilitario, la materia y la técnica”, el historiador Alois Riegl apuntó que “la obra de arte es el resultado de una voluntad artística”, es producto del propósito de su creador. Y añadió que, frente a esa voluntad, “la materia, la técnica y la utilidad solo actúan como un freno: funcionan como coeficientes de rozamiento” [12:20].

### Introducción de lo Nuevo

La introducción de lo nuevo en el tipo y la forma afianzó esa voluntad de configuración, que asomaba en Nueva York y ahora adquiere su plenitud. La tipología empezó a enriquecerse hace unos 250 años, cuando nuevos materiales como el hierro y luego el hormigón permitieron que el arco se liberara y surgieran nuevos tipos de puente. Y, hace unas cinco décadas, el ordenador permitió calcular, representar y realizar cualquier forma dibujada por su creador, y consagró su libertad para buscar lo nuevo.

La llamada a lo nuevo tiene como objetivo evitar la repetición y es, por ello, fuente principal de la cultura. En general, nuestra mirada se adapta enseguida a lo que nos rodea, debido a un fenómeno conocido como supresión por repetición. Cuanto más familiar nos resulta algo, menos energía nerviosa le dedicamos. El mundo se va borrando a medida que se vuelve familiar, y esa familiaridad engendra indiferencia. Lo nuevo, en cambio, es siempre motivo de interés [7:18 y 23].

Para Boris Groys, lo nuevo es insoslayable, irrenunciable e inevitable en cualquier campo. No hay ningún camino que nos saque de lo nuevo, porque si lo hubiera, sería un camino nuevo. No hay posibilidad alguna de romper las reglas de lo nuevo, porque esa ruptura es precisamente lo que esas reglas exigen. En este sentido, la exigencia de innovación es, si se quiere, la única realidad que la cultura expresa en todas sus manifestaciones [10:17 y 26].

En ingeniería, la tensión entre lo local y lo global propicia que la voluntad de configuración se manifieste, al tomar posición frente a lo nuevo en ambos polos. Se puede innovar tanto en el ámbito del trazado y funciones del puente, como en su esquema estructural, y ambas novedades interactúan entre sí.

Un buen ejemplo de esa doble presencia de lo nuevo y su mutua interacción es el puente de Juan Bravo en Madrid, construido en 1969 por José Antonio Fernández Ordóñez, Julio Martínez Calzón y Alberto Corral.



Figura 63. Puente de Juan Bravo, Madrid

En el polo local, la colocación de un museo de esculturas bajo el puente fue una idea que resultó determinante para su trazado, tanto en la forma de la planta -con el ensanche del tablero en el lado de Serrano- como en la pendiente constante del alzado para generar un ámbito unificado.

En el polo tecnológico, el tablero mixto, formado por un cajón de acero autopatinable con losa de hormigón blanco, fue una total novedad, tanto en sus materiales, como en su disposición estructural que, además, mejoraba la iluminación del museo. Y la escultura colgada de Chillida fortalecía los vínculos del puente con el museo, para lograr un ámbito cultural único.

De hecho, lo local suele presentar más posibilidades de introducir lo nuevo que lo tecnológico o global, por la variedad de factores y condiciones particulares que concurren en el lugar. Y también es cierto que la novedad en lo local genera oportunidades de innovación tecnológica en el mismo puente.

Buen ejemplo de ello es el puente de Euskalduna, en Bilbao, construido por Javier Manterola en 1998. El trazado inicial consistía en una línea recta, desde la plaza de los Sagrados Corazones de Bilbao, que cruzaba el Nervión y se adentraba por una calle estrecha de la otra orilla, a la altura del tercer piso de las viviendas. En su lugar, Manterola propuso una suave curva continua a nivel intermedio, que descendía pasado el río hasta una glorieta situada aguas abajo, con lo que evitaba pasar entre las casas.



Luego integró la asimetría de la curva en la sección transversal, colocando los coches en el interior y los peatones al exterior, y los separó con una celosía curva inclinada, que los aislaba sin ocultar su presencia. Además, añadió una cubierta horizontal sobre la acera, que ayudaba a resistir la combinación de flexión y torsión al constituir una efectiva viga en Z. Con todo ello, lograba mayor dinamismo en la calzada y mayor cobijo en la acera, que funciona como un mirador.



Figura 64. Puente Euskalduna, Bilbao

### Recepción crítica

La recepción de la obra por el público viene mediada por la crítica que recibe en su aparición, y puede consolidarse como patrimonio según el aprecio duradero otorgado por la comunidad, tanto cercana como técnica.

La crítica de la obra de ingeniería debe partir de la tensión entre sitio y tipo, antes señalada como fuente de sentido, para atender enseguida a la forma otorgada por su creador.

En ese proceso, el sitio o contexto proporciona las sugerencias e imposiciones particulares de la Tierra y el mundo, que aparecen ligadas a la existencia de las cosas. El tipo es portador de los conocimientos técnicos acumulados en la historia, que están ligados al devenir de las cosas. Por su parte, la forma da el ser a las cosas, y expresa su carácter como propiedad comprensiva.

La lectura del sitio relaciona la obra con el mundo y el quehacer del hombre allí acumulado. Con el reconocimiento del tipo se desencadena una pre-comprensión reflexiva de la forma y se reactiva su comparación con lo ya realizado para profundizar en su conocimiento. La apreciación de la forma remite a la individualidad de la obra y abre camino a la valoración de su específica identidad territorial [4:182].

En cualquier caso, el fruto más importante de la crítica no es el juicio o la valoración en sí, sino las posibilidades de comprensión e interpretación de la obra que abre con su discurso. Al filósofo o al crítico, le pedimos que nos ayude a entender e interpretar y no nos interesa si la película le gusta o le disgusta [8:10].

Con la libertad de configuración, nuestra manera de entender y valorar lo construido ha producido una doble extensión del concepto de patrimonio, tanto en el espacio como en el tiempo.

Por el polo local, el concepto de patrimonio se ha extendido del monumento a su entorno, de la casa al barrio, de la obra al paisaje, y del puente al lugar creado con su presencia. La creciente movilidad del público facilita estos procesos de ampliación del territorio considerado como propio y digno de protección.

Por el polo tecnológico, la introducción de lo nuevo permite considerar como legado la evolución de los tipos, superando la idea de que sólo valía la pena conservar las obras antiguas. Ahora la enorme variedad de lo construido otorga gran interés al legado de la ingeniería reciente y a la conservación de los hitos de su evolución.

Cuando hay algo nuevo en los dos polos, local y global, el valor de novedad se refuerza y se convierte en dominante. En ese caso, el paso del tiempo consolida el valor de novedad con la obra de forma indisoluble, y lo trasmuta en valor patrimonial.

### Valor patrimonial

Según ello, podríamos afirmar que un puente realmente nuevo forma parte de nuestro patrimonio desde que nace. Y este vínculo entre innovación y patrimonio influye tanto en nuestra forma de diseñar como en nuestra manera de valorar el patrimonio de los puentes, pues lo que vamos creando, junto al paso del tiempo, alteran la escala de valores de lo técnico y lo cultural [5:4].

Para afinar el valor crítico y patrimonial de lo nuevo, conviene distinguir entre invento e innovación. Se trata con ello de introducir la repercusión de lo nuevo en el tiempo histórico de la disciplina, sea la ingeniería civil o el arte de construir puentes. Más allá del grado o intensidad de la novedad, se pretende abarcar su efecto en la teoría o en similares realizaciones posteriores.

Muchas obras memorables permanecen en la historia como casos únicos, destacados o aislados, pero sin influencia real posterior. Otras, en cambio, alteraron radicalmente la manera de crear o de construir. Salvando siempre las distancias y sin menoscabar su aportación de novedad, las primeras podrían considerarse como fruto de unos creadores cercanos al perfil humano de artista-inventor, como las láminas de Torroja. Las segundas serían más próximas al perfil innovador-empresario, como el pretensado de Freyssinet o las armaduras rígidas de Ribera.

Tanto si procede del ámbito local por lo que aporta el sitio, como del ámbito global por lo que mejora la tecnología, la crítica debe señalar la novedad formal del puente y la innovación que aporta a la disciplina. Según el famoso libro de Alois Riegl, *El culto moderno a los monumentos*, en la obra de arte eso sería su valor artístico (contemporáneo), compuesto por su novedad y su belleza en comparación con otras obras. Es decir, el principal valor crítico de un puente reciente está en lo que aporta de nuevo al arte de construir.

Del mismo modo, el principal mérito de un puente antiguo para pertenecer al patrimonio de la Ingeniería Civil es la innovación que aportó al diseño y construcción de obras posteriores. De nuevo según Riegl, eso sería su valor histórico (rememorativo), en tanto representa una determinada etapa, en cierto modo particular, en la evolución de alguno de los campos creativos de la humanidad [12: 79 y 57]. Es decir, el valor patrimonial de un puente antiguo está en que fue nuevo en su época.

De ese modo, la valoración crítica de su novedad ayuda a entender lo que supone un puente para el mundo global del diseño y para la comunidad donde impone su presencia. Con el tiempo se verá si ese puente ha tenido una repercusión real en el arte de construir puentes y si es digno de mantenerse como legado de su época y pasa a formar parte del patrimonio construido.

## Referencias

- [1] Aguiló, Miguel; 1999. El paisaje construido. Una aproximación a la idea de lugar. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid.
- [2] Aguiló, Miguel; 2008. Forma y tipo en el arte de construir puentes. Abada, Madrid.
- [3] Aguiló, Miguel; 2011. Formalización de los arcos metálicos. En: Geometría y proporción en las estructuras. Ensayos en honor de Ricardo Aroca, Escuela de Arquitectura, Madrid 71-87.
- [4] Aguiló, Miguel; 2013. Qué significa construir: Claves conceptuales de la ingeniería civil. Abada, Madrid.
- [5] Aguiló, Miguel; 2021. Innovación y Patrimonio. En: Martín Caro, José Antonio; Hernández Lamas, Patricia; 2022. Puentes de Madrid, Técnica y Cultura. Consejo Investigaciones Científicas, Madrid: 8-11
- [6] Aguiló, Miguel; 2024. Cuidar la Tierra, rehacer el Mundo. Discurso de recepción leído el 14 de enero de 2024. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid.
- [7] Brandt, Anthony; Eagleman, David, 2011. La especie desbocada. Cómo la creatividad humana remodela el mundo (Argumentos). Editorial Anagrama, 2022. Edición Kindle.
- [8] Broncano, Fernando; 2006. Entre ingenieros y ciudadanos. Filosofía de la técnica para días de democracia. Montesinos, Madrid.
- [9] Cerdá, Ildefonso; 1867. Teoría general de la urbanización. Y aplicación de sus principios y doctrinas a la Reforma y Ensanche de Barcelona. Imprenta española, Madrid.
- [10] Groys, Boris, 2005. Sobre lo nuevo. Ensayo de una economía cultural. Pre-Textos, Valencia.
- [11] Ricoeur, Paul; 1989. Arquitectura y narratividad. *Arquitectonics: mind, land & society*, ISSN 1579-4431, Núm. 4, 2003: 9-29.
- [12] Riegl, Aloïs; 1901. El arte industrial tardorromano. La balsa de la medusa, Visor libros, Madrid, 1992.
- [13] Romo, José; 2010. Los puentes: génesis y sentido del proyecto. II Jornadas sobre puentes. Asociación Española de la Carretera. San Sebastián, 27 al 29 abril 2010.

## El reto constructivo de los puentes

Juan Rodado López

### La construcción como reto

El título de este artículo se ajusta perfectamente a lo que supone la construcción de puentes, porque ¿qué es la construcción sino un reto?

La definición de reto que da la Real Academia Española de la Lengua es “*Objetivo o empeño **difícil** de llevar a cabo, y que constituye por ello un estímulo y un **desafío** para quien lo afronta*”. He resaltado dos palabras en esta definición: difícil y desafío, que definen perfectamente lo que es la construcción de puentes, siendo varios los desafíos a los que se enfrenta el constructor. Por un lado, existen los desafíos ligados al emplazamiento del puente, que he llamado desafíos geográficos, porque los puentes deben salvar obstáculos, unas veces naturales como ríos, lagos, valles, el mar, y otras veces de origen humano, desde poblaciones a vías de comunicación como carreteras o líneas de ferrocarril. Pero, sobre todo, existen desafíos dimensionales, porque todo lo relacionado con el puente es de grandes dimensiones, las distancias a salvar derivadas de la longitud del puente o de sus vanos, las alturas de las pilas sobre las que se construye el tablero y los pesos de los diferentes elementos que hay que manipular. Por último, la construcción de puentes implica desafíos técnicos que habrá que resolver para construir los accesos y las instalaciones de obra, para mover los diferentes elementos y suministrar materiales y, en definitiva, para garantizar que el personal pueda desempeñar su trabajo, muchas veces en altura, con todas las medidas de seguridad adecuadas.

En efecto, esto es así, porque el constructor cuando se enfrenta a la ejecución de una obra de puentes se encuentra con el entorno más o menos natural o alterado y debe organizar todo un sistema constructivo para conseguir su objetivo. En general, los ingenieros solemos valorar de manera muy destacada el proyecto del puente, porque es ahí donde consideramos que se ha plasmado todo el conocimiento técnico y saber hacer ingenieril, pero no debemos olvidar que si el proyecto no se puede construir no habrá servido para nada. Digo esto para poner en valor el trabajo del constructor de puentes que, armado con un buen proyecto, debe ponerse manos a la obra para alcanzar el objetivo de la construcción. Y en ocasiones, como nos ocurrió en Ecuador, nos encontramos con un barranco como el del río Chiche, con más de 120 m de profundidad, en cuya coronación debemos construir el puente, para lo cual lo primero es construir unos accesos que no existen en laderas tremendamente verticales (Figura 65.).



**Figura 65.** Barranco del río Chiche

O nos tenemos que enfrentar a un entorno como el del embalse de Contreras, con varios puentes construidos, y hay que construir uno más, esta vez para alta velocidad, con la complejidad de accesos que el embalse plantea. En otra ocasión, nos encontramos con el cañón excavado por el río Ulla, sobre el que ya se construyó en los años cincuenta del siglo XX el viaducto ferroviario de Gundián, y en esta ocasión, el nuevo viaducto a construir es también de tipo arco, pero para el ferrocarril de alta velocidad, con una luz que supera el triple de la del viaducto anterior.

Son frecuentes las ocasiones en las que la obra debe realizarse sobre puentes y viaductos existentes para ampliar o reforzar la plataforma. Este fue el caso del viaducto de San Pedro de la Ribera en la autopista A-8, cuya anchura tuvo que ampliarse desde los 12 m hasta casi el doble, 23 m, con el desafío adicional de mantener el tráfico sobre el tablero durante las obras. Algo similar, aunque a otra escala, nos encontramos cuando tuvimos que ampliar con dos carriles adicionales la plataforma del puente atirantado de Rande sobre la ría de Vigo, primer puente atirantado del mundo que se amplió.

Otras veces los retos no se refieren a grandes puentes sino a otras estructuras que también plantean sus dificultades. Por ejemplo, en la actualidad estamos ampliando la plataforma de la carretera del desfiladero de La Hermida en los Picos de Europa, ampliación que alcanza en ocasiones más de 5 m y que debe hacerse volando sobre el río, sin apoyarse en su cauce y sin afectar a la ladera rocosa del desfiladero (Figura 66.).



**Figura 66.** Desfiladero de La Hermida

Para entender la forma de resolver estos desafíos tengamos presente que construir consiste en parte en componer piezas grandes a partir de otras piezas más pequeñas. Y para hacer esta composición el constructor desarrolla procedimientos constructivos diferentes, como son el cimbrado sobre el terreno, el avance en voladizo, la construcción vano a vano, el giro, abatimiento o izado de elementos o la prefabricación de piezas como dovelas o vigas. Además, para la aplicación de los diferentes procesos constructivos se utilizarán medios auxiliares, más o menos específicos para cada tipo de construcción, desde simples grúas a otros como son las cimbras y encofrados, los carros de voladizos y carros de alas, las cimbras autolanzables o autocimbras y los lanzadores de vigas.

### Algunos ejemplos en la historia de la construcción de puentes

Haciendo un repaso rápido de la evolución de la historia de la construcción de puentes, es habitual pensar en primer lugar en los puentes construidos por el imperio romano en la antigüedad, puentes arco de piedra para los que se utilizaban como medios auxiliares cimbras de madera sobre las que apoyar las bóvedas durante su construcción.

De manera análoga las cimbras de madera fueron utilizadas hasta el siglo XIX y XX de nuestra era. En su libro *“La construcción de puentes en el siglo XVIII”*, el ingeniero francés Jean Rodolphe Perronet [1] nos describe con mucho detalle la construcción de varios puentes en Francia, como los puentes arco de Neuilli y Mantes sobre el río Sena o el puente de Cravant sobre el río Loira, y nos muestra los planos de las cimbras de madera que se utilizaron, que constituían auténticos puentes provisionales de madera para sobre ellos construir el puente definitivo de piedra.

En 1862 finalizó la construcción del puente de los Franceses sobre el río Manzanares en Madrid (Figura 67.), por citar otro ejemplo, que también se construyó utilizando una cimbra de madera para las bóvedas de piedra y ladrillo (Figura 68.).

Es en el siglo XIX cuando se inicia la construcción de los grandes puentes metálicos como una de las consecuencias de la Revolución Industrial y en 1889 Gustave Eiffel [2] construye en Francia el viaducto metálico de Garabit para ferrocarril con 165 m de luz. Dada la ligereza del nuevo material en comparación con la piedra, no tiene sentido ya utilizar una cimbra de madera, sino que Eiffel desarrolla un sistema de avance en voladizo para ir construyendo el arco atirantándolo de manera provisional desde las pilas y el tablero ya construidos, sistema que se sigue utilizando hoy en día como luego veremos.



Figura 67. Puente de los Franceses



Figura 68. Cimbra del puente de los Franceses

Con un procedimiento similar de avance en voladizo desde las pilas hacia ambos lados de manera simétrica se construyó en 1890 el majestuoso puente ferroviario del fiordo de Forth en Escocia [3] con 520 m de luz en sus dos vanos principales (Figura 69.). Este sistema tendría un gran desarrollo posterior al permitir independizar la construcción de los tableros de la altura del puente y los obstáculos situados bajo él, además al apoyarse en el tablero ya construido para el avance se reducían significativamente los medios auxiliares necesarios (Figura 70.).

De 1929 es el puente de Salginatobel en los Alpes suizos diseñado por el ingeniero Robert Maillart [4] como arco triarticulado de 90 m de luz. Para su construcción se utilizó una cimbra de madera apoyada en las laderas rocosas del barranco que en sí constituye un original puente de madera sobre el que hormigonar el puente definitivo.



Figura 69. Puente de Forth



Figura 70. Construcción del puente de Forth

Cuando Eugène Freyssinet se tuvo que enfrentar a la construcción de los arcos de hormigón del puente de Plougastel sobre el río Elorn en Francia [5], finalizado en 1930, se encontró con la dificultad de cimbrar sobre el ancho y caudaloso río. Para ello diseñó una cimbra flotante atirantada, auténtico puente bowstring, con la que se hormigonaron los tres arcos del puente de 186 m de luz.

En España tenemos que destacar la construcción del viaducto Martín Gil [6] sobre el embalse de Ricobayo con su arco principal de 210 m de luz proyectado por el ingeniero del mismo nombre junto con otros y cuya construcción finalizó en 1942 tras sufrir un parón durante la Guerra Civil. Para la construcción de este arco se descartó la cimbra de madera, que se había comenzado a utilizar, debido a su penoso estado tras la guerra. En su lugar se utilizó una cimbra formada por una estructura metálica en celosía, de instalación más sencilla, que posteriormente quedó embebida dentro del arco de hormigón formando parte de su esquema resistente y haciéndolo funcionar como arco mixto.

## Técnicas de construcción actuales

### Construir arcos

A continuación, vamos a describir algunas de las técnicas actuales de construcción de arcos, para lo cual utilizaremos ejemplos de puentes construidos por el Grupo Puentes en los últimos años.

Comenzamos por el viaducto sobre el río Narón [13] en el tramo: Agüeira – Cereixal de la Autovía del Noroeste A-6. Se trata de un viaducto doble, para calzadas separadas, con una longitud total de 450 m y vanos tipo de 47,5 m de luz. En el cruce sobre el río Narón se eliminó la pila correspondiente y se construyó un arco apuntado sobre las cimentaciones de las pilas adyacentes con 88 m de luz y 59 m de flecha, sobre el que se ubicó la pila eliminada. Es este un diseño habitual en puentes de luces medias cuando se requiere salvar un obstáculo que necesita duplicar la luz. Para la construcción de este arco se utilizó una cimbra porticada metálica, al ser viable su apoyo sobre el terreno, con apuntalamientos horizontales en celosía y encofrados deslizantes (Figura 71.).



Figura 71. Viaducto sobre el río Narón



Figura 72. Viaducto de Cieza

Sin embargo, no es este sistema de cimbrado el más habitual de construcción de arcos. El viaducto de Cieza de 141 m de luz en el tramo Torrelavega - Aguilar de Campoo de la Autovía Cantabria – Meseta, se construyó con elementos prefabricados, tanto las vigas del tablero como las dovelas del arco. Para la construcción del arco se utilizó el sistema de avance en voladizo simultáneo con el montaje del tablero mediante triangulación con perfiles metálicos entre ambos elementos. De esta forma se va generando una gran viga triangulada en cuya fibra superior trabaja el tablero a tracción y cuya fibra inferior la constituye el arco comprimido (Figura 72.). Las vigas del tablero y las dovelas prefabricadas del arco fueron colocadas con un lanzador de vigas apoyado en el tablero. Se trata de un sistema constructivo muy eficaz, pues minimiza los medios auxiliares al realizarse el avance de la construcción desde la propia estructura construida.

La luz de 261 m del arco del viaducto sobre el embalse de Contreras [7] exigió para su construcción un sistema de atirantamiento provisional desde torres auxiliares. Este arco materializa el cruce de Línea de Alta Velocidad Madrid - Castilla la Mancha - Comunidad Valenciana - Región de Murcia, en su tramo Embalse de Contreras - Villargordo del Cabriel sobre dicho embalse. Fue necesaria la construcción de dos pilas provisionales de hormigón armado por debajo del arco bajo las pilas primera y última definitivas, así como dos torres de estructura metálica para anclar los tirantes provisionales. Mediante este sistema de atirantamiento, que constituye en sí un auténtico puente atirantado temporal, se construyó el arco por avance en voladizo con dovelas hormigonadas in situ de manera simétrica desde ambos arranques, previamente a la construcción del tablero (Figura 73.).



Figura 73. Viaducto sobre el embalse de Contreras

El procedimiento de avance en voladizo también se utilizó para la construcción del arco del viaducto sobre el río Ulla [8] [9] del tramo Lalín – Santiago del Corredor Norte – Noroeste de Alta Velocidad situado junto al puente de Gundián. Este arco de 180 m de luz y 120 m de flecha, que puede ser apreciado en toda su magnitud desde el mirador de Gundián, se construyó con dovelas de hormigón *in situ* y avance en voladizo, atirantando con cables desde las pilas y el tablero que se iban ejecutando previamente (Figura 74.). El tablero se construía de manera simultánea vano a vano con autocimbra, sistema que trataremos más adelante. Para el hormigonado de las dovelas del arco se utilizó un carro de dovelas con estructura portante inferior.



Figura 74. Viaducto sobre el río Ulla

Para arcos de menores dimensiones como los utilizados para duplicar la luz en viaductos de luces medias al eliminar una de las pilas, se han empleado dos procedimientos novedosos basados en el izado y abatimiento de semiarcos [13].

Mediante el sistema de izado de semiarcos se construyeron los arcos del viaducto de doble calzada sobre el Barranco de la Cuesta en el tramo Almuñecar (La Herradura) - Almuñecar (Taramay) de la Autovía del Mediterráneo N-340 de Cádiz y Gibraltar a Barcelona. Cada uno de los semiarcos de este arco de 106,5 m de luz se hormigonó sobre una cimbra apoyada en el terreno en posición horizontal fijando su base a la cimentación mediante una rótula. Posteriormente se elevaba mediante izado con cables hasta su posición definitiva girando el semiarco alrededor de la rótula (Figura 75.). Una vez elevados ambos arcos se hormigonaron las rótulas de los arranques para su fijación, así como la dovela de clave sobre la que se construyó la pila central.



Figura 75. Viaducto sobre el Barranco de La Cuesta Teixeira

Este procedimiento, sin embargo, no ha sido utilizado de manera tan habitual, por requerir mayores plazos y medios auxiliares (cables y esfuerzos de tesado), así como una mayor ocupación del terreno con la cimbra, como el proceso de abatimiento de arcos. El arco del viaducto de Teixeiras en el tramo Portocamba – Cerdedelo del corredor Norte - Noroeste de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Galicia tiene 132 m de luz y 100 m de flecha y fue construido por este procedimiento. Para ello cada semiarco se construyó junto a la pila adyacente, con la que comparte cimentación, en posición casi vertical mediante encofrados trepantes de los utilizados habitualmente en la construcción de pilas y fijando su base a la cimentación mediante una articulación. Una vez terminado cada semiarco se abatía girando sobre la rótula de su base mediante unos tirantes anclados a las pilas traseras (Figura 76.). Se trata de un sistema constructivo rápido y eficaz que minimiza los medios auxiliares necesarios y optimiza los plazos de ejecución, de manera que la maniobra completa de abatimiento de ambos semiarcos se puede llegar a hacer en una sola semana.



Figura 76. Viaducto de Teixeiras

#### Avance en voladizo

Aunque ya se ha descrito en parte el procedimiento de avance en voladizo para la construcción de arcos, en este apartado veremos su aplicación en la construcción de tableros de puentes.

El medio auxiliar por excelencia utilizado en el proceso de avance en voladizo de dovelas in situ es el carro de dovelas [13]. Básicamente consiste en una estructura metálica que se ancla en el extremo del tablero ya construido y que soporta los encofrados de la nueva dovela a construir, cuya longitud máxima típica suele ser de unos 5 m. El carro de dovelas se mueve mediante un sistema hidráulico de empuje que permite su desplazamiento a lo largo de unas guías situadas en el paramento superior del tablero.

Mediante este sistema se construyó el viaducto sobre el Río Chiche correspondiente a la fase II de la Ruta Viva en el Sector Puembo en Ecuador. Se trata de un viaducto con un vano principal de 174,7 m sobre una quebrada de unos 130 metros de profundidad que apoya en las abruptas laderas mediante sendas células triangulares ancladas en los estribos. Tras la construcción de los estribos y las células triangulares con sus pilas inclinadas se construyó el tablero desde ambas márgenes por avance en voladizo mediante carros de dovelas (Figura 77.).



Figura 77. Viaducto sobre el río Chiche

Con este mismo sistema, pero desde las dos pilas principales de manera simétrica se construyó el puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional N° 32 de Costa Rica. Se trata de un puente de 285 m de longitud, 14,3 m de ancho y 85 m de altura de pilas que duplica la calzada de otro puente existente también construido por voladizos sucesivos. En el nuevo puente se eliminó una de las alineaciones de pilas aumentando la luz del vano principal a 129,75 m. Mediante este sistema constructivo los voladizos se comienzan a construir desde las dovelas de cabeza de pila simétricamente hacia ambos lados para no producir esfuerzos excesivos desequilibrados sobre la pila, por eso este método se conoce como “balanced cantilever system”. Una vez finalizados los voladizos del vano principal desde las dos pilas se procede a hormigonar la dovela de cierre en el centro del vano.

El vano principal del puente del Navío sobre la bahía de Algeciras en el Tramo Marítimo del Acceso Norte al Puerto con 125 m de luz también se construyó con dovelas hormigonadas in situ mediante este procedimiento (Figura 78.).

En el caso del viaducto de Rules en el tramo Izbor - Vélez de Benaudalla de la Autovía de Granada N-323 de Bailén a Motril, el vano principal de 140 m de luz y 23,8 m de ancho se construyó mediante carro de dovelas por voladizos sucesivos. En este caso, dado el ancho tan importante del tablero, sólo se construyó con este procedimiento el núcleo central de la sección cajón. Posteriormente mediante otro medio auxiliar se completó el ancho del tablero utilizando para ello jabalcones de hormigón prefabricados sobre los que se hormigonaba la losa superior sobre prelosas prefabricadas.



Figura 78. Puente del Navío

#### La construcción vano a vano con cimbra autolanzable

Una cimbra autolanzable o autocimbra [10] es un medio auxiliar que permite construir tableros de hormigón postesado vano a vano, es decir, por vanos completos avanzando de un vano al siguiente apoyándose en las pilas ya construidas [13]. De esta forma se independiza la construcción respecto de la altura del tablero sobre terreno, siendo un sistema apto para vanos desde los 35 a los 80 m y óptimo para luces de 50 a 55 m en las que se alcanzan rendimientos de construcción de un vano por semana. La cimbra autolanzable consiste en unas estructuras metálicas tipo cercha en celosía que soportan los encofrados del tablero y que a su vez transmiten la carga a los anillos o estructuras auxiliares de apoyo en los fustes de las pilas a modo de ménsulas laterales. Los anillos pueden ser de dos tipos: anillos de barras, cuando se atan a la pila mediante barras de pretensado, o anillos de bielas cuando cuelgan de la coronación de la pila mediante bielas biarticuladas que trabajan a tracción. Las juntas de construcción se sitúan a distancias de un quinto de la luz desde el eje de pilas, pues es en estas secciones donde los esfuerzos de flexión son menores, por lo que la pauta habitual de construcción será de cuatro quintos de un vano y un quinto del siguiente.

Mediante este medio auxiliar y su procedimiento constructivo asociado se han construido numerosos viaductos tanto para ferrocarril, destacando la alta velocidad, como para carretera en diferentes países.

En Polonia se construyeron los viaductos del tramo Węzeł Walichnowy - Węzeł Wrocław de la autopista S8. Entre ellos el viaducto ES-5.5 de 943,4 m de longitud y doble calzada, en el que se combinó el sistema de voladizos sucesivos para el vano de 100 m de luz con la cimbra autolanzable para los vanos de 44 y 55,6 m de luz (Figura 79.).



Figura 79. Viaducto ES 5.5 (Polonia)

En Portugal se construyeron también con este sistema los tres viaductos ferroviarios sobre las Riberas de La, Can Cao (Figura 80.) y Varche en el tramo Alandroal - Linha do Leste de la Nueva Línea Ferroviaria entre Évora Norte e Elvas / Caia. Se trata de viaductos de 35 m de luz con sección maciza de hormigón postesado.



**Figura 80.** Viaducto sobre la Ribera de Can Cao

Este sistema es especialmente recomendable para viaductos de gran longitud como el viaducto do Eixo en el tramo Lalín – Santiago del Corredor Norte - Noroeste de Alta Velocidad entre Orense y Santiago de Compostela, con 1.226,4 m de longitud y vanos tipo de 50 m de luz con sección cajón monocelular de hormigón postesado (Figura 81.).



**Figura 81.** Viaducto do Eixo

Es importante indicar que se trata de un sistema versátil para adaptarse a circunstancias especiales de apoyo en las pilas, como fue el caso del viaducto sobre los arroyos de Zabaleta y Larrazabal en el tramo Elorrio – Atxondo de la Línea de Alta Velocidad Vitoria – Bilbao - San Sebastián, conocida como Y Vasca. Este viaducto, con 58 m de longitud de vano, situado en el cruce de líneas de la Y, disponía de una pila con forma de pórtico para permitir el paso de uno de los viaductos bajo el otro. Debido a la interferencia que los fustes de esta pila producían con el avance de la autocimbra hubo que diseñar un sistema específico de anillo para apoyo en la pila pórtico y adaptar las fases de avance y ejecución del tablero a dicha particularidad.

Las cimbras autolanzables se han utilizado también para tableros de gran anchura para construir únicamente el núcleo central del tablero que posteriormente se ha completado con los voladizos laterales de la sección sobre puntales o jabalcones prefabricados. Este es el caso del viaducto de Rules en el tramo Lindín – Mondoñedo de la Autovía del Cantábrico A-8, con 23,8 m de anchura de tablero y vanos de 60 m.

En el viaducto sobre el Río Deba para la nueva red ferroviaria del País Vasco en el Territorio Histórico de Guipúzkoa, con una longitud total de 900 m, construimos un vano de 80 m de luz mediante cimbra autolanzable con un riguroso estudio de las fases de hormigonado y tesado (Figura 82.).



**Figura 82.** Viaducto sobre el río Deba

### Tableros prefabricados

La construcción de tableros mediante elementos prefabricados es uno de los ejemplos más claros de que construir consiste en componer piezas grandes a partir de otras piezas más pequeñas, siendo múltiples los casos que se pueden citar [13].

En el Viaducto de Barayo en el tramo Otur - Villapedre de la Autovía del Cantábrico A-8, se utilizó una pareja de vigas cajón prefabricadas adosadas de 37 m de luz para el núcleo del tablero y posteriormente se amplió con jabalcones prefabricados sobre los que se hormigonó la losa superior mediante un carro de alas (Figura 83.). Las vigas se colocaron mediante un lanzador de vigas, medio auxiliar que se desplaza sobre el núcleo central del tablero ya construido.



**Figura 83.** Viaducto de Barayo

Otros ejemplos de construcción de viaductos con vigas prefabricadas son el viaducto del enlace de la M-40 con la carretera de Colmenar M-607 en Madrid, para el que se utilizaron vigas cajón prefabricadas curvas en planta con canto constante o canto variable para salvar vanos de hasta 55 m; o el viaducto ferroviario sobre la M-40 en Madrid para Alta Velocidad con vanos de hasta 67 m y vigas cajón de canto variable o constante (Figura 84.).



**Figura 84.** Viaducto de FFCC sobre la M-40

### Ampliación de tableros y obras singulares

Por último, quiero hablar de tres casos de ampliación de tableros y actuaciones singulares que requirieron el empleo de medios auxiliares especiales diseñados y contruidos específicamente para ellos.

La ampliación del puente atirantado de Rande [11], que permite el cruce de la autopista AP-9 sobre la ría de Vigo, fue el primer caso en el mundo de ampliación de un puente atirantado. Se construyeron dos nuevos tableros para sendas calzadas a los lados del tablero existente para las que hubo que añadir nuevos sistemas de tirantes anclados en recrecidos de los pilonos del puente existente (Figura 85.). Para la elevación de las piezas metálicas de ampliación de los pilonos, con pesos entre las 20 y 100 ton, se diseñó un pórtico auxiliar de estructura metálica en celosía que se ubicó sobre los pilonos. Para el izado de las dovelas de los nuevos tableros se utilizaron dos tipos de carros de izado, un carro inferior o carro delantero que, situado bajo el tablero antiguo, servía para elevar la dovela desde su parte delantera, y un carro superior o trasero que se apoyaba en la última dovela construida y permitía el izado de la nueva dovela desde su parte trasera.



Figura 85. Puente de Rande

Otro caso que merece la pena citar es la ampliación del Viaducto de San Pedro de la Ribera [12] en el tramo Las Dueñas – Novellana de la autovía del Cantábrico A-8, cuyo tablero fue ampliado de 12 a 23 m, también como en el caso de Rande sin cortar el tráfico (Figura 86.). Para esta ampliación, que requirió importantes refuerzos del tablero, se utilizaron tres carros diferentes diseñados para diferentes funciones:

- Carro nº 1 que, apoyado en el tablero envolviéndolo también por debajo, servía para la instalación de la estructura metálica de refuerzo compuesta por núcleo inferior mixto, travesaños y nudos.
- Carro nº 2 que avanzaba colgado de la estructura metálica de refuerzo previamente colocada en el trasdós del tablero para realizar las operaciones de tesado de las barras verticales y diagonales.
- Carro nº 3 o carro de alas que sirvió para la colocación de los jabalcones metálicos y el hormigonado de los voladizos de ampliación de la losa con hormigón ligero.



Figura 86. Viaducto de San Pedro de la Ribera

La última obra que incluimos en esta presentación es la ampliación de la Carretera N-621 de León a Santander por el Desfiladero de la Hermida en su tramo Castro Collorigo – Panes. Esta estrecha y peligrosa carretera discurre por un enclave singular excavado en los Picos de Europa por el río Deva. Las obras, que están en marcha en este momento, consisten en la ampliación de la plataforma con ancho variable hasta los 5,5 m mediante diferentes soluciones, la mayoría basadas en costillas prefabricadas que vuelan sobre el río (Figura 87.) y sobre las que apoya una losa hormigonada sobre prelasas también prefabricadas. El conjunto se cimenta por medio de micropilotes ejecutados en la plataforma actual, realizándose todas las operaciones sin cortes completos de tráfico.



**Figura 87.** Ampliación del Desfiladero de La Hermida

En esta obra también ha sido preciso ampliar la plataforma de la carretera sobre puentes bóveda de piedra existentes. Para ello se construyeron nuevos tableros pretensado y nuevos estribos cimentados con micropilotes. Estos tableros se hormigonaron desplazados de su posición, sobre el río con cimbra porticada (Figura 88.), para evitar transmitir su peso a la bóveda existente, y posteriormente se riparon sobre ella, de manera que resistieran la totalidad de las cargas de la carretera ampliada preservando la bóveda con su estado original y aliviándola de las cargas del tráfico.



**Figura 88.** Ampliación sobre bóveda en el Desfiladero de La Hermida

## Referencias

- [1] Perronet, Jean-Rodolphe (1782). La construcción de puentes en el siglo XVIII. Instituto Juan de Herrera. CEDEX
- [2] Eiffel, Philippe Couperie (2013). Eiffel por Eiffel. Plataforma Editorial S.L.
- [3] Wills, Elspeth M. (2009). The Briggers: The Story of the Men Who Built the Forth Bridge. Birlinn.
- [4] Billington, David P (1991). Maillart and the Salginatobel Bridge. Structural Engineering International, 1/1991
- [5] Fernández Ordoñez, Jose A. (2013). Eugène Freyssinet. Editions du Linteau
- [6] Castellón, F.; Villalba, C.; Salazar, A.; Torroja, E. (1942). Viaducto Martín Gil. Revista de Obras Públicas 90 y 91.
- [7] Manterola, Javier; Martínez, Antonio; Navarro, Juan A. (2012). Puente arco de ferrocarril sobre el embalse de Contreras en la línea de alta velocidad Madrid-Levante. Revista Hormigón y Acero. Volumen 63, nº 264. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)
- [8] Del Valle Pérez, J. A.; Carriazo Lara, A. (2010). Viaducto sobre el río Ulla. Revista Hormigón y Acero. Volumen 61, nº 258. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)
- [9] Barreiro Rivas, Xosé Luis; Ínsua López, Emilio Jose; Otero Alonso, Jose Manuel; Porteiro García, M<sup>a</sup> José. (2011). El puente siempre se queda el río siempre se va: el viaducto del AVE sobre el Río Ulla. Grupo Puentes
- [10] Manual de cimbras autolanzables (2015). SEOPAN. Tornapunta Ediciones
- [11] Bernardo, Héctor; Consuegra, Juan José; Tarquis, Felipe; Lucas, Conchita; Otero, Fátima (2022). Ampliación del puente de Rande. Proceso de montaje del nuevo tablero. Revista Hormigón y Acero. Volumen 73, nº 298. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)
- [12] Torroja Cavanillas, Jose A.; Simón-Talero Muñoz, Jose. M.; Hernández Gayo, Alejandro; Navarro Manso, Antonio (2011). Ampliación del viaducto de San Pedro de la Ribera. Revista Hormigón y Acero. Volumen 62, nº 260. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)
- [13] Barreiro Rivas, Xosé Luis (2007). Menos muros y más puentes. La ingeniería y la construcción del espacio civilizado. Galaxia Editorial

## El puente metálico en el siglo XIX. Nuevos conceptos en el arte de la construcción

Inmaculada Aguilar Civera

### **Mirar la construcción metálica. un objetivo**

A finales del siglo XVIII la nueva ciencia de la construcción se basa en el nuevo saber mecánico, en la utilidad y en la economía. Estos serán los pilares en los que se asienta el trabajo del ingeniero centrandolo su pensamiento en la racionalidad constructiva. En este mismo periodo, un nuevo material aparece en escena. El hierro y el acero en la construcción provocan el nacimiento de una nueva era. Elementos lineales, tirantes, soportes, entramados completos, grandes arcos, son algunas de las muchas posibilidades que nos aporta el nuevo material. Estos elementos conseguían una luz y capacidad de carga muy superior a lo realizado con anterioridad. Se va creando una nueva ciencia que investiga, analiza, y ante todo pone en practica una serie de estructuras que demostraron su eficacia, siendo patentadas, repetidas y reconocidas por su idoneidad. En ellas veremos la imagen de la innovación, de la experiencia, del artefacto utilitario, del espíritu mecánico y científico, del equilibrio de las formas estructurales.



**Figura 89.** Puente de Sariñena, ferrocarril Zaragoza a Pamplona y Barcelona. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.

Fue un material fundamental tanto para las nuevas obras públicas, (puentes, viaductos, estaciones de ferrocarril, muelles, faros), como para los nuevos servicios ciudadanos, (mercados, mataderos, pabellones de exposición, invernaderos, mobiliario urbano, etc.), que tan magníficos ejemplos ha dejado en nuestro patrimonio. Al analizar su carácter nos aproximaremos a la revolución industrial y la era mecánica.

Al igual que en la construcción de máquinas, la construcción metálica, asumirá los nuevos conceptos propios de la revolución industrial, como la seriación, la intercambiabilidad de las piezas, la compatibilidad, la normalización, el ensamblaje, la estandarización, etc. Características, a las que vamos a dedicar esta clase, y a través de ellas observaremos su valor estético y patrimonial como reflejo del pensamiento y de los flujos de una época determinada, la era de la industrialización.

Quisiera apuntar las fuentes bibliográficas que me dirigieron, hace años, a mirar la construcción metálica con un pensamiento más contemporáneo. Las obras de Herbert Read, “*Arte e industria*”, de 1934; el libro de Francis Klingender, “*Arte y revolución industrial*” de 1947; el de Siegfried Giedion, sobre todo “*La mecanización toma el mando*” de 1948; el de Lewis Mumford, “*Arte y técnica*”,

de 1951; el de Pierre Francastel, “*Arte y técnica en los siglos XIX y XX*” de 1956. También fueron importantes los textos de pensadores del último cuarto de siglo, como el de Marc Le Bot, “*Pintura y maquinismo*” de 1979; el de Enrico Castelnuovo “*Arte, industria y revolución*” de 1985; el de Ezio Manzini “*Artefactos*”, en 1991, entre otros muchos. Reflexiones que tuvieron como resultado un libro titulado “*Arquitectura industrial. Concepto, método y fuentes*”, publicado en 1998 (Aguilar, 1998). El objetivo de estas investigaciones era observar, analizar, la influencia de la industrialización en todas las ramas artísticas.

### El puente y la imagen de progreso

Podemos observar que durante este periodo el hierro fue sinónimo de progreso, siendo ésta su imagen más general y aceptada, al menos en el pensamiento del ingeniero. Eduardo Saavedra, en 1861, en un artículo de la Revista de Obras Públicas, (Saavedra, 1861: 29) relacionaba claramente el hierro y el progreso técnico e industrial:

*El hierro ha llegado a ser el más poderoso elemento de progreso para todas las industrias, y el arte de la construcción se puede decir que vive sólo de esta materia, que se encuentra en las herramientas, en las máquinas, en los buques, en los ferrocarriles y en los puentes, y el negro color de este metal, en lugar de despertar las tristes ideas que hacía concebir cuando su destino preferente era para forjar cascos y espadas, nos induce a pensar en los indefinidos adelantos de la civilización en el más alto sentido (...).*

En 1861, Lucio del Valle centró su discurso para su recepción en la Real Academia de Ciencias, en el hierro como material de construcción, su fabricación, sus ventajas e inconvenientes (Valle, 1861). Para Lucio del Valle, el hierro imprimía un claro carácter a las construcciones modernas. Como ejemplo de éstas describe el puente (tubular) de Britannia sobre el estrecho de Menai (ferrocarril de Chester al puerto de Holyhead) obra de Robert Stephenson, inaugurado en 1850. Puente a 30’50 m sobre el nivel del mar, formado por cuatro grandes tramos, de 70 m de luz los de los extremos y 140 los dos centrales. El segundo ejemplo es el puente Victoria sobre el río de San Lorenzo en Montreal, Canadá. Proyectado de nuevo por Stephenson para el ferrocarril Grand-Trunk. Puente de 2.789 m, cuya longitud se cubría fundamentalmente por tramos metálicos apoyados en 24 pilas y dos estribos. Los tubos tenían una longitud media de 74-75 m de luz, excepto uno de ellos que alcanzaba los 100 m. Obra que se inició en 1854 e inaugurada en 1860. Para Lucio, la solución de concebir un largo tubo rígido de planchas de hierro, era el resultado de diferentes experiencias, ensayos, pues no existían fórmulas para el cálculo de resistencia de una obra de tales dimensiones. Para Lucio era una innovación resultado de ciertas intuiciones, experiencias, incluso atrevimientos:

*Concepción original, experimentos numerosos y concienzudos, estudio minucioso de los proyectos, ejecución atrevida y que demuestra una inteligencia superior en los diferentes ramos de la ciencia del ingeniero, tal es la historia de los puentes de Menai y de San Lorenzo. El sistema de vigas tubulares y celulares en ellos adoptado, es un bello descubrimiento; y cualquiera que sea su porvenir, aun en el caso que deba ser abandonado por innovaciones mas perfectas, su aplicación a las citadas obras permanecerá siempre como una grande enseñanza, y será otra de tantas pruebas del notable adelanto que en nuestros días ha llegado a alcanzar el empleo del hierro en las artes de construcción.*



**Figura 90.** Puente Victoria sobre el río San Lorenzo, Montreal (ferrocarril Grand-Trunk). Ing. R. Stephenson, 1859. Archivo: 92 William England.

Se observa en el texto esa imagen de progreso, de confianza hacia la técnica, de esperanza en las innovaciones. Lucio tuvo una gran visión de futuro, pues la viga tubular no fue posteriormente un sistema muy repetido, pero, indudablemente, en su momento fue una gran invención, tal como nos comenta Miguel Aguiló en su libro “*Forma y tipo en el arte de construcción puentes*”, o José Serna García en su libro “*Los puentes del tren*”, entre otros.

## Características de la construcción metálica

Si pensamos en la construcción metálica de un puente, como de una estación, un faro, un mercado, un muelle, observamos que se rigen a través de tres nuevos factores de la era mecánica, factores que surgen de la ciencia, de la propia industria y del mercado. Todas las historias pioneras de la historia de la construcción contemporánea, como las de Pevsner, Benévolo, Giedion, Tafuri, Zevi, Frampton, coinciden en definir el inicio de la contemporaneidad a través de tres aspectos: 1) la revolución industrial modifica las técnicas constructivas e introduce nuevos materiales industrializados como el hierro y el cristal; 2) la revolución industrial modifica el concepto tradicional de ciudad: nuevos servicios, nuevas tipologías, nuevos sistemas de comunicación y nuevo concepto del valor del suelo; 3) la revolución industrial estimula el espíritu científico y con el la investigación experimental, comportando como consecuencia inmediata la creación de escuelas especializadas.

### La influencia de la ciencia

La innovación forma parte del discurso de la ciencia de la ingeniería. El ingeniero era consciente de que podía ser capaz de producir estructuras absolutamente novedosas y con prestaciones hasta entonces desconocidas. Es decir, era la utilización de una técnica innovadora lo que resultaba admirable y significativo. La escala de las obras, su ligereza, su resistencia, su eficacia, su economía, será el reto de la ingeniería. Los proyectistas daban forma a estructuras de relativa gran escala y veían en ellas un medio para controlar las fuerzas de la naturaleza. Respecto a los puentes, todo se inicia en 1777 con la construcción del primer puente metálico del mundo, el puente de Coalbrookdale sobre el río Severn en Ironbridge, obra de Abraham Darby III y Thomas Pritchard, un puente cuyo esquema estructural siempre ha desconcertado. Un periodo de éxitos y fracasos. Para Miguel Aguiló es uno de los ejemplos de los cambios que se derivan de la revolución industrial (Aguiló, 1977: 61):

*La sustitución de utensilios por máquinas, la utilización del vapor como fuerza motriz, el progreso de la industria siderúrgica y tantos otros factores propician una época de innovaciones sin precedentes en la Historia. Había una especie de locura colectiva por todo lo nuevo, y existía una gran confianza en los conocimientos científicos para resolver los problemas que se presentaban constantemente en la búsqueda de nuevos resultados. Este espíritu de innovación unido a una gran confianza en el futuro fueron el sustrato que propició el desarrollo de muchas nuevas ideas, e impulso la técnica por derroteros solo presentidos hasta entonces.*



**Figura 91.** Puente de Isabel II, Sevilla. Se adopta el modelo del ingeniero Polonceau del puente Carrousel, París. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.

Nuevas innovaciones aparecieron en el puente Sunderland de 72 m de luz, proyectado por Thomas Wilson en 1796, al emplear la dovela para el arco y los anillos para el tímpano. Aparecen también los tímpanos con diagonales en el puente de Craigellachie de Thomas Telford en 1812, o los arcos de fundición formados por tubos, como el del Carrousel de Antoine-Rémy Polonceau en 1834, y un largo etcétera si tratáramos con detenimiento las vigas rectas o atirantadas, las vigas cajón, las vigas de alma llena, las vigas en celosía o los arcos biarticulados, atendiendo sólo las obras del siglo XIX (Aguiló, 2011: 71-87). Todo un proceso de innovaciones para una estructura inédita en la historia como fue el puente metálico.



**Figura 92.** Prueba de carga en el puente sistema Bow-string, sobre el río Júcar en Alzira, 1917. Cortesía Cátedra Demetrio Ribes.

Para Munford el periodo se caracteriza con los conceptos de economía, simplicidad y funcionalismo. Observa como en las obras se tiende a cierta desnudez, a cierta severidad y sencillez. Efectivamente, durante toda la era mecánica, el funcionalismo (término con muchos matices) nos habla de principios, de reglas, de método, de procesos, es decir, de pensamiento racional. En ella el mecanismo, su estructura, es transparente, se puede leer el proceso; el material es sincero en su estricta calidad; el volumen será el correcto, con sus propias características, dando como resultado una construcción “justa y bella”; así nos define la época también Ezio Manzini. La obra de ingeniería y en concreto el puente metálico es el modelo.

Estos términos se repiten una y otra vez a la hora de analizar estas construcciones metálicas, por los investigadores (Navascués, 2007: 78). La ligereza, la luminosidad, la transparencia y la economía fueron por lo tanto las virtudes de la construcción metálica. Pero todo ello necesitó de un proceso, un proceso que devino atrevido, inédito, arriesgado e innovador

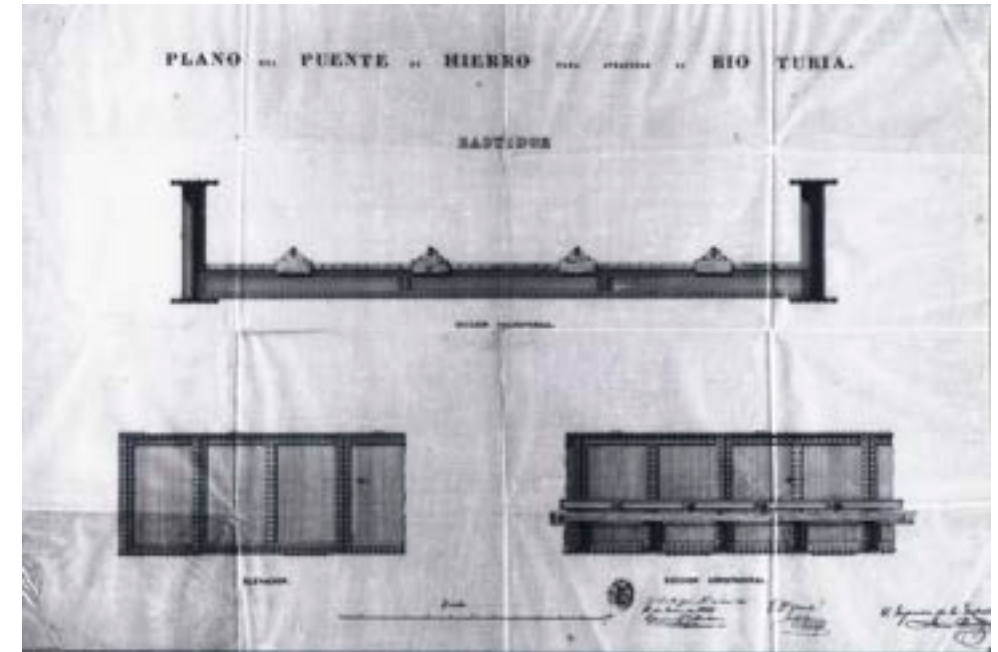
### La influencia de la industria

En segundo lugar, será la propia revolución industrial la que provocará unos nuevos conceptos vitales e ideológicos, como son la normalización, la intercambiabilidad, la compatibilidad, la facilidad de servicio, la economía. Conceptos que ya venían asumidos por la máquina. Máquina que no es sólo un dispositivo concreto o un ingenio, sino una máquina social, una organización racional de la producción.

La finalidad del libro de Giedion, *“La mecanización toma el mando”* era el mostrar modos, tiempos y consecuencias, de la introducción de elementos y formas organizativas, inspiradas en los principios mecánicos, e industriales, así como el destacar el rol predominante que la mecánica había llegado a asumir en el sistema y formas de producción y consumo.

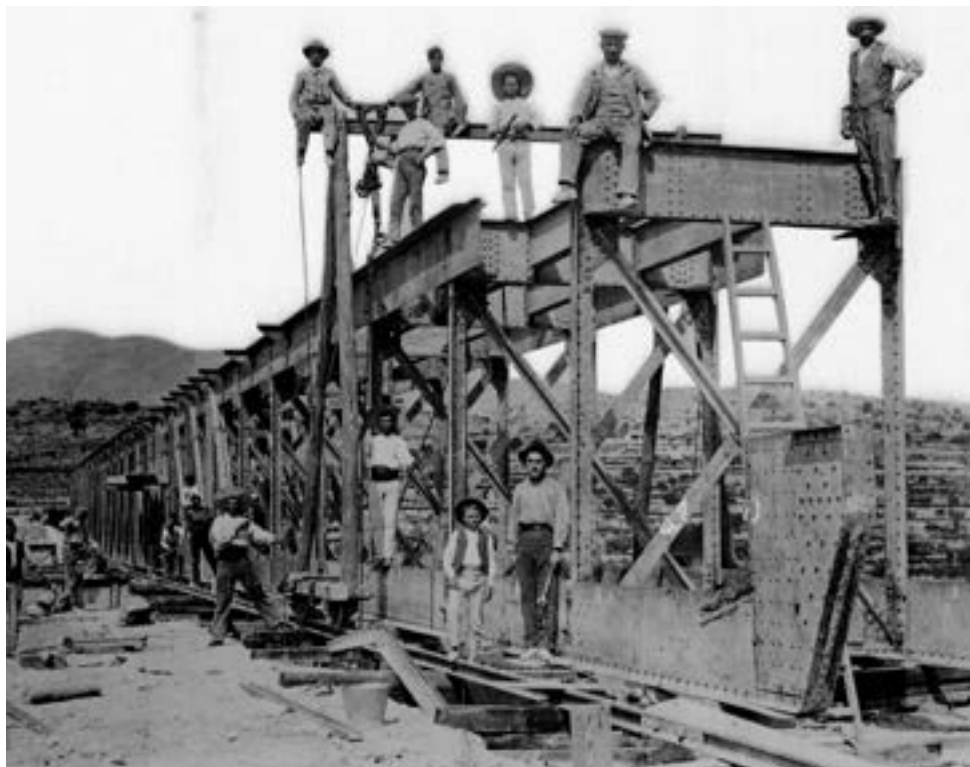
Uno de los primeros nuevos conceptos que se recogen en la construcción de finales del siglo XVIII es el de la “prefabricación”. Este concepto es claramente hijo de la revolución industrial y tiene el mismo origen que el uso de piezas intercambiables en la producción de artefactos o máquinas. La fabricación en serie de piezas, en todas sus partes y componentes, hace posible el recambio y éste es el argumento esencial del inicio de la uniformidad. La idea de economía, de facilitar un servicio, es decir, de buscar una operación más fácil, más rápida y más eficaz se refleja en todos los elementos prefabricados.

Por supuesto, el material idóneo en el siglo XIX para la nueva construcción prefabricada fue el hierro, material que empezó a reemplazar a la madera, al ladrillo y a la piedra, como consecuencia de la producción masiva y los nuevos métodos de obtención de la industria metalúrgica. El primer empleo sistemático del hierro se inició en 1770. Pero si hablamos de una tecnología científica y de una producción masiva y seriada tenemos que acercarnos a las investigaciones que se inician en Manchester a partir de 1826, por Eaton Hodgkinson y William Fairbairn y en Francia a través de Émiland Marie Gauthey y Claude-Louis-Marie-Henri Navier. La primera consecuencia de estas investigaciones fue la aparición de la viga de hierro forjado de sección en I, los laminados en escuadra o en T (Gatz y Hart, 1968: 11-12). Y, pese a que su producción fue lenta, según comprobamos en países como España o Francia, se crea un nuevo campo científico que llevó a estudiar resistencias y numerosas variantes de vigas, proporcionando nuevos conceptos de proporción y espacio. Estas nuevas vigas laminadas constituirán la base estructural de gran parte de la interesante y variada construcción metálica del XIX.



**Figura 93** Proyecto de puente de hierro, sobre el río Turia. Ferrocarril Valencia-Játiva. Ing. James Beatty, 1854. Archivo General de la Administración. Ministerio de Fomento.

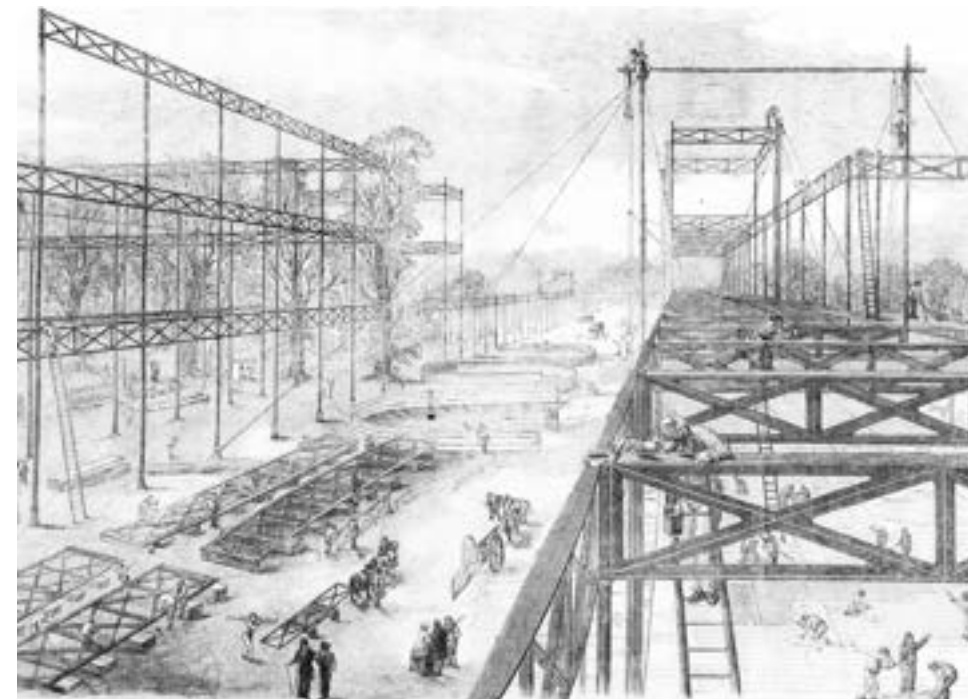
Efectivamente en esta construcción de elementos prefabricados viene implícito, generalmente, el concepto de ensamblaje. Es de nuevo la idea de economía, de reutilización. Hector Horeau, en sus escritos, nos comenta su interés por la arquitectura del hierro por ser “una arquitectura ligera, rica, incombustible, durable, extensible, policroma por la materia, móvil y fácilmente desmontable” y en cuanto a sus casas portátiles, dirá: “Son como las letras de un alfabeto con las cuales se puede componer toda suerte de discursos” (Dufournet, 1978: 150), es decir, es la flexibilidad, la variedad, y la economía de un alfabeto formado por elementos prefabricados. Era, pues, reconocido y aceptado el concepto “kit” de la construcción metálica en el siglo XIX y abundan los ejemplos de desmontaje y nuevo montaje, aprovechando elementos de otras construcciones. Este concepto de reutilización es también un deseo de economía que es posible gracias a aquellos conceptos de intercambiabilidad, adaptabilidad y compatibilidad de los elementos normalizados.



**Figura 94.** Construcción del puente de Santa Ana en Benissa. Ferrocarril Alicante-Denia, 1914. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Para Frampton el Palacio de Cristal, sede la I Exposición Universal, obra de Joseph Paxton en 1851, era un “Assemblée”, un conjunto impresionante de elementos seriados con un planteamiento racional del proceso de fabricación, de transporte y montaje. Así nos lo describe (Frampton, 1981: 34) en este breve párrafo:

*El Crystal Palace no era tanto una forma particular como un proceso de construcción puesto de manifiesto como sistema total, desde su concepción inicial, fabricación y traslado hasta su erección y desmantelamiento final. Su formato general estaba estructurado alrededor de un módulo básico de 2'44 m, montado en una jerarquía de luces estructurales que variaban desde 7'31 hasta 21'95 m. Su realización que apenas exigió cuatro meses, fue simple cuestión de producción en serie y montaje sistemático.*



**Figura 95.** Construcción del Palacio de Cristal, Londres, 1851, en K. Frampton, *Modern Architecture: A Critical History*, 1980.

Era un concepto muy asumido para la construcción de puentes, faros, muelles, etc. Según Leonce Reynaud, “Inspecteur General des Ponts et Chaussées”, autor de un famoso Tratado de Arquitectura (1850) y director del libro titulado “*Les Travaux Publics de la France*”, (1883), el hierro en puentes con respecto a los de fábrica tenían varias ventajas: eran económicos, de fácil y rápida ejecución, eran desmontables, no necesitaban mano de obra especializada y podían construirse en cualquier lugar, incluso en lugares con ausencia de materiales en sus alrededores (Reynaud, 1883: 68-69).

La primera norma de estos ingenieros fue la de construir estructuras cada vez mayores siempre con menos material, buscar los límites de la estructura y nuevas formas que conllevaran ligereza y alarde de esbeltez.



**Figura 96.** Puente de Embid, carretera de Madrid a Zaragoza. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.

Para Saavedra, como ejemplo del pensamiento de la época, la ventaja del hierro era su economía. Una economía basada en la facilidad de transporte y de montaje, en la baratura y rapidez en la fabricación y por último, en sus grandes posibilidades para atravesar extensas corrientes y profundos abismos (Saavedra, 1893: 81).

*La ciencia del Ingeniero, apreciando las facilidades que para el transporte y el montaje ofrece dicho material, con las muy atendibles condiciones de baratura y rapidez en la fabricación, que también le acompañan, se ha apoderado de él dedicándole hace unos cincuenta años en otros países y algo menos en el nuestro, a la construcción, entre otras obras, de las necesarias para atravesar extensas corrientes o salvar profundos abismos, sin que hayan sido motivo de arredro ni la importancia de aquellas, ni la casi inconmensurable altura de éstos.*

Este párrafo pertenece a un texto, poco conocido de Saavedra, que fue incorporado como propuesta definitiva para el texto oficial de la Real Orden de 1893 sobre el reconocimiento de resistencia de los puentes metálicos. El texto redunda en las ventajas del material: resistencia, diversidad de formas a las que se presta, la facilidad del ensamblaje y empalmes en su ejecución, la anulación o disminución de empujes, que evitan estribos de gran espesor, y, en resumen, la economía de tiempo y dinero. Entre las desventajas se cita: las dilataciones y contracciones, la influencia magnética, la oxidación o las vibraciones ocasionales (Ministerio de Fomento, 1893: 81-87).

#### La influencia del mercado

En tercer lugar, el mercado. Uno de los cambios más importantes de la revolución industrial es también una cuestión de cantidad frente a una posible calidad artesanal. La producción masiva de cualquier objeto, material, máquina, artefacto, es la finalidad de cualquier empresa. Producción que debe entrar en un mercado para completar su ciclo. El mercado es por lo tanto un factor decisivo para conseguir unos claros beneficios en la empresa. El mercado, a su vez, será cada vez más competitivo. La empresa deberá comprometerse con un comercio, donde identidad, control de calidad, previsión anticipada de la acción serán sus aspectos relevantes. Nace el catálogo comercial, los sistemas patentados, los modelos, la construcción estandarizada o tipificada.

Es importante incidir que para llegar a estos soportes de difusión hay que atender al progreso de los sistemas de representación, es decir a los estudios de la geometría descriptiva, a las investigaciones de Gaspar Monge y sus discípulos a lo largo del siglo XIX, consiguiendo la representación de un objeto tridimensional en las dos dimensiones de una lámina. En 1816, Navier comentaba como se había simplificado la ciencia de la construcción al poder disponer de antemano de recursos científicos que posibilitaban afrontar técnicamente y correctamente muchos problemas constructivos. Según Nervi, con ello la ciencia de la construcción se había democratizado y popularizado el hecho estático.

En este punto, creo que es necesario introducirnos en el mundo extenso y desconocido, por la dificultad de encontrar esta documentación, del catálogo comercial. Lógicamente la producción masiva de elementos de construcción seriados y estandarizados necesitaban salir al mercado y el mejor método fue el catálogo.

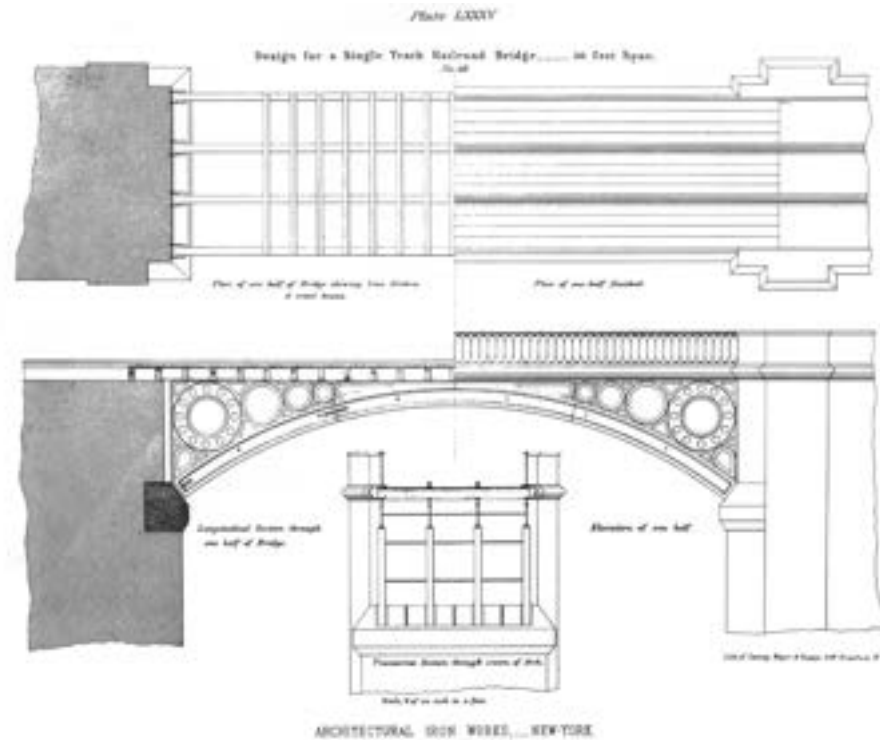


Figura 97. Catálogo de D. Badger&C<sup>o</sup>, *Architectural iron Works, New-York*, 1865. Plancha LXXXV, modelo puente ferrocarril.

Con la catalogación se llega a un orden, a un control, a una selección bien por categorías, bien por propiedades, bien por dimensiones, bien por formas y todo ello, no solo, viene implícito en el concepto de normalización, sino también en el concepto de mercado. Facilitan el servicio y la economía del cliente o comprador y pueden, con antelación, prevenir el resultado de la obra. Incluso se puede plantear la intercambiabilidad y compatibilidad de elementos, aportando gran variedad según la elección de modelos.

También podemos observar que en el mercado de la construcción, en muchas ocasiones, nos proponían estructuras completas, sistemas, constituidos por elementos prefabricados pero resueltos en un diseño global, un sistema completo. Ello tiene relación con las numerosas innovaciones tecnológicas que se patentan y entran en un mercado abierto como las vigas articuladas Pratt, Warren, Whiple, Linville, Post, Bollman, Fink, etc. Un proceso especialmente americano de enorme éxito (Aguiló, 2008: 124-128). La patente vendía un “producto”, un sistema estructural con unas características ya definidas y certificadas, de tal forma que la invención accedía a la protección intelectual en un mercado ilimitado.

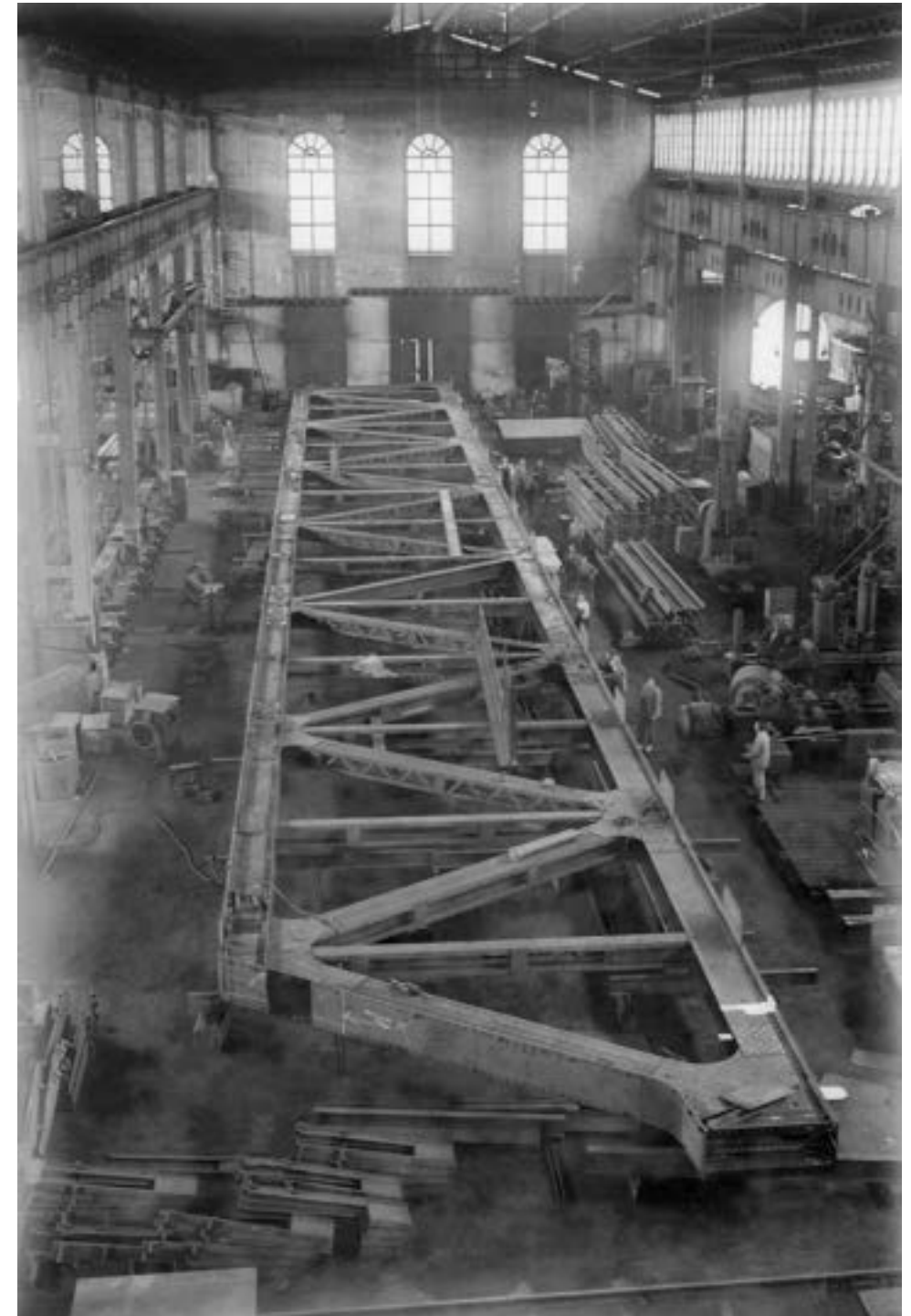
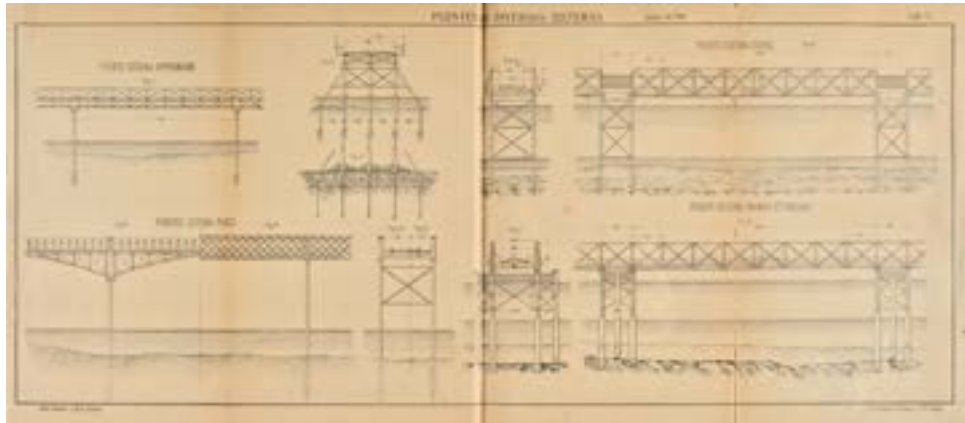
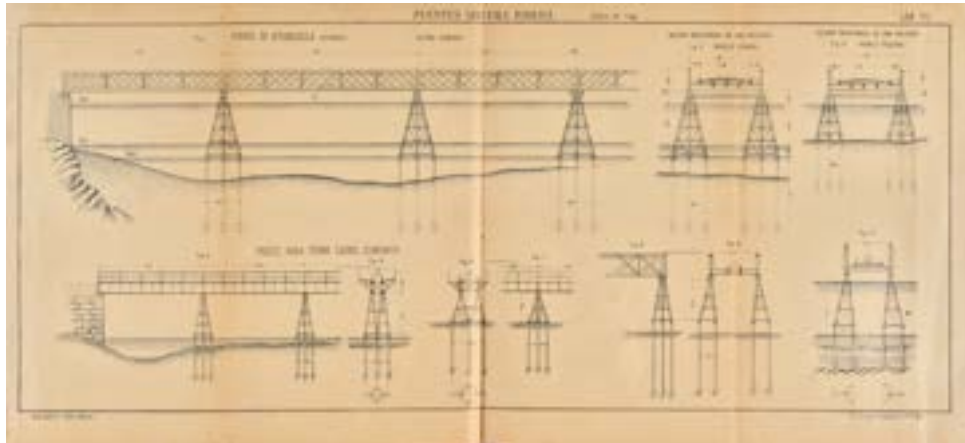


Figura 98. Taller de la empresa siderúrgica Sociedad Altos Hornos del Mediterráneo, Sagunto, ca.1947. Archivo de Altos Hornos del Mediterráneo S.A. de Sagunto.



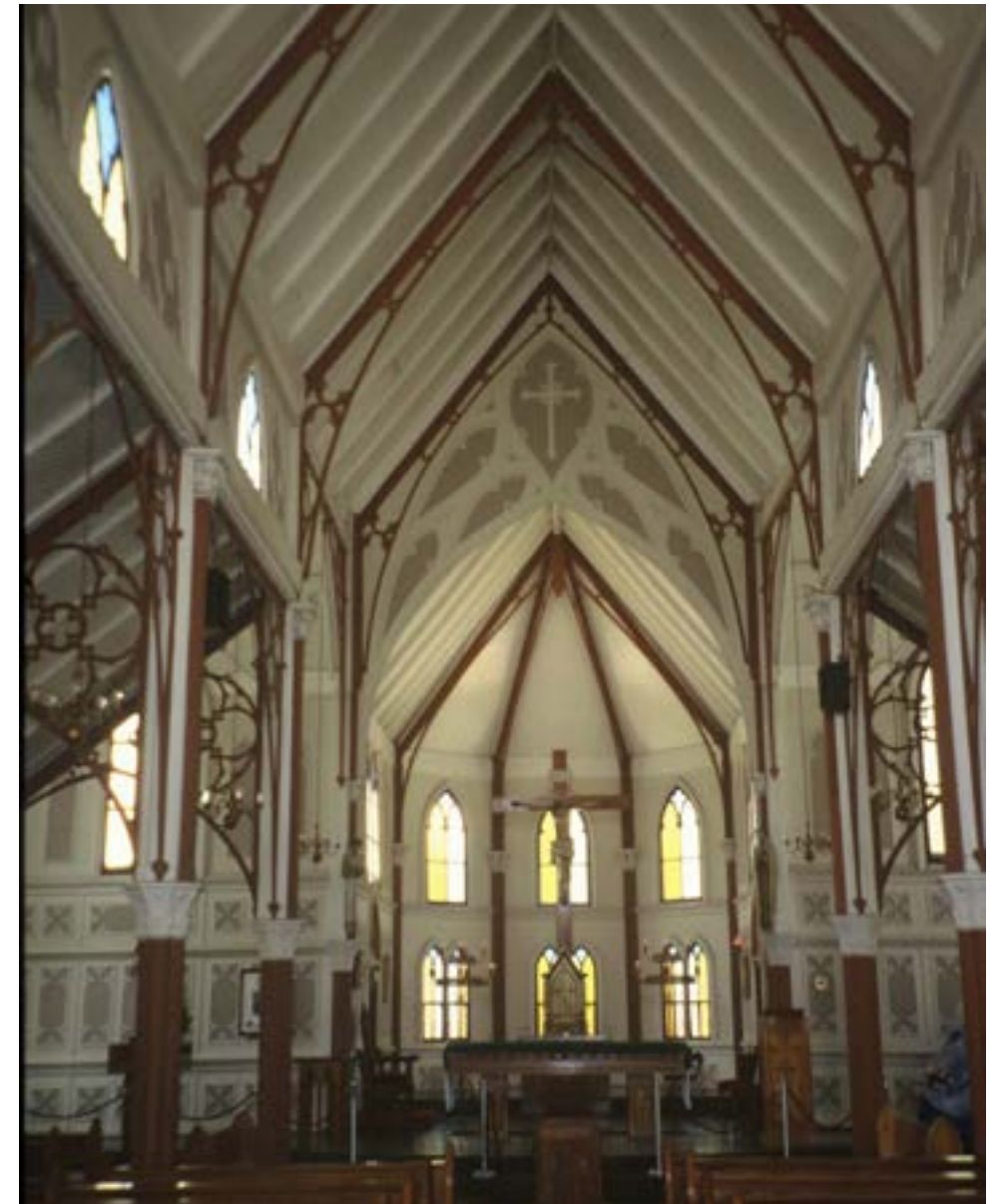
**Figura 99.** Puentes de diversos sistemas en J. Eugenio Ribera, Atlas del libro *Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos*, 1895. Lámina VI.



**Figura 100.** Puentes sistema Ribera en J. Eugenio Ribera, Atlas del libro *Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos*, 1895. Lámina VII.

Por ello, hubo sistemas estructurales para puentes y viaductos, entre los cuales podemos citar el sistema Oppermann, sistema Pozzi, sistema Thomas et Foucart, o en España el sistema Ribera, sistemas que fueron recogidos en el Atlas del libro de José Eugenio Ribera sobre “*Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos*”, publicado en 1895. Muchos de estos sistemas posibilitan una construcción repetitiva, tipificada, estándar, cuyo principio de economía y facilidad de servicio era de nuevo la base. Así, se introdujo en el mercado un variado sistema de puentes prefabricados y desmontables (hacia 1880). Entre los más famosos podemos citar los del sistema Vergniais, y los más conocidos, los del sistema Eiffel (Lemoine, 1986: 40, 70-71). Estos puentes portátiles, eran proyectados y construidos, a modo de ensamblajes, para su transporte marítimo o terrestre y para su montaje rápido con mano de

obra no especializada. Todas las revistas técnicas recogieron esta innovación. Así, la Revista de Obras Públicas, en 1884, publicó las últimas noticias referidas a los puentes portátiles de acero construidos y patentados por Gustave Eiffel, explicando el sistema. El artículo destacaba la rapidez de ejecución, la facilidad de montaje con siete modelos de piezas y dos tipos de tornillos, y su rigidez por el material empleado, el acero Martin Siemens.



**Figura 101.** Iglesia de Santa Mª de Arica, Chile, ca. 1880. Modelo portátil de la empresa de G. Eiffel. Colección I.A.

Pero a su vez, hay que observar que el objetivo que origina este nuevo concepto, no sólo está relacionado con la propia industria de la construcción, sino que es concebido como una inversión en el mercado, fundamentalmente colonial. Este principio fue aplicado al largo fenómeno de la exportación de puentes e incluso edificios (desde fábricas a iglesias) con destino a las colonias, pero igualmente se vendieron y utilizaron en países como Italia, Rusia, Vietnam, Senegal, etc.

### Fragilidad patrimonial de la construcción metálica

Desde el punto de vista de la historiografía artística, la llegada primero del hierro y el acero, y algo después del hormigón armado, interrumpió un proceso tradicional en cuanto a los criterios empleados para su valoración. La ruptura ya existente entre obra artística y obra utilitaria a partir de mediados del siglo XVIII, se hace más patente. Muchos de los monumentales puentes de fábrica fueron estudiados e investigados por historiadores formando parte de nuestra Historia del Arte. Pero el puente metálico, debido a los nuevos materiales, a sus peculiares características y a las nuevas atribuciones del ingeniero, desaparece como objeto de estudio en la clásica historiografía artística. Los vacíos en este sentido fueron realmente importantes (Aguilar, 2006). Sólo a partir de los años setenta del siglo XX, se empieza a valorar la llamada construcción del hierro, introduciendo en nuestro ámbito de estudio, estaciones, mercados o puentes (Aguilar, 1988). Partimos, pues, de la evidencia de que en la construcción metálica, al ser un proceso derivado de la producción industrial, ha sido difícil introducir el concepto de monumentalidad, de conservación, de patrimonio, de memoria histórica en estos elementos.



**Figura 102.** Puente de las Cellas (1860), derribado durante la guerra civil. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.

La estrategia, la desidia, la reparación, lo público, son conceptos manejados desde hace siglos ante el devenir de estas obras de utilidad pública como los puentes, los cuales fueron reparándose, reconstruyéndose, sustituyéndose, arruinándose, según las circunstancias, las necesidades y las posibilidades económicas del momento (Aguilar, 2012). Son muchos los ejemplos que podríamos citar en la historia del puente metálico. Muchos desaparecidos, otros transformados y algunos conservados.



**Figura 103.** Puente de Pino o de Requejo, 1897-1914. Obra del ing. J. Eugenio Ribera, reconocida por su novedosa estructura, ligereza y elegancia. Cortesía Fundación Miguel Aguiló.



**Figura 104.** Puente de hierro en Zaragoza o puente de Ntra. Sra. del Pilar. En 1991 el ingeniero Javier Manterola se encarga de la restauración del puente, repara su estructura y añade dos tableros laterales en forma de arco para el tráfico rodado. Cortesía Fundación Miguel Aguiló.

Por ello debemos plantear unos nuevos criterios al analizar patrimonialmente una construcción metálica del siglo XIX (Aguilar, 2019). Pues es evidente, que nos encontramos en plena era mecánica, en plena era industrial. Periodo que ha revestido a la ingeniería de unas nuevas características propias, producidas por la influencia de la industrialización y las posibilidades del nuevo material, el hierro. Características, que hemos intentado reflejar en esta ponencia, y que son representativas de una época determinada. En ellas debemos ver ese nuevo factor estético y artístico que revalorizará la obra.

## Referencias

- [1] Aguilar Civera, Inmaculada, (1988), *La estación de ferrocarril. Puerta de la ciudad*, Valencia, Generalitat Valenciana.
- [2] Aguilar Civera, Inmaculada, (1998), *Arquitectura industrial. Concepto, método y fuentes*, Valencia, Diputación de Valencia.
- [3] Aguilar Civera, Inmaculada, (2006), “Patrimonio de la Obra Pública: Origen y evolución (1800-1933)” en I Congreso Internacional de Patrimonio e Historia de la Ingeniería. Ponencias. Las Palmas de Gran Canaria, CICOP, pp. 121-158.
- [4] Aguilar Civera, Inmaculada, (2012), *El discurso del ingeniero en el siglo XIX. Aportaciones a la Historia de las Obras Públicas*, Madrid, Fundación Juanelo Turriano-Generalitat Valenciana.
- [5] Aguilar Civera, Inmaculada, (2019), “Una aproximación al concepto de patrimonio técnico: la obra pública”, en M. Silva (dir.) *Técnica e ingeniería en España, IX. Trazas y reflejos culturales externos (1898-1973)*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico, Prensas de la Universidad de Zaragoza, pp. 419-462.
- [6] Aguiló Alonso, Miguel, (1977), “Un viaje por viejos puentes”, *Hormigón y acero*, nº 123, pp. 61-81.
- [7] Aguiló Alonso, Miguel, (2008), *Forma y tipo en el arte de construcción puentes*, Madrid, ABADA editores.
- [8] Castelnuovo, Enrico, (1988), *Arte, industria y revolución*, Barcelona, Península.
- [9] Dufournet, Paul, (1978), “Quelques aspects essentiels de l’oeuvre d’ Hector Horeau” *Hector Horeau 1801-1872, catálogo de la exposición*, París, 1978.
- [10] Frampton, Kenneth, (1980), *Modern Architecture: A Critical History*, Thames & Hudson, London. Tr. *Historia Crítica de la Arquitectura Moderna*, Barcelona, Gustavo Gili, 1981.
- [11] Francastel, Pierre, (1956), *Art et Technique aux XIX et XX siècles*, Paris, Minuit.
- [12] Gatz, K. y Hart, F., (1968), *Edificios con estructura metálica*, Barcelona, Gustavo Gili.

- [13] Giedion, Siegfried, (1948), *Mechanization Takes Command*. Tr. La mecanización toma el mando, Barcelona, Gustavo Gili, 1978.
- [14] Klingender, Francis, (1947), *Art and Industrial Revolution*. Londres, Carrington. Tr. Arte y revolución industrial, Madrid, Cátedra, 1979.
- [15] Le Bot, Marc, (1973), *Peinture et Machinisme*, Klincksiek. Tr. Pintura y maquinismo, Madrid, Cátedra. 1979.
- [16] Lemoine, Bertrand, (1986), *Eiffel*, Barcelona, Stylos.
- [17] Manzini, Ezio, (1991), *Artefactos*. Hacia una nueva ecología del ambiente artificial, Madrid, Celeste y Experimenta.
- [18] Ministerio de Fomento. Real Orden, 23 de abril de 1893, *Revista de Obras Públicas*, pp. 81-87.
- [19] Munford, Lewis (1951), *Art and Technics*, Tr. Arte y técnica, Buenos Aires, Nueva Visión, 1957.
- [20] Navascués Palacio, Pedro, (2007), *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*, Madrid, Fundación Iberdrola.
- [21] “Puentes portátiles de acero”, *Revista de Obras Públicas*, 1884, p. 263.
- [22] Reynaud, Leonce, (1883) *Les Travaux Publics de la France*, tome cinquième: Phares et Balises, París, J. Rothschild.
- [23] Read, Herbert Edward, (1934), *Art and e industry*, London, Faber & Faber.
- [24] Saavedra y Moragas, Eduardo, (1861), “Los puentes de hierro”, *Revista de Obras Públicas*, pp. 29-32.
- [25] Serna García-Conde, José (2006), *Los puentes del tren*, Madrid, Fundación Esteyco.
- [26] Valle y Arana, Lucio del, (1861), “Discurso del Excmo. S. D. Lucio del Valle. Influencia que han tenido los progresos de las ciencias exactas en las artes de construcción y más especialmente en las que entra el hierro por principal elemento”, colección de Memorias y Documentos de la Revista de Obras Publicas, Madrid, Imprenta José C. de la Peña.

## Un puente en el paisaje: Goya y la recepción del concepto de lo sublime en la Ilustración

Ricardo Centellas Salamero

Javier Manterola (1936-2024) concibió «*La obra de ingeniería como obra de arte*» (2010). Se debiera añadir que algunas de ellas son también ‘sublimes’ en el más puro sentido kantiano del término. Este breve ensayo se ocupa de los puentes sublimes inventados por Francisco de Goya y Lucientes (1746-1828) y de la historia cultural que los encierra.

### El paisaje en Goya

El paisaje como género pictórico no constituyó una especialidad en sí del arte de Goya. Frecuentó el tema como tarea marginal en los cartones de tapiz encargados por la Real Fábrica de San Bárbara (1775-1792) y en los fondos de algunos murales (por ejemplo, los tempranos de la iglesia de la cartuja de Aula Dei, cerca de Zaragoza); también en ciertos retratos como en el caso ejemplar del de la Duquesa de Alba, firmado y fechado en 1797, propiedad de The Hispanic Society of America en Nueva York.



**Figura 105.** Francisco de Goya y Lucientes, *La duquesa de Alba*, 1797, óleo sobre lienzo, 210,3 × 149,3 cm. Nueva York, The Hispanic Society of America.

En este contexto de su obra, la realización hacia 1799 de un par de estampas: *Paisaje con cascada* y *Paisaje con construcciones y árboles* (Harris 24.II y 23.II, respectivamente) resulta excepcional tanto en la gráfica como en el conjunto de la pintura del artista de Fuendetodos, lo mismo que en el arte español del setecientos.

Estos grabados forman una serie de dos y fueron abiertos al aguafuerte y al aguatinta bruñida con toques de buril solo en el *Paisaje con construcciones* por la época en que su autor ultimaba la serie de los *Caprichos* puestos a la venta en Madrid, en 1799, una década crucial en la profesión del aragonés. El formato es típicamente apaisado, y su dimensión, mediana: la huella de cada uno mide 168 × 282/283 mm. Debió de estampar muy pocos ejemplares, pues los existentes son rarísimos; los que poseyó el mismo Goya pasaron a la Biblioteca Nacional de España a través de la colección de Valentín Carderera, que coleccionó la totalidad de la gráfica y gran parte de los dibujos preparatorios hoy en el Museo Nacional del Prado.



**Figura 106.** Francisco de Goya y Lucientes, *Paisaje con construcciones y árboles*, h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida, 168 × 223 mm. Madrid, Biblioteca Nacional de España.

Reconocido el fracaso de la edición, el mismo autor sacrificó las matrices de cobre en tiempos de escasez por la guerra contra Napoleón. Partió en dos mitades cada una para abrir en el verso cuatro de los aguafuertes de la serie de los *Desastres de la guerra* (1810-1814), que nunca se publicaron en vida del maestro; en reverso de *Paisaje con cascada* los números 14 y 30; en el otro, los *Desastres* 13 y 15. Las planchas conservadas en la Calcografía Nacional de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, de Madrid, se dieron por perdidas hasta su mención

por Aureliano de Beruete, director del Museo del Prado, en su catálogo razonado de la gráfica de Goya, publicado en 1918. La reutilización de las láminas para los *Desastres* sirvió a una parte de la crítica para retrasar la cronología de los paisajes hasta las vísperas de la Guerra de la Independencia (1808-1814), como es el caso de la catalogación, por ejemplo, del Metropolitan Museum de Nueva York. Sin embargo, el estudio técnico de los dibujos, entre otras razones, adelanta su data, como demostró Manuela Mena en el año 2008.

### «El sublime» y la antropización de la naturaleza mediante el arte de la ingeniería

El *Diccionario de Autoridades* de la Real Academia Española definió el adjetivo «SUBLIME» en 1739 como «Grande, excelso, glorioso, eminente, ó alto. Viene del Latino *Sublimis, e*» (t. VI). La ‘genealogía’ del término se remonta a un incompleto tratado de retórica griego *Sobre lo sublime* atribuido erróneamente a Longino y escrito probablemente en el siglo I de la era. Su traducción al francés en 1674 por Nicolas Boileau (1636-1711) comenzó una imparable fortuna crítica que lo difundió por toda Europa y América. Unos pocos años antes del establecimiento de Goya en la corte, Manuel Pérez Valderrábano, profesor moralista en Palencia, lo publicó en Madrid en 1770, e incluso un escolapio, el padre Basilio Boggiero, a quien pudo conocer Goya, editó su propia traducción. Este término retórico fue muy pronto aplicado al arte y a la naturaleza «pues en el arte se admira la perfección rigurosa, –escribió Pseudo Longino (36,3)– pero en las obras de la Naturaleza admiramos la grandeza». En el siglo XVIII, diversos filósofos y pensadores como Addison (1712), Burke (1757) y Kant (1764) reflexionaron sobre esta idea y la relacionaron con el paisaje y su representación. Goya probablemente se familiarizó con este concepto gracias a las personas de su círculo intelectual más próximo, como, por ejemplo, Jovellanos y José Luis Munárriz (1762-1830), miembro de la Academia de San Fernando desde 1796 y su secretario desde 1807. Este escritor y crítico navarro fue retratado por el zaragozano en 1815 (Museo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando) y en el bodegón de libros que acompaña su efigie incluyó un volumen en cuyo tejuelo aparece inscrito *Spectator* la revista inglesa que recogió el conjunto de ensayos de Addison (1712), que tradujo al español a finales del setecientos y publicó en 1804.

Goya abrió las planchas de los paisajes a efectos de este gusto y estética. El afán a veces de algún erudito o de ciertos críticos como Aureliano de Beruete han discurrido la relación de las estampas con tal o cual paraje real. Nada más ajeno al método de Goya que, si bien reconoce como ‘maestra’ a la Naturaleza, no la imita de forma servicial, sino que la pinta a su conveniencia. Se podría aplicar a esta serie lo que el propio Goya escribió en 1794 a propósito del envío a la

Academia de una serie de cuadros de gabinete: «He logrado hacer observaciones a que regularmente no dan lugar las obras encargadas, y en que el capricho y la invención no tienen ensanches» (carta dirigida a Bernardo de Iriarte –retratado por Goya [Musée des Beaux-Arts, Estrasburgo]–, en 4 de enero de 1794).



**Figura 107.** Francisco de Goya y Lucientes, *Paisaje con cascada*, h. 1799, aguafuerte y aguainta bruñida, 168 × 222 mm. Madrid, Biblioteca Nacional de España.

Se observan en el *Paisaje con cascada* elementos tópicos del ‘sublime’: un peñasco grandioso en el centro y otro menor al lado derecho del espectador, y una laguna que desagua en forma de cascada detrás de estas rocas. La magnitud de estos elementos naturales se deduce por los referentes antrópicos: el puente atravesado por varios peatones y un jinete, y las edificaciones en la línea del horizonte colocada relativamente baja, por debajo de la mitad inferior. Sobre toda la escena pesa un cielo sin nubes realizado al aguainta –técnica practicada por Goya por vez primera en las copias de Velázquez e intensivamente en los *Caprichos*– y luego bruñido, que le confiere una grisura pesada en contraste con la iluminación de parte de las aguas cercanas a la cascada que parece crepuscular. Un paisaje abierto a la inmensidad sobre una línea del horizonte determinadamente baja, surcado por un río y a veces abierto al mar o a un lago y con un fondo rocoso son los elementos fundamentales que constituyen uno de los tipos más usuales de la pintura de paisaje occidental desde Joaquim Patinir (h. 1480-1524), quien pasa por ser el inventor de la fórmula.



**Figura 108.** Francisco de Goya y Lucientes, *Paisaje con cascada*, h. 1799, lápiz rojo sobre papel verjurado, 151 × 257 mm. Madrid, Museo Nacional del Prado.

Goya amplifica el tenor de la Naturaleza sublime por el contraste con los elementos de antropización que empiezan por la misma representación liliputiense del hombre, un recurso manejado con destreza. La idea original del dibujo preparatorio en lápiz rojo (151 × 257 mm; Museo Nacional del Prado, D-4278) no cambió apenas cuando abrió la lámina. Unos peatones y un jinete deambulan sobre una pasarela de madera de bastante altura. Es un modelo ejemplar de puente viga de madera: largos postes asentados en la roca desnuda reforzados con puntales en la base y con jabalcones con tornapuntas que sujetan las vigas de la pasarela. Goya no omitió detalle en los dos vanos parcialmente representados: para la protección del tránsito hay grabada una valla de madera. Detrás de este sistema de contención se sitúa un grupo de tres hombres: unos miran hacia el gran peñasco mientras el tercero flexionado sobre la barrera contempla el vacío del fondo. Este detalle de la composición también fue empleado en la representación de los diversos personajes que se apoyan en la barandilla del fresco de la cúpula del interior de la ermita de San Antonio de la Florida de Madrid pintado en 1798, casi por el mismo tiempo en que Goya abrió los dos cobres de la serie.

La contemplación de la gran roca desde la alta pasarela y hacia el fondo producen emociones de grandeza –concepto fundamentado por Longino– y de peligro, que excitan la idea de lo sublime tal como indagó el político y pensador británico Edmund Burke en su conocido ensayo *De lo sublime y de lo bello*, publicado en 1757. Kant, unos pocos años después, en 1764, en sus *Observaciones acerca del sentimiento de lo bello y de lo sublime* escribió:

*Lo sublime ha de ser siempre grande [...]. Una gran altura es sublime del mismo modo que una profundidad; sólo que esta va acompañada con la sensación de estremecimiento y aquella con la de admiración. Por lo que esta sensación puede ser sublime-terrible y aquélla noble* (Kant, 1990 [1764], p. 34).

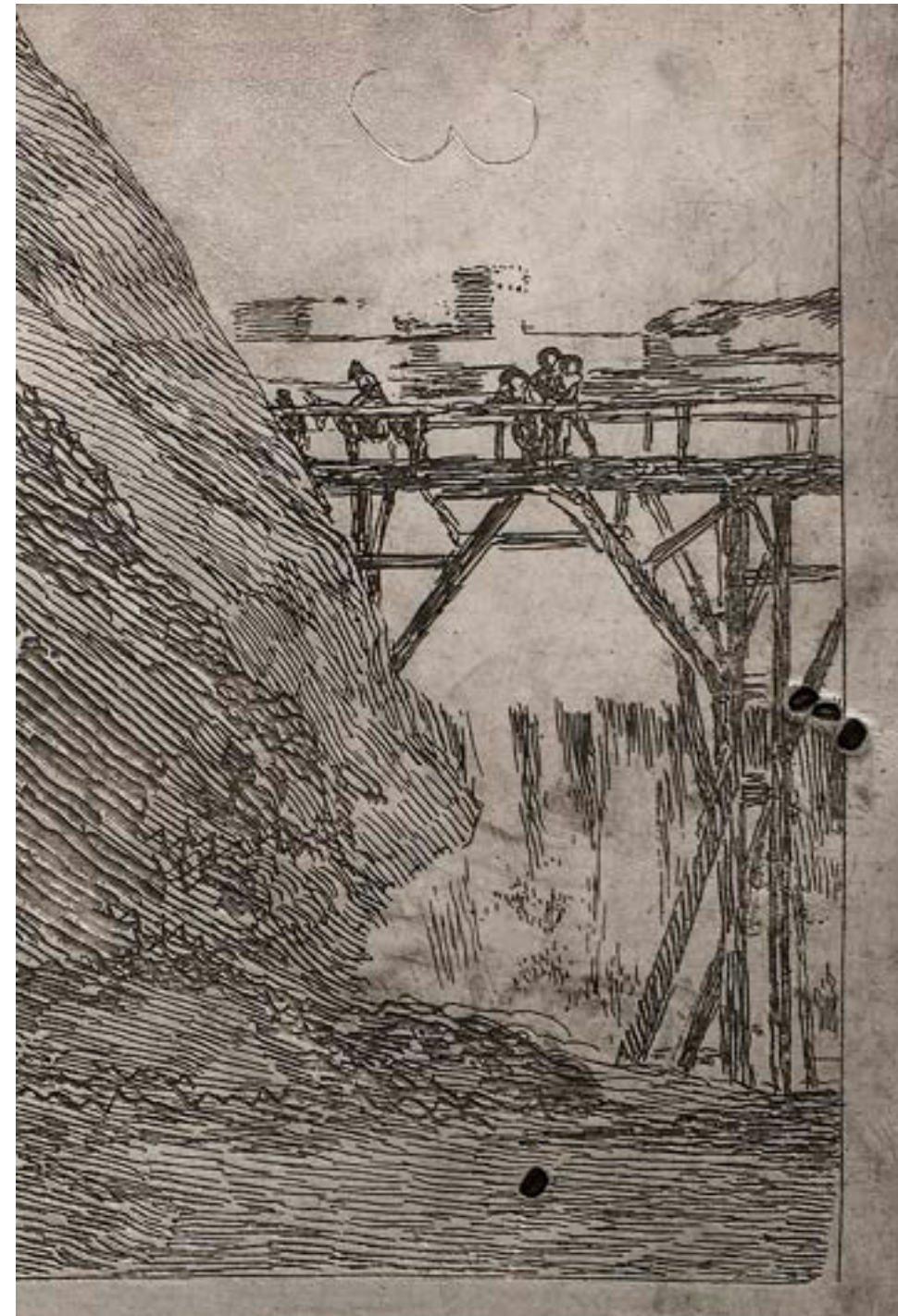
El puente desempeña en esta compleja estampa un papel doble y principal: primero como signo de antropización del paisaje y segundo como vehículo de las emociones de ‘grandeza’ y de ‘estremecimiento’ propias de la idea de lo sublime en la época ilustrada. El peñasco rocoso es el protagonista de la serie por su grandeza y por la situación en el centro de la hoja –en ambos aguafuertes se representa inclinado sugiriendo una idea de inestabilidad y miedo al desplome y a la catástrofe– que incitan al pensamiento en lo sublime. Goya pintó en *Un naufragio* (colección particular, GW328), una de las hojalatas de ‘capricho’ e ‘invención’ expuestas en la Academia en 1794 –la misma década de los *Caprichos*– una amenazante roca que emerge del mar formalmente similar. El puente viga se asocia también a la roca en ambos aguafuertes. El dibujo preparatorio en lápiz rojo de *Paisaje con construcciones y árboles* (151 × 258 mm; Museo Nacional del Prado D-4279) muestra un largo viaducto de al menos siete vanos visibles y esta vez sin tránsito humano; se eliminó en el grabado definitivo. Otros dos dibujos se relacionan con los preparatorios del Museo del Prado: *Paisaje fantástico* (181 × 130 mm; Madrid, Colección Carderera, GW752) y *Paisaje con peñasco* (292 × 411 mm; Madrid, Colección Gutiérrez de Calderón). El primero en lápiz rojo –técnica de los dibujos preparatorios– y el segundo en lápiz negro representan sendos paisajes sublimes protagonizados ambos por un enorme peñasco fantástico. El de la Colección Carderera posee tamaño más menudo, formato vertical a diferencia de las estampas que son apaisadas y está encuadrado por una línea también de lápiz rojo que pudiera anunciar la idea de que Goya lo hubiera concebido para grabar. El lenguaje del dibujo equivalente al de los preparatorios del Museo del Prado conduce a una cronología para ambos similar a la de los aguafuertes en torno a 1799.



**Figura 109.** Francisco de Goya y Lucientes, *Paisaje con construcciones y árboles*, h. 1799, lápiz rojo sobre papel verjurado, 151 × 258 mm. Madrid, Museo Nacional del Prado.

Moses Mendelssohn en la carta octava de *Sobre los sentimientos* (1755) describió un accidente natural similar a los peñascos de las estampas de Goya:

*Este escollo que se eleva allá arriba, por encima de la murmurante corriente, tiene un aspecto horrible. La vertiginosa altura, el engañoso miedo a caer y el hundimiento con el que parecen amenazar los fragmentos que penden alrededor, nos fuerzan a menudo a apartar de él la mirada desconcertada. Sólo que, tras un pequeño alivio, volvemos a dirigir nuestros ojos a este temible objeto. La horrible vista agrada. ¿De dónde procede este raro bienestar?* (Mendelssohn, 1999 [1755], p. 163).



**Figura 110.** Francisco de Goya y Lucientes, *Paisaje con cascada*, h. 1799, aguafuerte y aguainta bruñida sobre una plancha de cobre acerada, 208 × 314 mm aprox. la suma de los dos fragmentos de la lámina original. Madrid, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Calcografía Nacional.

El pensador alemán resumió así la doctrina sobre este pasaje:

*No todo goce se centra en una perfección sensible o intelectual. Hay también valores sensibles muy alejados de todo concepto de perfección, Hay también goces que parecen apoyarse en imperfecciones.*

### Paisajes sublimes con puente en la colección real

El autor de los *Caprichos* no necesitó para imaginar el puente del aguafuerte más esfuerzo que recordar la preparación de algunos de los cartones de tapiz. *El Baile a orillas del Manzanares* (1776-1777; Museo Nacional del Prado, P-769) enseña detrás del grupo principal un puente viga transitado por dos peatones que se asoman por encima de la barrera de protección. El mismo año de la entrega de este cartón comenzó *La cometa* (1777-1778; Museo Nacional del Prado, P-774) ideada como la anterior para los cuartos de los Príncipes de Asturias en el palacio real de El Pardo. Esta vez inventó, para dar variedad a la composición, un puente de arco de medio punto de un solo vano en piedra sillar por el que pasa un viandante; al fondo se sitúa una construcción de planta central con cúpula derivada del Panteón de Roma que algunos autores relacionan con el proyecto del Real Observatorio de Madrid diseñado por Juan de Villanueva. Diez años después de esta entrega se encargó de *La pradera de San Isidro* (41,9 × 90,8 cm; Museo Nacional del Prado, P-750). El dibujo en lápiz negro (1788) preparatorio para el boceto reproduce un puente de tablas sobre el río Manzanares. Son visibles los puntales hincados en el lecho del cauce; nadie lo cruza (340 × 512 mm; Madrid, colección particular) como en el caso del óleo del boceto cuyo cartón nunca realizó. Por el mismo año de 1788 pintó el boceto del cartón *La gallina ciega* (Museo Nacional del Prado, P-2781 y P-804 respectivamente). Una pasarela sobre el río cruzada por romeros fue esbozada sin detalle al fondo de la escena; la omitió posteriormente en el cartón en aras de una mayor claridad de la composición.



**Figura 111.** Francisco de Goya y Lucientes, *Paisaje a orillas del Manzanares*, 1776-1777, óleo sobre lienzo, 272 × 295 cm. Madrid, Museo Nacional del Prado.

El recurso del puente regresó convertido en metáfora en *La boda* tres años más tarde, en 1791-1792 (Museo Nacional del Prado, P-799). Un sencillo puente de una imposible estereotomía sirvió de escenario para la ceremonia de este matrimonio desigual objeto de la crítica social de los ilustrados. Goya subvierte la iconografía tradicional barroca del ‘puente de la vida’, donde la arquitectura sirve de soporte para representar el paso inexorable del tiempo desde el nacimiento hasta la muerte. A la izquierda, un niño sobre un carro (la infancia) y en el estribo opuesto un anciano con bastón (la vejez) pasando hacia el medio por la novia que representa la juventud.

Francisco y Ramón Bayeu, cuñados de Goya, concedieron gran protagonismo a un puente viga en el cartón de Ramón *Un baile junto a un puente del canal del Manzanares*, compuesto en 1784 mediante un boceto de su hermano mayor Francisco (Museo Nacional del Prado, P-3931 y P-605 respectivamente) con un total de casi veinte metros cuadrados de superficie (257 × 690 cm).

El autor de los *Disparates* emplea el puente no solo como elemento recurrente que confiere variedad a la composición, sino como metáfora y como signo de antropización con el que el hombre se impone a la Naturaleza.

Pero las rocas y los puentes estaban en el imaginario de Goya como en el de otros pintores de la corte gracias a una fuente extraordinaria: la Colección real. El aragonés, como sus cuñados los Bayeu, la conocían debido a su trabajo constante en los Reales sitios al servicio del rey y de su familia y colaborando en su conservación. Goya participó en la tasación de la colección después de la muerte del rey Carlos III en 14 de diciembre de 1788. Al final de la vida del monarca se había formado en los Reales sitios un extraordinario museo. Entre los cientos de pinturas se encontraba el *Paisaje con san Jerónimo* de Patinir cuyas formaciones rocosas eran dignas de la grandiosidad descrita por el Pseudo Longino (Museo Nacional del Prado, P-1614; en la época de Goya situado en el real monasterio de El Escorial). Pero también la serie de paisajes que encargó Felipe IV en Roma para decorar el nuevo palacio del Buen Retiro en Madrid. Entre estas *El arcángel Rafael y Tobías*, una gran tela (211 × 145 cm) pintada por Claudio de Lorena (1639-1640), en cuyo paisaje arcádico y bajo un cielo crepuscular se erige un bellissimo y lejano puente viga (Museo Nacional del Prado, P-2255).

Peñascos y puentes como los diseñados por Goya estuvieron presentes en el paisaje flamenco e italiano desde finales del cuatrocientos y pervivieron tanto en la pintura como en la estampa del siglo XVIII, sin olvidar el arte neerlandés donde el tratado de Boileau había sido traducido en el XVII. La reducción de las 'fuentes' de Goya —que estudió en Italia— a determinados artistas, como ha escrito la crítica tradicional, no resulta muy útil para entender su complejo imaginario.

#### **Una nota al margen: Goya y los ingenieros generales del ramo de caminos, puentes, arquitectura civil y canales**

A partir de la división en el año 1774 del Cuerpo de Ingenieros, el cargo de Ingeniero General se dividió en tres ramos: 1) Fortificaciones, 2) Academias y 3) Caminos, Puentes, Arquitectura civil y Canales. Francisco de Goya conoció a los Ingenieros Generales del ramo de Caminos del siglo XVIII: Francisco Sabatini (1774-1798) y a su sucesor José de Urrutia (1798-1803). El primero le despachó órdenes en relación con la decoración de tapices de los Reales Sitios y como pintor del rey. El retrato de *Hombre con espada*, propiedad del Meadows Museum de Dallas, pintado por Goya hacia 1775-1779 (GW205), ha sido identificado por algunos estudiosos como un retrato del italiano. A Urrutia lo retrató elegantemente de cuerpo entero hacia 1798 por encargo de la familia ducal de Osuna, que le ayudó en su juventud y en cuyo palacio colgó el cuadro hasta la bancarrota de los duques (Museo Nacional del Prado, P-736). La firma con dedicatoria manifiesta una relación cordial entre cliente y artista.



**Figura 112.** Francisco de Goya y Lucientes, *El general José de Urrutia*, h. 1798, óleo sobre lienzo, 199,5 × 134,5 cm. Madrid, Museo Nacional del Prado.

La relación de Goya con militares ingenieros continuó con los retratos de Ignacio Garcini Queralt, brigadier del Cuerpo de Ingenieros y de su esposa Josefa Castilla-Portugal, pintados en 1804 (Nueva York, Metropolitan Museum of Art, donación del industrial Havemeyer). Y un año después, en 1805, realizó el del aragonés Félix de Azara (Zaragoza, Fundación Ibercaja), hermano de Nicolás, el gran amigo de Mengs, que lo retrató y cuyos escritos de arte editó en varias lenguas. Fue una de sus obras maestras y un tributo absoluto a Velázquez en donde Azara reproduce invertida la pose del joven Felipe IV de negro, de la Colección real hoy en el Museo Nacional del Prado (P-1182).

## Referencias

- [1] Addison, J. (1991 [1712]). *Los placeres de la imaginación y otros ensayos* de The Spectator. Visor.
- [2] Beruete, A. de- (1918). *Goya grabador*. Tip. Blass.
- [3] Blas, J. (2024). “Caprichos” al crocevia tra stili e categorie del gusto. En *Goya. La rebellione della ragione* (pp. 46-63). Real Academia de Bellas Artes de San Fernando / 24 ORE Cultura.
- [4] Burke, E. (2005 [1757]). *De lo sublime y de lo bello*. Alianza Editorial.
- [5] Capel, H. y otros (1983). *Los ingenieros militares en España. Siglo XVIII. Repertorio biográfico e inventario de su labor científica y espacial*. Universidad de Barcelona.
- [6] Capel, H., Sánchez, J. E. y Moncada, O. (1988). *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*. Serbal / CSIC. pp. 258-259.
- [7] Cascardi, A. J. (2022). *Francisco de Goya and the Art of Critique*. Zone Books.
- [8] Centellas Salamero, R. (2017). Una prueba inédita de los *Paisajes partidos* grabados por Goya. Su recepción crítica y mercado (1907-1928). *Artigrama*, 32, 153-179.
- [9] Gassier, P. y Wilson-Bareau, J. (1970). *Vie et oeuvre de Francisco de Goya: l'oeuvre complet illustré: peintures, dessins, gravures*. Office du Livre.
- [10] Gassier, P. (1975). *Dibujos de Goya. Estudios para grabados y pinturas*. Noguer.
- [11] Groot, I. de (1979). *Landscape. Etchings by the Dutch masters of the seventeenth century*. Gondon Fraser Gallery Ltd.
- [12] Harris, T. (1964). *Goya. Engravings and litographs*. Bruno Cassirer.
- [13] Held, J. (1993). La pintura española de paisaje en el siglo XVIII. En *Los paisajes del Prado* (pp. 255-269). Fundación Amigos del Museo del Prado
- [14] Kant, I. (1990 [1764]). *Observaciones acerca del sentimiento de lo bello y de lo sublime*. Alianza Editorial.

- [15] ‘Longino’ (1979). *Sobre lo sublime*. Editorial Gredos.
- [16] Longino, D. (1770). *Tratado de rhetórica El Sublime de Dionisio Longino traducido del griego por Don Manuel Pérez Valderrabano*. S. i.
- [17] López-Rey, J. (1945). Goya and the world around him. *Gazette des Beaux-Arts*, 38, 129-150.
- [18] Martínez Pérez, A. (2024). Cinco pistas sobre el coleccionismo primitivo de dibujos de Goya. Sobre el álbum incompleto propiedad del VI marqués de Casa-Torres. En Goya. *El despertar de la conciencia* (pp. 71-79). Real Academia de Bellas Artes de San Fernando / Ministerio de Ciencia, Innovación y Tecnología.
- [19] Matilla, J. M. y Mena Marqués, M. B. (2019). *Solo la voluntad me sobra. Goya. Dibujos*. Museo Nacional del Prado.
- [20] McDonald, M. (ed.). (2021). *Goya's Graphic Imagination*. The Metropolitan Museum of Art.
- [21] Mena, M. (2008). ‘Paisaje con árbol, peñasco y edificios’ y ‘Paisaje con peñasco y cascada’. En *Goya en tiempos de guerra* (pp. 172-173). Museo Nacional del Prado.
- [22] Mendelssohn, M. (1999 [1755]). ‘Sobre los sentimientos’. En *Belleza y verdad. Sobre la estética entre la Ilustración y el Romanticismo*. Alba Editorial.
- [23] Reuter, A. (2001). *Das Bild der Gewalt im Werk Goyas*. Peter Lang.
- [24] Reuter, A. y Matilla, J. M. (2025). *Goya. Obra gráfica*. Taschen.
- [25] Saint Girons, B. (2006). *Lo sublime*. A. Machado Libros.
- [26] Sancho Gaspar, J. L. y otros (2021). *El Madrid de Sabatini. La construcción de una capital europea (1760-1797)*. Ayuntamiento de Madrid.
- [27] Sayre, E. A. (1974). *The changing image: Prints by Francisco Goya*. Museum of Fine Arts Boston.
- [28] Schiller, F. (2017). *Lo sublime*. Casimiro.
- [29] Simmel, G. (2013). *Filosofía del paisaje*. Casimiro.

- [30] Úbeda de los Cobos, A., ed. (2011). *Roma naturaleza e ideal: paisajes 1600-1650*. Museo Nacional del Prado.
- [31] Vázquez de la Cueva, A. y otros (2000). *La ingeniería civil en la pintura*. Colegio Oficial de Caminos, Canales y Puertos / Ministerio de Fomento / CEDEX / CEHOPU.
- [32] Vergara, A. ed. (2007). *Patinir. Estudios y catálogo crítico*. Museo Nacional del Prado.

Ilustraciones:

1. Francisco de Goya y Lucientes, La duquesa de Alba, 1797, óleo sobre lienzo, 210,3 × 149,3 cm. Nueva York, The Hispanic Society of America.
2. Francisco de Goya y Lucientes, Paisaje con construcciones y árboles, h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida, 168 × 223 mm. Madrid, Biblioteca Nacional de España.
3. Francisco de Goya y Lucientes, Paisaje con cascada, h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida, 168 × 222 mm. Madrid, Biblioteca Nacional de España.
4. Francisco de Goya y Lucientes, Paisaje con cascada, h. 1799, lápiz rojo sobre papel verjurado, 151 × 257 mm. Madrid, Museo Nacional del Prado.
5. Francisco de Goya y Lucientes, Paisaje con construcciones y árboles, h. 1799, lápiz rojo sobre papel verjurado, 151 × 258 mm. Madrid, Museo Nacional del Prado.
6. Francisco de Goya y Lucientes, Paisaje con cascada, h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida sobre una plancha de cobre acerada, 208 × 314 mm aprox. la suma de los dos fragmentos de la lámina original. Madrid, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Calcografía Nacional.
7. Francisco de Goya y Lucientes, Paisaje a orillas del Manzanares, 1776-1777, óleo sobre lienzo, 272 × 295 cm. Madrid, Museo Nacional del Prado.
8. Francisco de Goya y Lucientes, El general José de Urrutia, h. 1798, óleo sobre lienzo, 199,5 × 134,5 cm. Madrid, Museo Nacional del Prado.

## La imagen de los puentes a través de la fotografía

Xavier Font Solà

A los 18 años comencé a estudiar ingeniería y, al mismo tiempo, adquirí mi primera cámara de fotografiar. En ese momento, no imaginaba que esos dos eventos, aparentemente sin relación, se convertirían en la base de dos habilidades que me han brindado enormes satisfacciones. Una de ellas es la oportunidad de estar aquí hoy, dándoles esta charla que aúna estos dos temas que tanto me apasionan.



**Figura 113.** Puente de Vasco de Gama en Lisboa (foto F. Mira 2009, Wikimedia Commons)

El planteamiento de esta ponencia admite diversos enfoques. Una opción hubiera sido, por ejemplo, abordar la presencia de los puentes a lo largo de la historia de la fotografía; o bien, analizar cómo la fotografía ha sustituido a la pintura en su papel de resaltar la relevancia de los puentes en la conformación del paisaje. Sin embargo, creo que tengo más que aportar haciendo una aproximación más personal a través de compartir aprendizajes adquiridos a partir de mi experiencia diseñando puentes y fotografiando.

El tema invita a hacer una presentación predominantemente visual, en la que la selección de imágenes ha estado muy determinada por mis gustos personales; y es a través de ellas que expondré las ideas que me gustaría compartir.



**Figura 114.** Viaducto Estación de Loyola, proyectado por ANTA INGENIERÍA CIVIL (fotos Xavier Font 2017)



**Figura 114.** Viaducto Estación de Loyola, proyectado por ANTA INGENIERÍA CIVIL (fotos Xavier Font 2017)

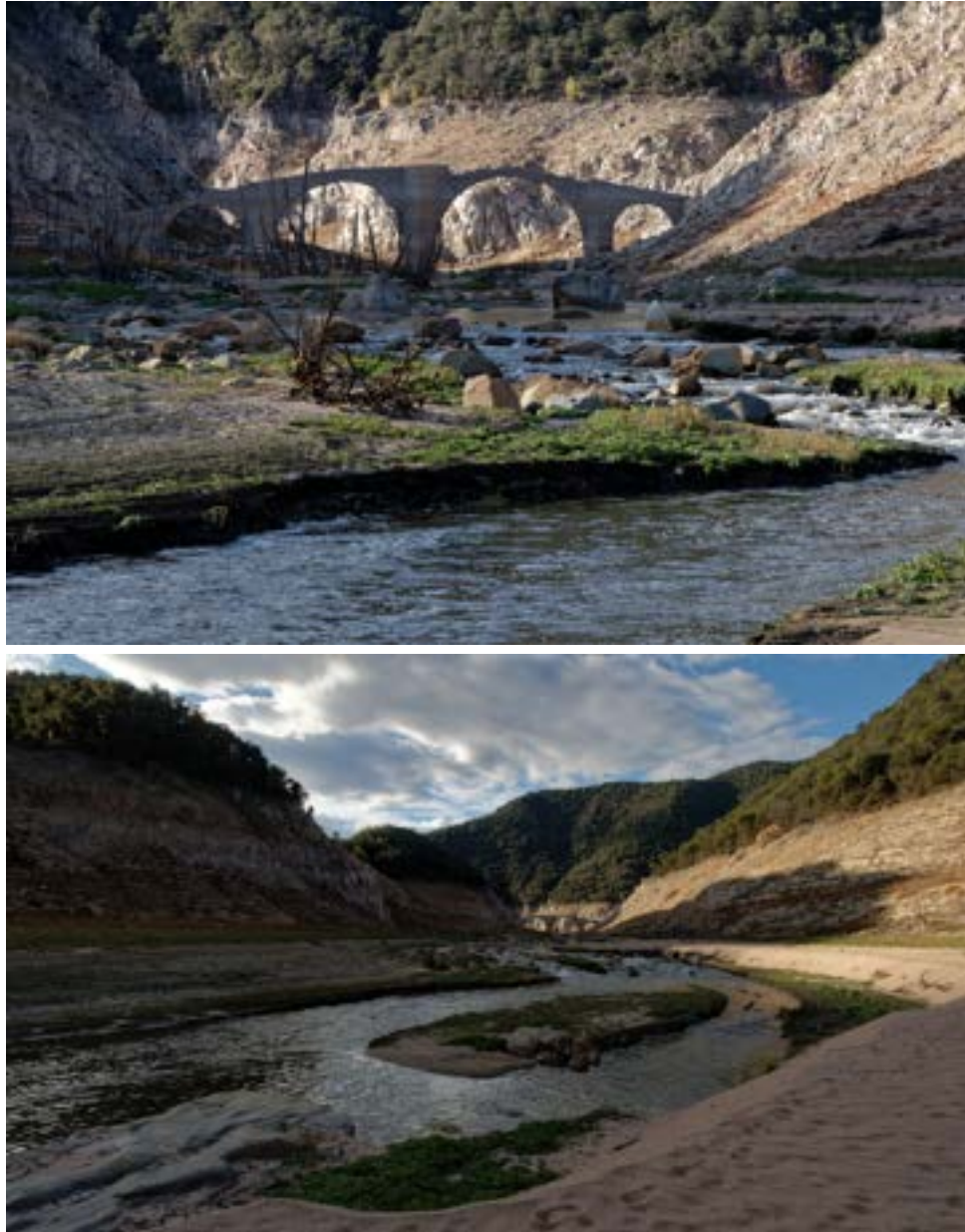
La relación de los puentes con la fotografía tiene algo de simbiótico, en el sentido que, por una parte, el tema del puente puede ser fuente de inspiración para que el fotógrafo cree imágenes con capacidad para emocionar (figura 113.), y por otra, la fotografía es un potente medio a través del cual el proyectista puede mostrar y explicar las intenciones que hay detrás de un diseño. Por ejemplo, la foto de la figura 114. pone la mirada en la resolución del detalle de la unión de las bielas de soporte con el tablero del viaducto de la estación de Loyola, en San Sebastián, y de esta manera se consigue resaltar un aspecto que de otro modo podría pasar desapercibido para el observador.

De los posibles puntos de conexión que puede haber entre los puentes y la fotografía, en esta ponencia me voy a centrar en cuatro, que me parece que están entre los más relevantes:

1. La fotografía como medio para mostrar aspectos singulares de los puentes.
2. La importancia de la elección del plano fotográfico para llevar a cabo esta tarea.
3. La belleza oculta, por su carácter efímero, del proceso constructivo.
4. Los puentes como fuente de inspiración de la creación de imágenes.

### La fotografía como medio para mostrar aspectos singulares de los puentes

La relación del puente con su entorno, la manera como su presencia dialoga con él, es una especificidad fundamental en este tipo de obras.



**Figura 115.** Pont de Querós, bajo las aguas del embalse de Susqueda (fotos Xavier Font 2024)

Un caso singular es el pont de Querós, casi siempre sumergido bajo las aguas del embalse de Susqueda (figura 115.). Se trata de un bello ejemplar situado sobre el río Ter en Sant Hilari Sacalm, Girona. Fue construido en el siglo XVI y desde 1967 permanece casi siempre sumergido; solo en épocas de fuerte sequía asoma sobre las aguas del embalse. En las fotos de la figura 115. se intenta mostrar cómo el puente se relaciona con su entorno actual. La franja deforestada indica el máximo nivel de llenado y el punto de vista elegido permite reflejar la condena que en su día cayó sobre el puente. La vista desde lejos, realza además la pequeñez de la obra frente al medio en el que se inserta. La luz y las sombras de aquella hora del día jugaron a favor del fotógrafo, de manera que, a pesar de la pequeñez de su hermosa silueta, el fondo iluminado permite apreciar con total claridad su escala.



**Figura 116.** Hell Gate Bridge (foto Rhododendrites 2023, Wikimedia Commons)

Otro importante rasgo es su funcionamiento estructural, el cual suele apreciarse bien con fotos del alzado, aunque no siempre es así. A modo de curiosidad, en la figura 116. se muestra un ejemplo de engañosa legibilidad del esquema estructural de una obra. Efectivamente, observando la vista frontal del puente de Hell Gate sobre el East River en New York, la variación creciente del canto de la celosía del arco desde la clave hacia los arranques parece indicar que aquel está empotrado en las masivas torres que flanquean la estructura, cuando en realidad no es así, pues el cordón superior de la celosía no está unido a aquellas, las cuales tienen un papel meramente decorativo. Parece ser que esta disposición fue una licencia que se tomó Gustav Lindenthal, principal responsable de su diseño, con objeto de hacerlo parecer más robusto de lo que ya era. El resultado es magnífico y dota a la obra de una imponente monumentalidad, lo que ayuda a pasar por alto esta histórica deshonestidad estructural.



Figura 117. Pasarela de Sant Pere Sacarera, proyectada por Alfa Polaris (fotos Xavier Font 2012)

A través de la fotografía, también se puede poner en valor el diseño de sus elementos principales —tablero, pilas y estribos, arcos, pilonos, catenarias, péndolas, tirantes...— así como de las piezas de unión entre ellos —soportes, rótulas (figura 114.), anclajes...—.

Por ejemplo, en la figura 117. se muestra la especial disposición que adoptamos en uno de los estribos de una pasarela sobre la nueva variante del núcleo de Sant Pere de Sacarera, en la comarca del Alt Penedès. En ella, el tablero se apoya sobre un estribo que permanece oculto bajo una plataforma de planta cuadrada que ejerce las funciones de balcón, invitando a los usuarios a disfrutar del paisaje, no desde encima del tablero, sino desde este espacio que queda ya fuera de la vertical de la carretera. De esta manera se evita la sensación de vulnerabilidad que se tiene cuando se circula con el coche por debajo de un paso superior en el que hay gente parada observando el tráfico de los vehículos. La llegada del tablero al estribo se hace de forma esviada, lo que invitó a jugar con geometrías giradas unas respecto a otras. Igual se hizo con el típico encachado que suele disponerse en las proximidades del estribo, donde no suele crecer la vegetación, el cual en este caso se sustituyó por un lecho de gaviones dispuestos sobre el talud de la excavación.

### La importancia de la elección del plano fotográfico

Un gran recurso que tiene el fotógrafo para crear el relato visual es la elección del plano fotográfico. Ello se consigue con la selección de la posición y orientación de la cámara en relación al objeto que se va a fotografiar, así como la distancia focal del objetivo, que es el indicador del grado de zoom que se va aplicar. Combinando estos parámetros se obtienen distintas maneras de mirar, cada una de las cuales es más o menos apropiada según el mensaje que se quiera transmitir.

Una primera clasificación de los planos de fotografía más adecuados para fotografiar puentes podría ser: vista de pájaro, alzado general del puente, vista en escorzo, visión del intradós del tablero, vista desde la plataforma del tablero y el encuadre de detalles.

La profusión del uso de drones durante los últimos años ha democratizado el acceso a la vista de pájaro. Ahora con costes muy limitados se pueden conseguir vistas aéreas en gran cantidad de entornos. Éste es un tipo de plano generalmente picado (de arriba abajo).

Una variedad de la vista aérea es el plano cenital, en la que el eje del objetivo adopta una orientación próxima a la vertical, lo que permite ver la planta de la obra en verdadera magnitud. Por ejemplo, en la figura 118 se muestra una vista cenital del puente circular de la laguna Garzón, proyectado por el despacho de Rafael Viñoly Architects. Éstos propusieron un puente con un inusual trazado circular con objeto de reducir la velocidad del tráfico y permitir a los conductores, peatones y ciclistas apreciar las vistas panorámicas de este excepcional paisaje costero del Uruguay. En este caso, el plano elegido destaca y pone en valor esta particularidad de la obra.



**Figura 118.** Puente circular de la laguna Garzón en Uruguay (fotos Jimmy Baikovicus y Jerosala, Wikimedia Commons)

La vista frontal del puente, que es la que mejor muestra su alzado general, (figura 116.) ya hemos comentado que, salvo en ocasiones excepcionales, facilita la lectura del esquema estructural de la obra. Junto con la planta general, es uno de los puntos de vista que más representan al puente y en cambio, excepto en el caso de los pasos superiores, que se perciben normalmente circulando por la carretera que cruzan, suele ser un plano insólito y poco común; pocas veces es posible observar el alzado del puente en verdadera magnitud, pues las vistas más habituales son habitualmente en escorzo (figura 119.).



**Figura 119.** Pasarela del Trift en Suiza (foto Xprouna 2009, Wikimedia Commons)

Los planos en escorzo permiten captar mejor la espacialidad transversal de los puentes al tiempo que realzan su magnificencia. En particular, cuando el punto de vista se encuentra por debajo de la plataforma del tablero y la orientación de la cámara es contrapicada, es decir, de abajo hacia arriba, es cuando mejor se observa la grandeza de la obra.

En una ocasión, me encontraba tomando fotografías del puente de Alcántara desde la carretera que conduce hacia Portugal, lo que me situaba a una altura superior. Fue entonces cuando un lugareño se acercó y me sugirió: le aconsejo que para fotografiarlo baje por la ladera, porque los puentes se aprecian mejor desde abajo; es allí donde se puede valorar realmente su imponente magnitud. Aquel día recibí una lección que, a pesar de los años de estudios universitarios, hasta entonces había pasado desapercibida para mí.

Un aspecto del puente al que a menudo se le presta poca atención durante la fase de diseño es el intradós de los elementos de la estructura; ya sea el tablero o también el arco que lo sustenta. Sin embargo, con frecuencia es una parte muy expuesta a la observación. En el caso de los pasos superiores de carreteras, la mirada suele ser fugaz debido a la velocidad a la que circulan los espectadores. No es así en puentes urbanos o sobre ríos navegables, en los que los observadores se desplazan lentamente y, por tanto, hay más tiempo para percibirlo. De la calidad del diseño de su intradós depende que el espacio que cubren sea acogedor o, por el contrario, se convierta en un lugar siniestro.



**Figura 120.** Puente de Mong en la ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam (foto Diego Delso 2013, Wikimedia Commons)

El puente de Mong, con un imponente arco metálico atribuido a Gustavo Eiffel, fue construido en 1882. En el año 2005 fue retirado durante la realización del nuevo túnel bajo el río BẾN NGHÉ, y más tarde se reinstaló como una elegante pasarela peatonal. Gracias a una iluminación cuidadosamente diseñada, la estructura metálica del puente se realza por la noche, destacando especialmente el intradós del arco que lo sostiene, así como la intrincada celosía de su diseño (figura 120.).

Otro punto de vista esencial es el del usuario que circula a través de él. En el caso de puentes de carretera o ferroviarios, que son cruzados a gran velocidad y en que las personas que los usan no están en contacto directo con su materialidad, el cuidado de la plataforma no tiene por qué ser demasiado exigente. No es en absoluto el caso de los puentes peatonales y para ciclistas. En estos se establece un vínculo mucho más directo entre la obra y el usuario, primero porque hay una mayor proximidad física, y también porque la lentitud de los desplazamientos alarga el tiempo que dura esta relación.



**Figura 121.** Pasarela sobre el río Nam Khan, en Laos (foto Basile Morin 2018 Wikimedia Commons)

Para ilustrar este aspecto me gustaría compartir una imagen para nosotros poco habitual; se trata de una vista desde la plataforma del tablero de una pasarela sobre el río Nam Khan, cerca de la ciudad de Luang Prabang, en Laos, durante la estación de los monzones (figura 121.). El acierto de esta foto, a mi parecer, radica en su capacidad para mostrar la sensación de vulnerabilidad que deben sentir sus usuarios al tener que cruzar este ancho, caudaloso y amenazante río a través de una estructura con un aspecto tan precario.

Para finalizar este apartado, quiero referirme al plano de detalle, el cual ofrece una visión cercana que incluso permite observar la textura de los materiales. Mies van der Rohe popularizó la famosa cita de Gustave Flaubert: “Dios está en los detalles”, que considero cierta en muchos casos. En ámbitos como la construcción, resolver los detalles de manera adecuada puede ser complejo, pero es crucial para la calidad de una obra.



**Figura 122.** Puente de Brooklyn, concebido por John A. Roebling (foto Xavier Font 2019)

La figura 122. muestra un detalle aparentemente menor del puente de Brooklyn en New York, que, sin embargo, tiene relevancia por varios motivos. En primer lugar, este puente fue de los primeros en usar cables de acero para la catenaria y las péndolas. Además, a pesar de ser un puente colgante, el ingeniero optó por instalar tirantes en los tramos cercanos a las torres, para así reducir la deformabilidad del tablero. Estos elementos, al estar en el mismo plano, se cruzan formando una malla vertical. El uso de cables de acero en lugar de las pesadas cadenas que hasta entonces se solían emplear permitió un cruce simple y poco voluminoso entre las péndolas y los tirantes, como se muestra en la figura.

#### **La belleza oculta del proceso constructivo**

El carácter efímero del proceso constructivo no favorece el disfrute de las sugerentes imágenes que éste es capaz de proporcionar.



**Figura 123.** Pont del Reguissol en Santa Maria de Palautordera (fotos Xavier Font 1995)



**Figura 123.** Pont del Reguissol en Santa Maria de Palautordera (fotos Xavier Font 1995)

Por ejemplo, las atractivas formas del encofrado o la ordenada disposición de las piezas de fundición de los anclajes para el hormigón postesado antes de proceder con el ferrallado (figura 123.), quedan rápidamente ocultas. Y es a través de la fotografía que es posible que permanezcan las potentes imágenes de estos instantes ya perdidos.

Las imágenes del proceso constructivo tienen, además, una clara componente didáctica, ya que permiten explicar de manera mucho más clara el desarrollo de las obras, en comparación con lo que muestran las fotos de la construcción ya acabada.



**Figura 124.** Construcción del puente de Verrazano-Narrows (foto Metropolitan Transportation Authority of the State of New York 1962, Wikimedia Commons)

Asimismo, en ciertas ocasiones, las fotografías capturadas durante el proceso de construcción destacan la dimensión épica que frecuentemente caracteriza la edificación de los puentes, como se ilustra en la figura 124., tomada en las etapas iniciales de la instalación de la catenaria del puente de Verrazano-Narrows, en New York. El contraste entre la perfilada y oscura silueta de las figuras humanas que aparecen en primer término y la imagen desvanecida por la bruma del lejano pilono, resalta de manera evidente la magnitud del desafío que implica este tipo de proyectos.

En la construcción de puentes, existen ciertas fases clave que son muy representativas del proceso. Las principales son: la fabricación de la estructura en el taller, el transporte hasta la obra, el izado y ensamblaje de las piezas, y finalmente, el cierre. De éstas, las que suceden de una forma más acelerada suelen ser el izado y el ensamblaje.



**Figura 125.** Pasarela de Can Gili en Granollers, proyectada por Alfa Polaris (foto Xavier Font 2009)

Es por ello que en estas fases es particularmente importante la captura del instante decisivo del que hablaba el célebre fotógrafo Henri Cartier-Bresson. Por ejemplo, congelando el momento en que las piezas a unir están casi a punto de tocarse (figura 125.) se consigue una imagen con un gran dinamismo.



**Figura 126.** B2P - Pasarela en Monte Verde, Nicaragua (foto Fhecor 2017)

El cierre, ya sea del tablero o del arco en esta tipología de puentes, es probablemente el momento más destacado del proceso, ya que marca el punto en el que la estructura comienza a convertirse en un puente (figura 126.). Por esto, seguramente, tiene esta fuerte carga simbólica.

### Los puentes como fuente de inspiración fotográfica

Para acabar quisiera compartir este último ejemplo de cómo los puentes pueden ser fuente de inspiración de extraordinarias imágenes.



**Figura 127.** Golden Gate Bridge (foto Dietmar Rabich 2012, Wikimedia Commons)

## Ingeniería efímera en la recuperación de estructuras históricas: El caso del puente Deba

Abel Erzilla Lezea

### Introducción

ULMA Construction, como fabricante del mundo de la construcción, trata de aportar a la sociedad a través de su compromiso con la innovación, el desarrollo técnico y la promoción del conocimiento en ingeniería civil. No solo contribuye a la evolución de técnicas y herramientas esenciales para la construcción de infraestructuras, sino que también fomenta una mayor comprensión y valoración de la ingeniería desde diversas perspectivas, como la sociológica, histórica, artística y arquitectónica.

En este sentido, destaca la importancia de estructuras como los puentes, que no solo cumplen funciones prácticas en el paisaje urbano y rural, sino que también actúan como símbolos de conexión y cohesión social, situando la ingeniería civil en su máxima expresión y demostrando cómo las infraestructuras pueden unir comunidades y enriquecer el tejido social.

El campo de la ingeniería civil abarca múltiples disciplinas, y la restauración de estructuras históricas se encuentra entre las más desafiantes. A menudo se asocia con proyectos monumentales y permanentes que definen el paisaje urbano y rural. Sin embargo, existe una rama de la ingeniería a menudo invisible, pero crucial para la ejecución de estos proyectos: la ingeniería efímera que, aunque desaparece una vez completada la obra, es vital para la ejecución de proyectos complejos.

Esta especialidad se refiere a los medios auxiliares, estructuras temporales que permiten la construcción, reparación o mantenimiento de las infraestructuras principales. En este texto, se explora el rol de la ingeniería efímera a través del estudio del caso del puente Deba, un puente histórico que data de 1866 y que enfrentó un colapso parcial en 2018. Se destacarán los desafíos técnicos, las soluciones innovadoras y la “magia” que permitió la rehabilitación del puente sin comprometer su valor histórico.

### El puente Deba: Historia y Contexto

El puente Deba (Deba, Euskadi), construido en 1866, es un ejemplo de la ingeniería del siglo XIX que combina funcionalidad y estética, además de contar con un alto valor histórico y patrimonial al formar parte del Camino de Santiago, dejando atrás Gipuzkoa e iniciando la andadura por los caminos de Bizkaia en la que se conoce como la etapa de Deba a Markina-Xemein. A lo largo de su vida útil, el puente sufrió diversos problemas estructurales, especialmente en la pila número uno, que también tuvo un asentamiento. Además, la pila número tres fue originalmente diseñada como parte de un puente móvil que podía girar, una solución ingeniosa para la época que permitía el paso de embarcaciones. No obstante, el desgaste del tiempo, factores ambientales y, como se descubrió más adelante, la acción de bivalvos, provocaron un colapso inesperado de la pila número dos en julio de 2018.



Figura 128. Puente Deba, antes de sufrir problemas estructurales.

### El colapso de 2018

El 5 de julio de 2018, la pila número dos del puente experimentó un fallo repentino, descendiendo 20 centímetros aguas arriba y 70 centímetros aguas abajo, con la consiguiente rotación de pila y tablero. Este suceso dejó el puente en un estado crítico, con dovelas (bloques de piedra) rotas y los arcos articulados en varios puntos. El daño era muy grave y la estructura parecía al borde del colapso. A diferencia del derrumbe del puente Morandi en Génova el mismo año, que se atribuyó a la falta prolongada de mantenimiento junto con un diseño anticuado, el problema del puente Deba fue provocado por el debilitamiento de la cimentación debido a la acción de bivalvos xilófagos. Este hecho desató la necesidad de una intervención de emergencia, y ahí es donde la ingeniería efímera entró en juego.



Figura 129. Colapso del puente debido a la acción de bivalvos xilófagos en la cimentación.

### El proceso de intervención: Ingeniería efímera en acción

#### Referencias históricas y modernización de técnicas

El equipo de ULMA revisó técnicas históricas para comprender cómo se habían abordado estos desafíos en el pasado. Se encontraron fotos del Instituto de Patrimonio Cultural de España que mostraban cimbras de madera utilizadas en la construcción de puentes en el siglo XIX, un método que, aunque efectivo en su momento, no era aplicable en este caso debido al riesgo de colapso inminente del puente. Otros diagramas antiguos mostraban métodos de clavado de estacas y el uso de husillos y cajas de arena, técnicas que han sido reemplazadas en la actualidad por sistemas más avanzados como los gatos hidráulicos.



**Figura 130.** Puente sobre el río Tera (Zamora). Foto Laurent (~1860). Instituto del Patrimonio Cultural de España, MCD.

En cuanto a los elementos de soporte, un detalle curioso fue el uso de las “holivelas”, dispositivos antiguos utilizados antes de que existieran los tacos de expansión modernos y las normas técnicas sobre hormigón fisurado. Aunque los ingenieros de la época no contaban con las herramientas actuales, su perspicacia permitía soluciones efectivas con los recursos disponibles.

### **Evaluación de la situación**

Tras el colapso parcial del puente, la primera fase de intervención consistió en la evaluación de los daños y la búsqueda de soluciones que permitieran su estabilización sin comprometer la integridad del resto de la estructura. Enfrentados a esta situación, ULMA Construction, empresa encargada de la solución de sostenimiento, tuvo que desplegar todo su “almacén de ideas”. Estas soluciones tipo, acumuladas a lo largo de los años, no son simples plantillas que se puedan aplicar sin más, ya que cada proyecto tiene sus particularidades. El desafío aquí era innovar combinando la tecnología existente con nuevas aplicaciones en un entorno complejo, como el de la desembocadura de una ría con terrenos lodosos y poco competentes.

Una de las propuestas iniciales fue el uso de lanzadores de vigas, pero las condiciones de contorno y los espacios disponibles, en un entorno puramente urbano, imposibilitaron esta solución. La principal preocupación era encontrar puntos de apoyo seguros, ya que la pila número dos estaba completamente inservible y la número uno era poco confiable.

### **Una solución innovadora: uso de cimbras autolanzables**

Se optó por una solución creativa: combinar la tecnología de cimbras autolanzables, estructuras metálicas pesadas que proporcionan gran rigidez, con otros elementos de soporte. Las cimbras autolanzables, que normalmente se utilizan en vanos de 40-60 metros, se adaptaron para este caso particular, permitiendo trabajar sin apoyarse en el propio puente dañado. Una técnica que no se había considerado antes para un puente de estas características históricas. La idea era crear una macroestructura que apoyara en las pilas uno y tres, sin depender del puente dañado para su montaje. La cimbra autolanzable CA55 se utilizó para esta tarea, empleando un sistema de montaje que requería otro elemento auxiliar, una cimbra de apoyo adicional, creando un elemento auxiliar sobre otro elemento auxiliar, es decir, una estructura “sobre una estructura”.



**Figura 131.** Cimbra autolanzable CA55 apoyada sobre pila P1 y pila P3.



**Figura 132.** Cimbra autolanzable CA55 sobre torres de cimbra OC durante su montaje.

Previo al montaje de la cimbra autolanzable, las pilas 1 y 3 fueron reforzadas con micropilotes, con el fin de absorber todos los esfuerzos extra que les iban a llegar y, a su vez, dejarlas definitivamente consolidadas de cara al futuro.



**Figura 133.** Cimbra autolanzable CA55 con andamio multidireccional instalado.

### **Sostenimiento del puente Deba: fase de emergencia**

Una fase especialmente relevante fue el sostenimiento del puente sin trabajar directamente debajo de él, debido al riesgo de colapso. Una vez montada la cimbra autolanzable, se procedió a la fase de sostenimiento del puente para evitar un derrumbe total. Dado que el acceso directo por debajo del puente era demasiado peligroso, se implementó una solución poco frecuente utilizando un sistema de flotación. Se emplearon barcazas modulares para colocar encofrados justo debajo del puente, sin la necesidad de que los operarios trabajaran directamente bajo la estructura. Este método permitió montar los elementos necesarios para sostener el puente con total seguridad.

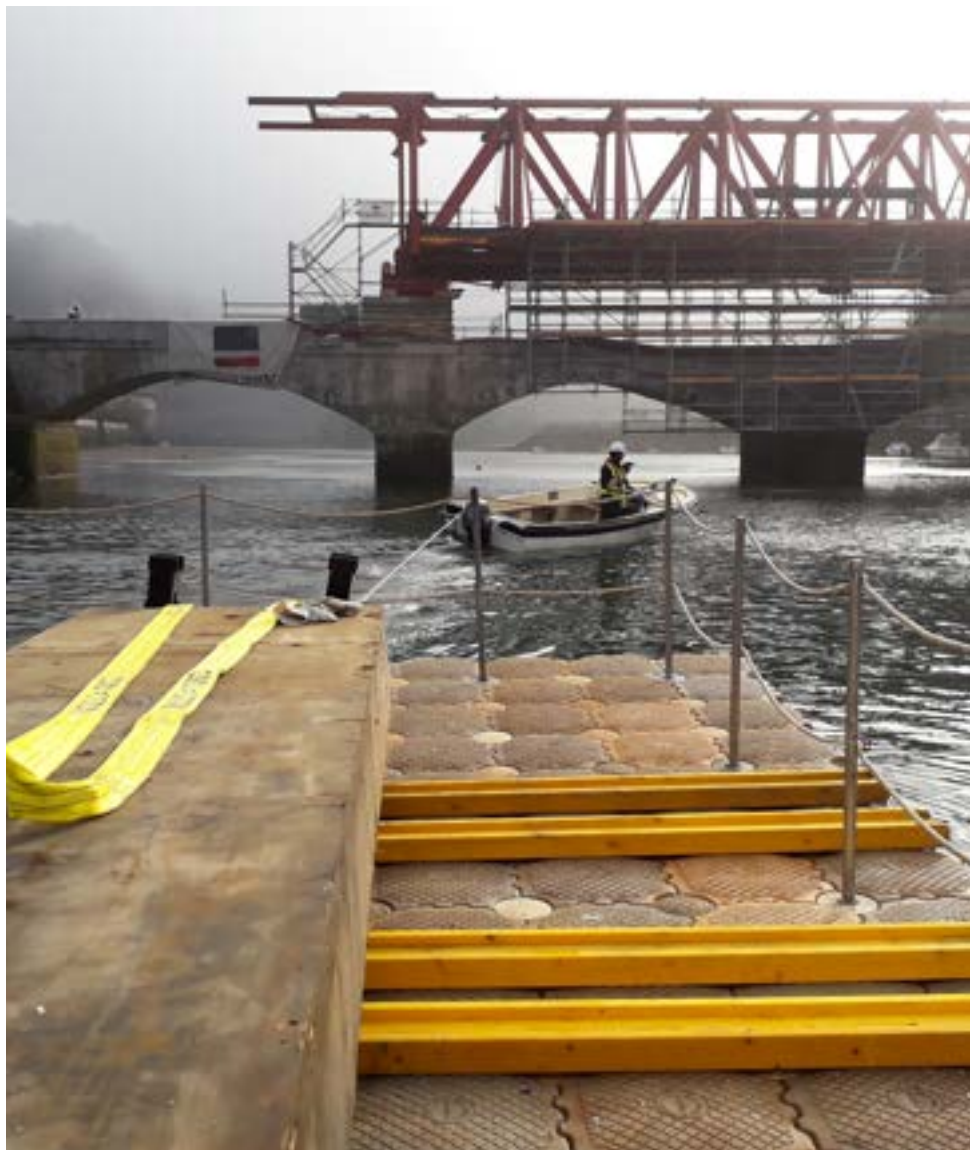


Figura 134. Viaje del paño de encofrado desde el puerto al puente.

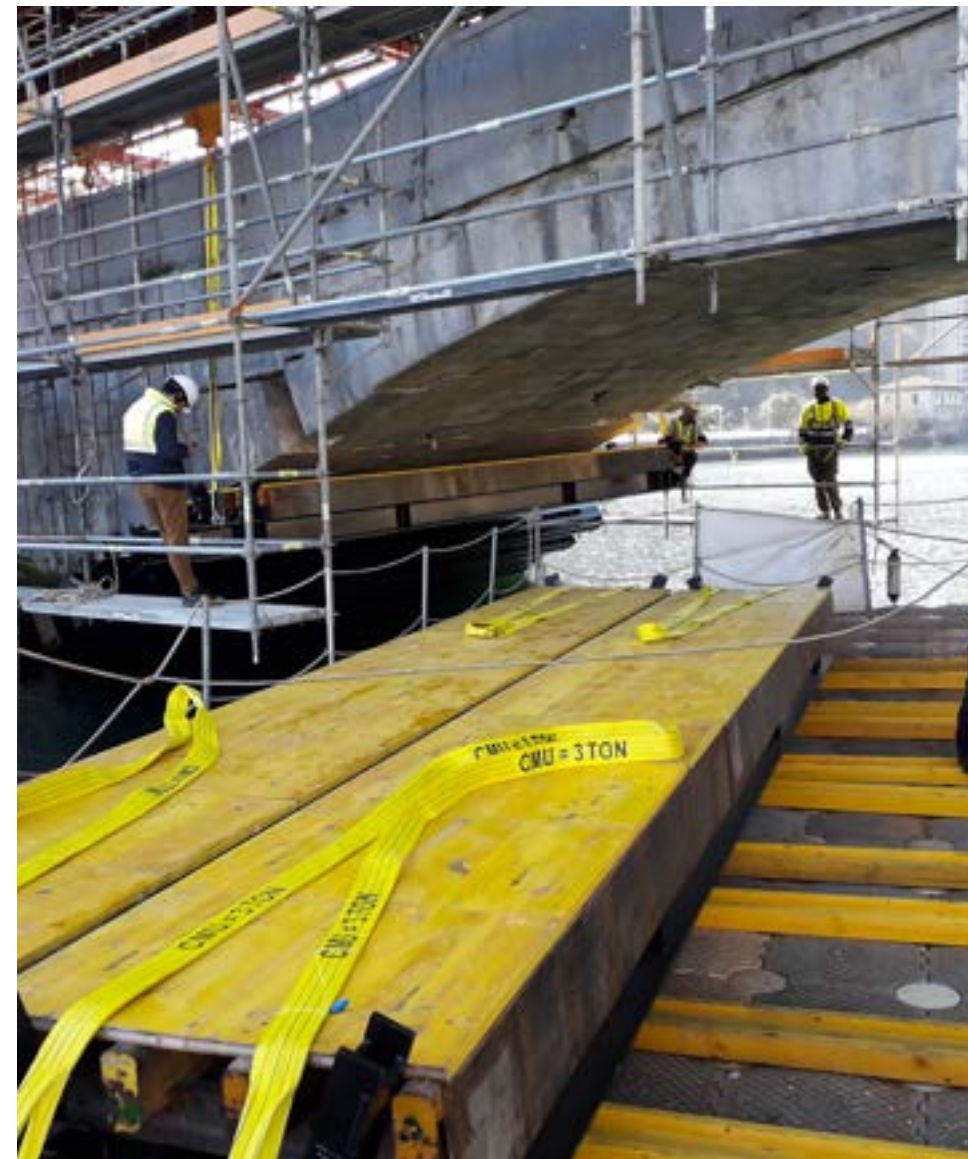


Figura 135. Colocación de los paños de encofrado bajo el puente.

Se utilizó el propio muelle deportivo de Deba, situado al lado del propio puente, para el premontaje de los paños de encofrado, lo que permitió un montaje rápido y seguro.



**Figura 136.** Premontaje de los paños en el puerto marítimo deportivo.

Otro detalle llamativo fue el diseño de un sistema de barras Dywidag, un sistema de alta resistencia, para colgar los elementos de soporte. Se utilizaron un total de 200 barras, de 25 mm y 15 mm, configuradas de manera que parecían un “abanico” de acero, capaces de soportar y regular la carga de todo el puente. Estas barras permitieron hacer pesajes en tiempo real, asegurando que el puente no solo estuviera seguro y estable, sino también equilibrado su carga durante toda la intervención.



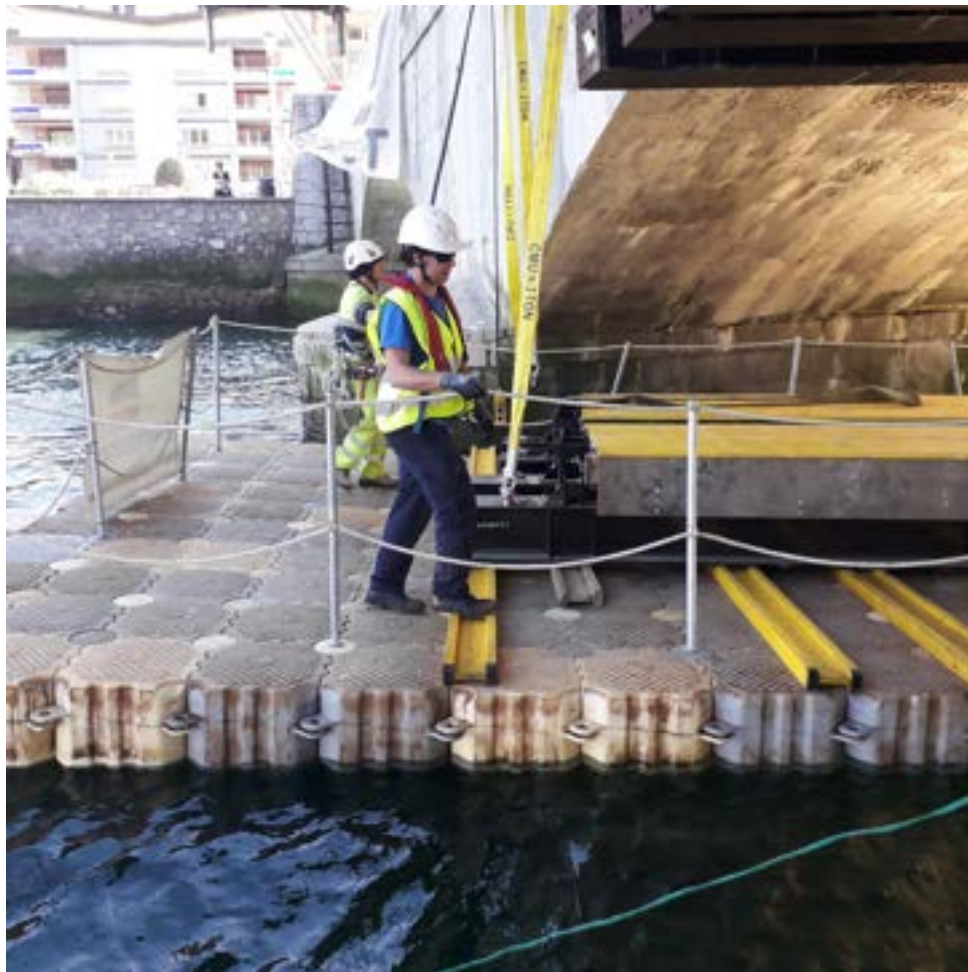
**Figura 137.** Paños de encofrado ya instalados.



**Figura 138.** Abanicos de barras Dywidag de suspensión de los encofrados.

### Industrialización del proceso: polipastos y puente grúa

Un elemento clave en la eficiencia y seguridad del proyecto fue el uso de polipastos y un pequeño puente grúa diseñado específicamente para esta obra. Los polipastos permitieron manejar cargas con gran control y seguridad, evitando que los operarios se vieran obligados a realizar esfuerzos físicos peligrosos. Esto “humanizó” el trabajo, garantizó las condiciones ergonómicas, la rapidez y facilitó la precisión en los ajustes. El puente grúa se utilizó para mover las dovelas y se desplazaba lo largo de todo el fondo de la viga autolanzable, barriendo toda la longitud en la que se intervino.



**Figura 139.** Colocación de cinchas para el izado de los paños mediante polipastos eléctricos.



**Figura 140.** Polipastos de izado de los paños.

Los apoyos de la cimbra autolanzable se diseñaron dejando el hueco suficiente para que pasara una pequeña carretilla elevadora y poder extraer las dovelas en palets.

### Deconstrucción y reconstrucción del arco

#### Desmontaje del puente

La fase más crítica del proyecto fue el desmontaje del arco del puente. Tras asegurar la estructura, comenzó la fase de vaciado y reconstrucción del puente. Una vez vaciados los rellenos, los ingenieros descubrieron las hiladas originales de piedras: las dovelas exteriores estaban perfectamente labradas, mientras que las interiores eran más rudimentarias. Otro descubrimiento interesante fue el uso de cuñas de madera entre las dovelas, un método antiguo para permitir cierto movimiento y evitar que las piedras se dañaran con el tiempo.



Figura 141. Proceso de vaciado y retirada de tímpanos.



Figura 142. Roscas exentas y puente grúa para la manipulación de dovelas.

Utilizando el sistema de barras Dywidag se tesaron todas ellas de modo que soportaban el 100% del peso del puente. En ese momento es en el que se pueden retirar las dovelas originales de forma controlada. Este proceso fue minuciosamente planificado para mantener el equilibrio estructural y minimizar el riesgo de daño adicional.



Figura 143. Momento de apertura de la clave.

El momento “estelar” del proyecto fue cuando se retiró la clave del arco, haciendo evidente que este ya no trabaja y que el puente está siendo soportado por la cimbra. Esta operación requirió una coordinación milimétrica y un control total de la tensión en cada una de las barras de soporte. Este tipo de precisión y control solo fue posible gracias a la integración de técnicas modernas con métodos de construcción histórica.

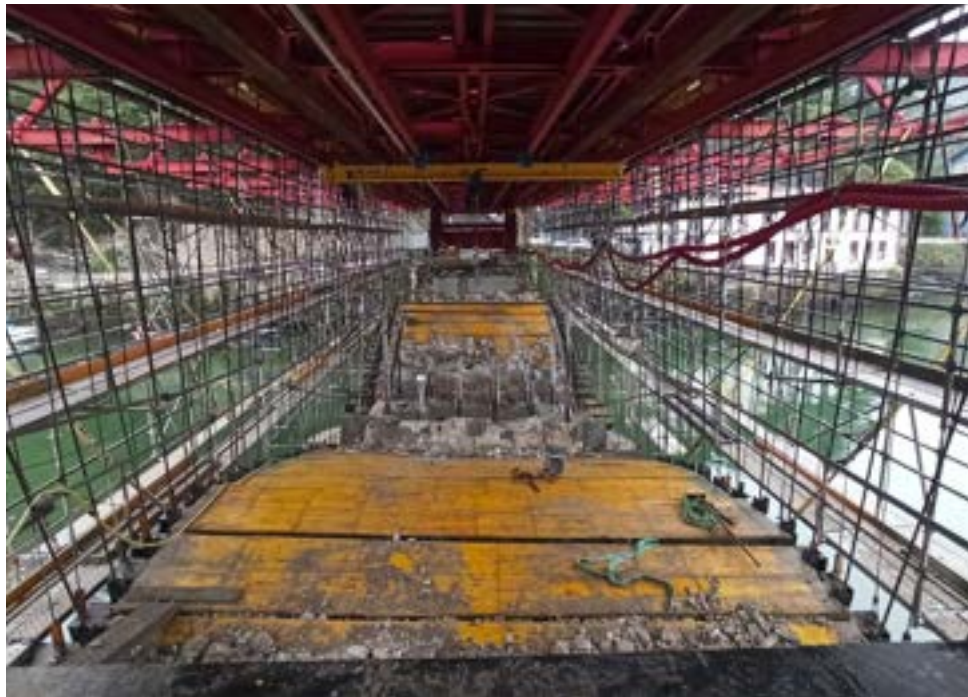


Figura 144. Extracción completa de las dovelas.

#### Valor histórico y uso de elementos auxiliares en la restauración del puente Deba

Desde 2008, el puente Deba fue cerrado al tráfico de vehículos, convirtiéndose en una vía de uso exclusivamente peatonal. Este cambio respondió, no solo a consideraciones de conservación estructural, sino también a su importancia histórica y patrimonial, destacando su vinculación con el Camino de Santiago. El puente servía como un nexo fundamental para los peregrinos y los residentes de un barrio situado en la orilla opuesta del río, fortaleciendo así su valor cultural y simbólico.

Durante su rehabilitación, con el fin de mantener su uso cotidiano, se construyó una pasarela peatonal dentro de la propia cimbra autolanzable para el paso de la gente, utilizando un andamio modular europeo multidireccional. Este tipo de andamio, aunque sencillo en su diseño, es versátil y adecuado para múltiples aplicaciones, tanto en la edificación residencial y no residencial como en la obra civil. En este caso, se utilizó una versión especialmente diseñada para pasarelas peatonales, equipada con barandillas y cumpliendo con todas las normativas del Código Técnico de Edificación en relación con la resbaladicidad y seguridad. Estas pasarelas fueron instaladas en ambos accesos del puente, proporcionando un tránsito seguro para los usuarios durante los trabajos de restauración.



Figura 145. Escalera auxiliar de acceso peatonal.



Figura 146. Pasillo de la pasarela peatonal por el interior de la autocimbra.

Aproximadamente cada seis meses, se realizaban mediciones de peso en cada una de las barras estructurales para comprobar que no se habían producido movimientos o deformaciones significativas. Afortunadamente, estos controles confirmaron que el puente se mantuvo estable y en su posición original, asegurando así su integridad.

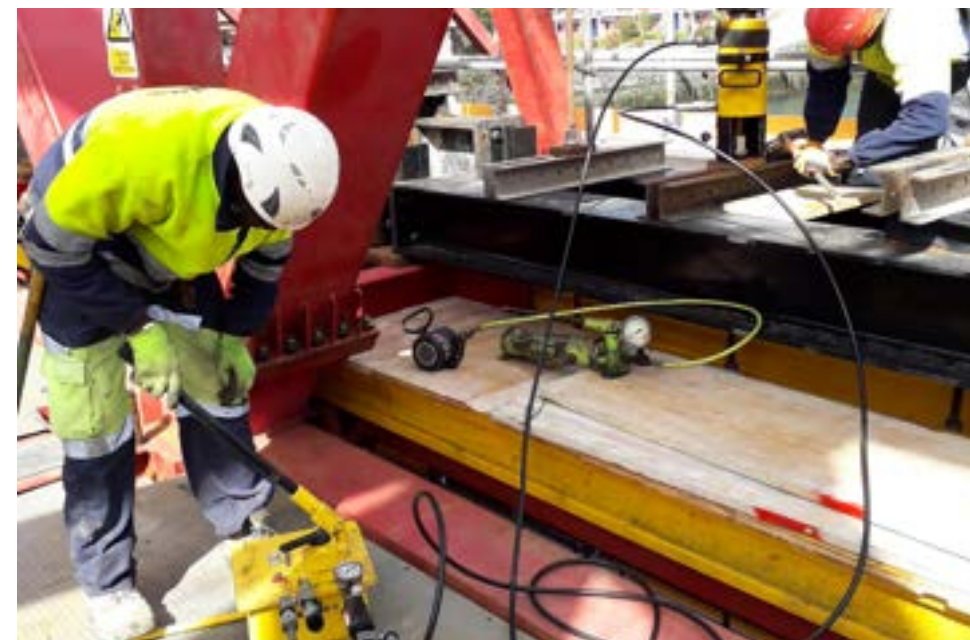


Figura 147. Tesado de las barras.



Figura 148. Pesaje de una de las barras.

### Montaje en blanco: Evaluación preliminar de técnicas de restauración

Como parte del proceso de planificación, se realizó un “montaje en blanco”: una fase de prueba fundamental en la restauración de estructuras históricas. Este procedimiento consiste en llevar a cabo una simulación completa del montaje final para evaluar la viabilidad técnica y la efectividad de los métodos propuestos. En este caso específico, el montaje en blanco implicó la construcción de una pequeña cimbra donde se colocaron las dovelas previamente desmontadas en su posición original. Se utilizaron morteros seleccionados que se consideraron apropiados para la restauración, con el objetivo de verificar si el enfoque propuesto cumpliría con los requisitos estructurales y de conservación.



Figura 149. Colocación de dovelas en el montaje en blanco.

Una vez comprobada la efectividad del método mediante el montaje en blanco, se procedió a retirar los elementos temporales de soporte, como los tensores y las barras, para evaluar la estabilidad del montaje bajo condiciones reales. Los resultados confirmaron que la estructura era capaz de mantenerse sin asistencia adicional, validando así las técnicas empleadas para la restauración definitiva.



Figura 150. Arco en funcionamiento tras el montaje en blanco.

### Recolocación de las dovelas y fase final de reconstrucción

Una vez que las dovelas originales se habían desmontado y catalogado, se procedió a la fase de reconstrucción. Utilizando el puente grúa y los sistemas de anclaje, las dovelas se recolocaron con precisión en su posición original.



Figura 151. Elevación de los encofrados a la nueva posición corregida.

Un detalle interesante del proceso de restauración es el trabajo meticuloso que implicó la catalogación y marcaje de las 1200 piedras que conformaban el puente (de las que previamente se recuperaron hasta el 90%), las cuales debían ser numeradas y organizadas cuidadosamente en sus ubicaciones originales. Durante la fase de desmontaje, las dovelas se retiraron siguiendo un criterio establecido, marcado en color azul.

Al marcar una determinada hilada, se llegó a una dovela que marcamos con el número “33” y nos dimos cuenta que esa dovela ya tenía un antiguo número “33” marcado en rojo, coincidiendo con el marcaje actual en azul. Este hallazgo sugiere que el método empleado por el equipo de restauración coincidió con el enfoque y la lógica utilizada por los constructores del puente en su momento original. Esto refleja una continuidad en el pensamiento y la atención al detalle que subyace tanto en el trabajo contemporáneo como en el histórico.

Con el puente completamente reconstruido y estabilizado, la última fase consistió en la retirada de la cimbra autolanzable. Utilizando de nuevo cimbras de apoyo auxiliares, de tal manera que había una cimbra sobre otra cimbra, se desmanteló la estructura de forma segura, dejando el puente en su estado final, funcional y estructuralmente sólido.



**Figura 152.** Desmontaje de la cimbra autolanzable sobre torres de cimbras OC auxiliares.

### Un premio a la “magia” de la ingeniería efímera

El proyecto de rehabilitación del puente Deba no solo resalta la importancia de la ingeniería efímera, sino también su capacidad para innovar y adaptarse a desafíos complejos. Este caso demuestra cómo, a través del uso de técnicas avanzadas de ingeniería temporal, es posible realizar intervenciones críticas en estructuras históricas, preservando tanto su integridad como su valor patrimonial. La “magia” de la ingeniería efímera reside en su habilidad para hacer realidad proyectos que, de otro modo, serían impensables, combinando tradición e innovación en un delicado equilibrio.

Esta obra de restauración fue reconocida con un galardón en los Premios Europeos de Patrimonio/Europa Nostra 2023, que reconoce proyectos patrimoniales de 21 países, y la Comisión Europea y Europa Nostra lo señalaron como “un magnífico ejemplo de ingeniería civil”.



**Figura 153.** Estado final del puente Deba tras su reparación.

## Referencias

- [1] Camino de Santiago. Consumer EROSKI. Fundación EROSKI. Etapa de Deba a Markina-Xemein. <https://caminodesantiago.consumer.es/los-caminos-de-santiago/camino-del-norte/etapa-de-deba-a-markina-xemein>
- [2] EUROPA PRESS (13 de junio de 2023). La rehabilitación del Puente de Deba (Gipuzkoa), galardonada en los Premios Europeos Patrimonio/Europa Nostra 2023. EUROPA PRESS. <https://www.europapress.es/eseuropa/noticia-rehabilitacion-puente-deba-gipuzkoa-galardonada-premios-europeos-patrimonio-europa-nostra-2023-20230613130554.html>
- [3] Gipuzkoa. Gipuzkoako Foru Aldundia. Diputación Foral de Gipuzkoa. Proyectos Emblemáticos Puente Deba-Mutriku. <https://www.gipuzkoa.eus/es/web/kultura/patrimonio/proyectos/puente-deba>

## Construir un puente en la Edad Moderna. La promoción y contratación de una obra hidráulica en el siglo de la Ilustración

Daniel Crespo Delgado y Laura Hernández Rodríguez

Durante la Edad Moderna se sucedieron varias y diversas innovaciones en la ingeniería civil en general y en los puentes en particular. Queremos empezar destacando una de esas novedades, que no tiene que ver ni con materiales, ni con soluciones estructurales, que suelen ser las que conforman prioritariamente las narrativas de la historia de la ingeniería. Sin embargo, la novedad que subrayamos es igualmente clave y tiene que ver con algo tan fundamental también en este ámbito como son las palabras escritas.

Desde finales del siglo XV se empezó a escribir sobre cómo hacer puentes con una intención instructiva, se empezó a escribir textos o capítulos, más o menos extensos, sobre el lugar más conveniente dónde situar estas estructuras, sus materiales, cómo cimentarlas y levantar sus pilas o sus bóvedas, etc. En ocasiones, estos escritos consiguieron imprimirse. Siguiendo muy de cerca a Vitruvio, que en el libro VIII de su famoso tratado de arquitectura se centró en la hidráulica, el humanista italiano Leon Battista Alberti en el *De Re Aedificatoria*, cuya primera impresión data de 1485, ya abordó distintos aspectos relativos a la construcción de puentes (García López 2019) (figs. 154. y 155.).

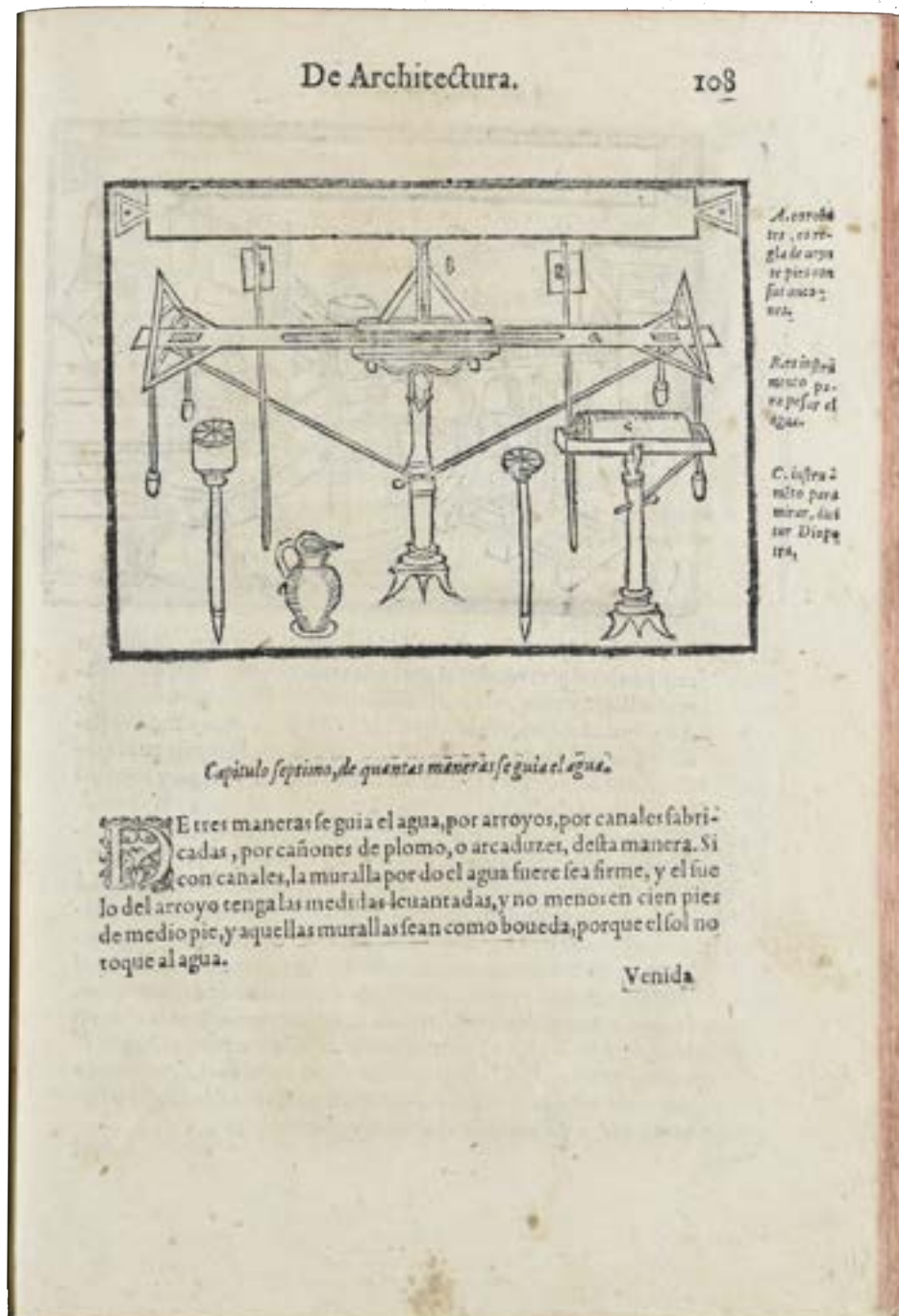


Figura 154. Vitruvio, De Architectura... traducidos del latín en castellano por Miguel de Urrea, Alcalá de Henares, Juan Gracián, 1582. Ilustración del libro VIII, dedicado a la hidráulica.



Figura 155. Leon Battista Alberti, L'Architettura di Leonbatista Alberti, Florencia, Lorenzon Torrentino, 1550. Este ejemplar del tratado de Alberti, conservado en la Biblioteca Nacional de España, presenta anotaciones manuscritas de un autor anónimo.

También lo hizo, incluso con mayor detención, el anónimo autor de *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas*, manuscrito del reinado de Felipe II que se ha considerado el tratado hidráulico de mayor envergadura del Renacimiento europeo (García Tapia 1997). La nómina de autores de los siglos XVI y XVII podría ampliarse notablemente, pero a principios del XVIII se produjo un hecho destacable: aparecieron los primeros tratados dedicados exclusivamente a la edificación de puentes. *El Traité des Ponts* (1716) del ingeniero francés Henri Gautier (fig. 156.) y la *Historischer Schauplatz, in welchem die Merkwürdigsten Brücken* (1735) de Carl Christian Schramm (fig. 157.) podrían ser considerados dos de los primeros de esta lista, que no haría sino incrementarse en las décadas siguientes. En España, el arquitecto Antonio de San José Pontones escribió entre 1759 y 1768 un completo tratado sobre esta materia, el primero en español, titulado *Architectvra hydravlica en las fabricas de puentes. Methodo de proyectarlos y repararlos. Instrvccion a los maestros de quanto conviene saber para executar esta calidad de obras* (fig. 158.), que por desgracia permaneció manuscrito y que, hasta la fecha, no se ha impreso (Cano 2004; Orfeo, León, Crespo 2022).

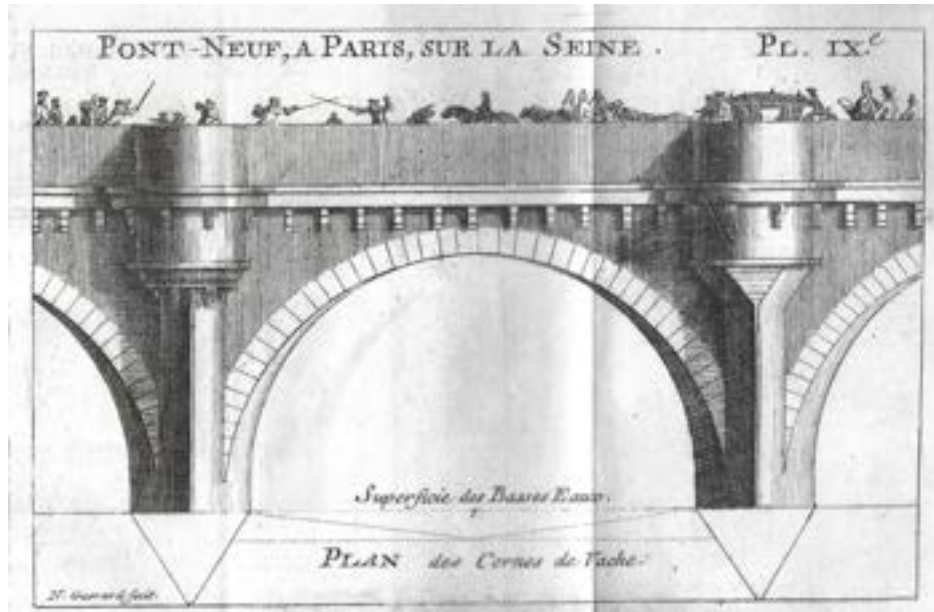


Figura 156. Alzado del Pont-Neuf de París, en Henri Gautier, Traité des Ponts, Paris, André Cailleau, 1716.

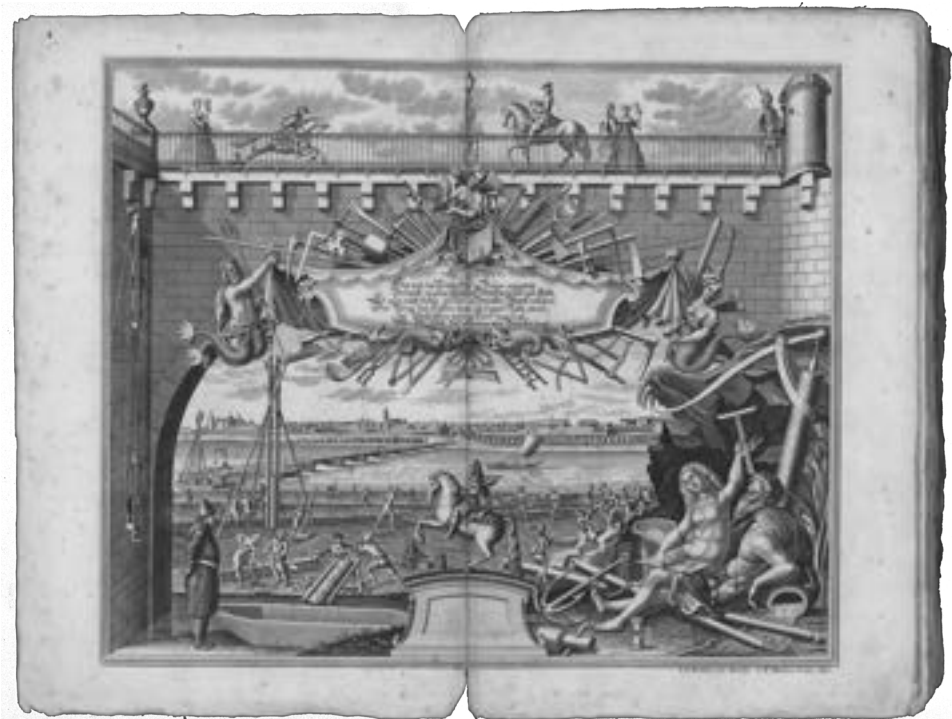


Figura 157. Frontispicio de Carl Christian Schramm, Historischer Schauplatz, in welchem die Merkwürdigsten Brücken, Leipzig, Bernhard Christoph Breikkopf, 1735.

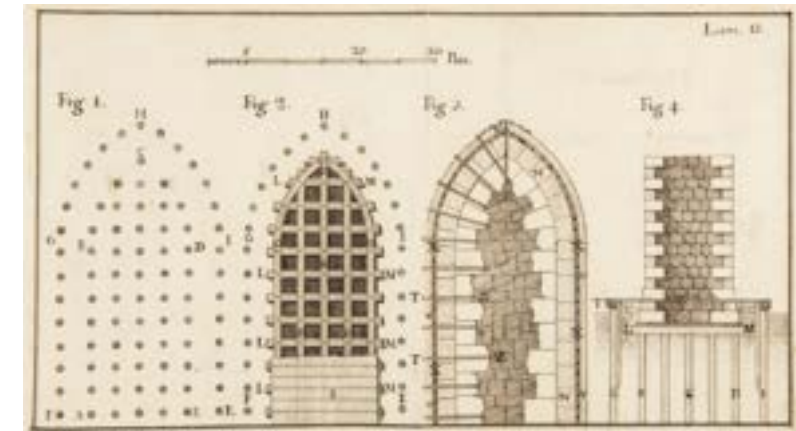


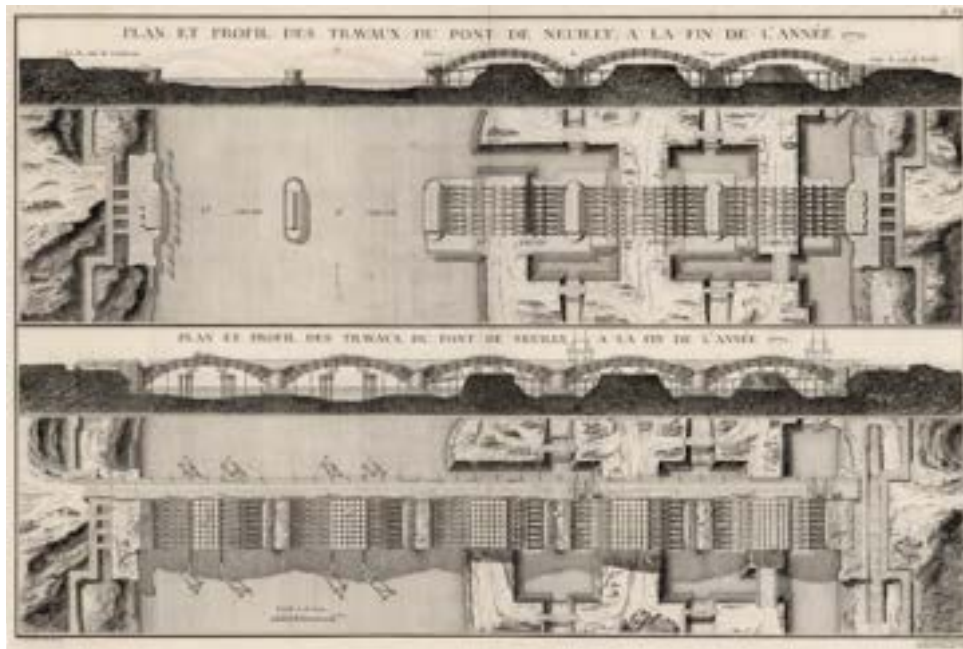
Figura 158. Pilotaje de la pila de un puente, en Fray Antonio de San José Pontones, Arquitectura Hydraulica en las fabricas de puentes... 1768. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Si hay una idea que esta literatura reiteró es que la llamada por entonces arquitectura hidráulica y, de manera especial, la construcción de puentes era una empresa especialmente compleja. En muchas ocasiones se calificó como el mayor desafío para un arquitecto. Así lo afirmó, por ejemplo, el ingeniero militar Belidor en la segunda parte del tratado de construcción hidráulica más influyente y difundido del periodo, la *Architecture hydraulique* (1737-1739) (fig.159.). De hecho, sus palabras sobre la dificultad de este tipo de empresas fueron traducidas y transcritas por Pontones al inicio de su citado tratado.

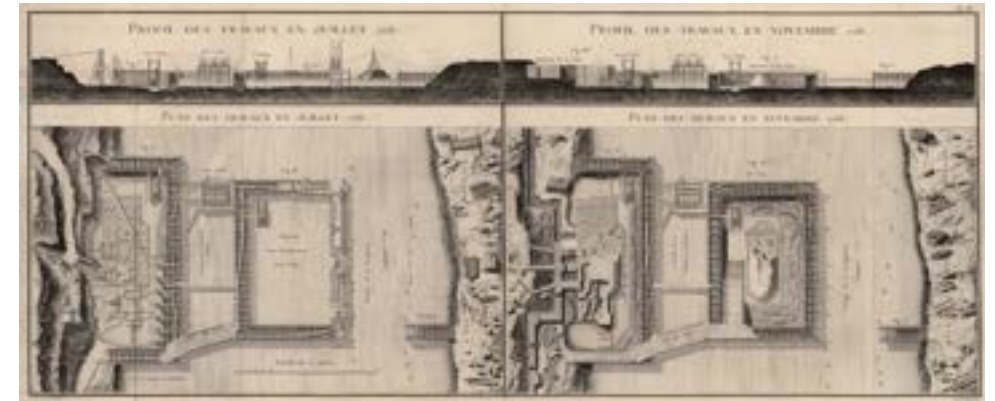


Figura 159. Portada de la segunda parte de Bernard Forest de Belidor, Architecture Hydraulique, Paris, Charles-Antoine Jombert, 1770.

Sin embargo, incidiremos en otro de estos tratados de la Edad Moderna, en uno que es seguramente uno de los libros más bellos y espectaculares jamás publicado sobre puentes. Nos referimos a la *Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres* (1782-1783) del ingeniero de caminos francés Jean-Rodolphe Perronet. Gracias al deslumbrante desarrollo que los grabadores y la imprenta francesa tuvieron en el siglo XVIII, Perronet pudo mostrar, a través de grabados de altísima calidad, casi paso a paso, notarialmente, cómo se construía un gran puente de sillería (León y Bauder 1999). El despliegue gráfico de este libro certificó visualmente la enorme complejidad de levantarlos, las complicadas operaciones de desvío de aguas, pilotaje, erección de cimbras, colocación de materiales y un largo etcétera de operaciones que conllevaban estas estructuras (figs. 160. y 161.).



**Figura 160.** Puente de Neuilly entre finales de 1770 y 1771, en Jean-Rodolphe Perronet, *Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres...* París, Imprimerie Royale, t. I, 1782-1783.



**Figura 161.** Evolución de las obras en la cimentación del puente de Neuilly entre julio y noviembre de 1768, en Jean-Rodolphe Perronet, *Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres...* París, Imprimerie Royale, t. I, 1782-1783.

Efectivamente, las estampas del libro de Perronet revelan la envergadura técnica y material pero también humana e intelectual, esto es, la movilización de muchos recursos de todo tipo, económicos, de maquinaria y trabajadores, de ingenio y organización, que suponía la empresa de un puente. Todo ello despertaba una admiración por estas obras nutrida en gran parte por su excepcionalidad. A día de hoy, la inédita multiplicación de los pasos desde inicios del siglo XX ha hecho que el público vea como una banalidad un gran número de ellos, todos los que no son insólitos por sus dimensiones o estética. Sin embargo, antiguamente no era así porque resultaban una singularidad del paisaje. Por este motivo, muchos estuvieron rodeados de leyendas y narrativas extraordinarias que, por desgracia, no han merecido todavía la suficiente atención de los investigadores por considerarlas ajenas al relato historiográfico y no una de sus facetas.

Sea como fuere, la dificultad que históricamente presentaba la construcción de un puente tiene muchas derivadas. Por ejemplo, si una obra de este tipo se veía en su momento como algo complejo, casi un pulso, es lógico que pudiese asumir contenidos emblemáticos y representativos, como lo pueden hacer también hoy en día las obras públicas más desafiantes (Crespo y Rosado 2021). De hecho, Perronet dedicó su libro a Luis XVI (fig. 162.), es decir, buscó no solo la protección real para él y para el cuerpo de ingenieros de caminos al que dirigía, sino que pretendió que tan soberbios puentes se viesen como un signo más del poder y la magnificencia del monarca. Es más, sabemos que el rey regaló y mandó este libro a otras cortes europeas, entre ellas la española (D'Orgeix 2019; Montel 2020).

Pero a pesar del interés de todas estas posibles lecturas, en estas líneas nos gustaría detenernos en que la movilización de tantos y tan diversos recursos también implicaba contar con una estructura administrativa, dotarse de una gestión que permitiese evaluar y aprobar proyectos, nombrar técnicos y constructores, certificar su labor, recaudar y pagar de manera adecuada las obras, etc. Lo cual veremos que en ocasiones fue tanto o más arduo que idear ingeniosas estructuras o soluciones técnicas. Si bien, esta dimensión de cómo era el proceso administrativo para edificar un puente suele pasar desapercibida, creemos que añade otra capa más de interés histórico y cultural al puente, enriqueciendo nuestra potencial comprensión del mismo.

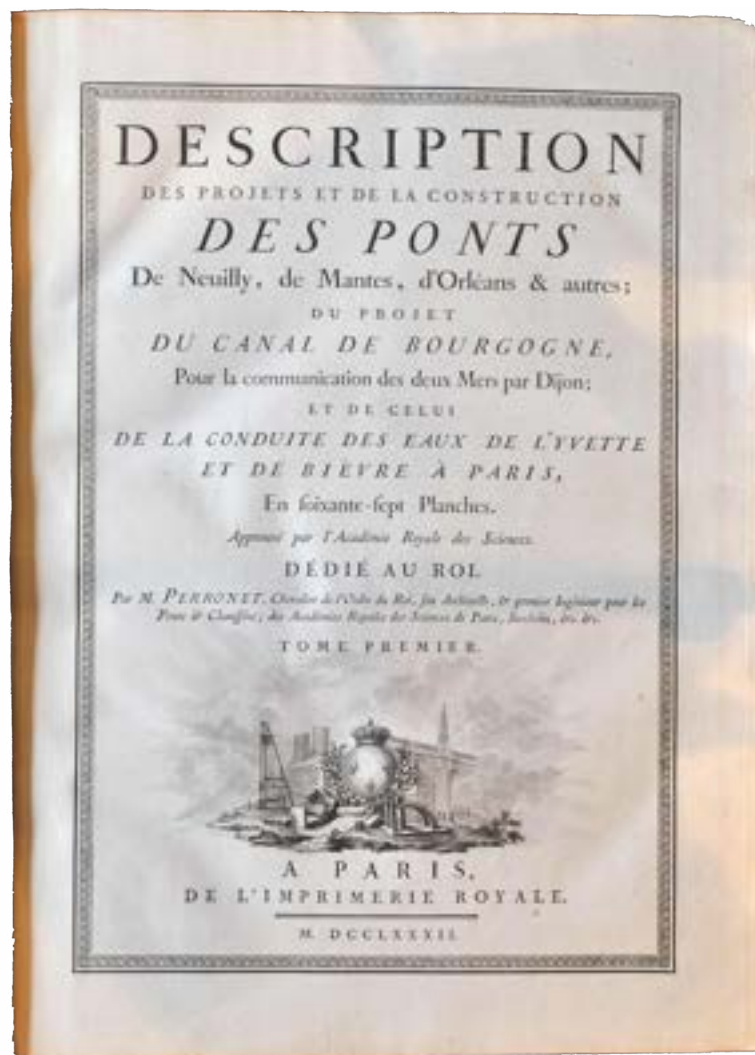


Figura 162. Portada de Jean-Rodolphe Perronet, Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres... París, Imprimerie Royale, 1782-1783.

Esta aproximación es bastante singular, pero tiene un problema: resulta imposible explicar cómo se gestionaba la construcción de un puente en un periodo tan amplio. Y no es solo una mera cuestión de espacio. Aunque lo tuviésemos tampoco lo podríamos hacer porque es un tema complejo y del que nos falta mucho por conocer. La administración antigua es un verdadero laberinto. La normativa no estaba bien establecida y codificada, no siempre se cumplía, estaba llena de excepciones y recovecos y, por si esto no fuera suficiente, nos faltan estudios que nos ayuden a entender todos los procesos y todas sus caras<sup>1</sup>.

Ante este estado de cosas, centraremos el foco en un hito particular, que esperamos sea revelador. Y para ello nos tenemos que trasladar a la España de mediados del siglo XVIII, cuando se produjo algo llamativo: la apertura de un expediente, al más alto nivel de la administración de la Corte, de una consulta “sobre los puentes y las calzadas que se necesitan construir de nuevo y los medios para cortar los abusos que actualmente se padecen” (Archivo Campomanes, leg. 14-18). Es cierto que a finales del siglo XVI, en las Cortes de Castilla, ya se abordaron y se intentó poner coto a los desmanes que se repetían sobre todo en la financiación de los puentes (Aramburu-Zabala 1992). Sin embargo, a mediados del siglo XVIII se reflexionó sobre todo el proceso en general y fue además la propia administración real quien promovió esta consulta.

¿Por qué ocurrió esto a mediados del siglo XVIII? Lo cierto es que fueron unos años singulares para los puentes y las comunicaciones en España por distintos motivos, de los que destacaré tres. En primer lugar, por la extensión de las ideas mercantilistas, que establecieron una correspondencia directa entre la fortaleza de una monarquía y su riqueza. Que las comunicaciones estimulaban el comercio y la industria no era una idea que naciese en este momento, pero se repitió cada vez con mayor insistencia en la literatura económica y política (Perdices y Ramos 2019; Crespo 2019) (fig.163.). Por otro lado, también fue un estímulo la cada vez más consolidada percepción de la decadencia de la monarquía hispánica y, por tanto, que se tenía la necesidad de tomar medidas para poner remedio a esta creciente pérdida de poder en el contexto internacional. También cabría incidir en el ascenso de dos ministros que acumularon mucho poder en los años centrales del siglo, como José de Carvajal y el marqués de la Ensenada, especialmente preocupados por mejorar las infraestructuras (Delgado 1999; Gómez Urdáñez 2017).

1 Sin embargo, se han llevado a cabo trabajos de gran interés que aportan noticias sobre estas cuestiones: Madrazo 1984; Jurado 1988; Aramburu-Zabala 1992; González Tascón 1999; Gómez Darriba 2024.



**Figura 163.** Bernardo Ward, Proyecto económico, en que se proponen varias providencias, dirigidas a promover los intereses de España... Madrid, Joaquín Ibarra, 1779. Biblioteca Nacional de España.

Todo ello hizo que el interés por las obras de comunicación y por los puentes en concreto se fuese consolidando y que fuese adquiriendo un mayor protagonismo en la Corte. Habría que ponerle muchos peros y limitaciones a toda la retórica de la época sobre las obras públicas, pero podemos decir que fueron unos años claves en la historia de la ingeniería de caminos. Entre otras cosas porque a partir de ese momento las obras de comunicación y abastecimiento ya estuvieron presentes, ya no desaparecieron de los despachos ministeriales. Y esta consulta al Consejo de Castilla y a altas autoridades gubernamentales que hemos citado y nos servirá de guía es un ejemplo de ello.

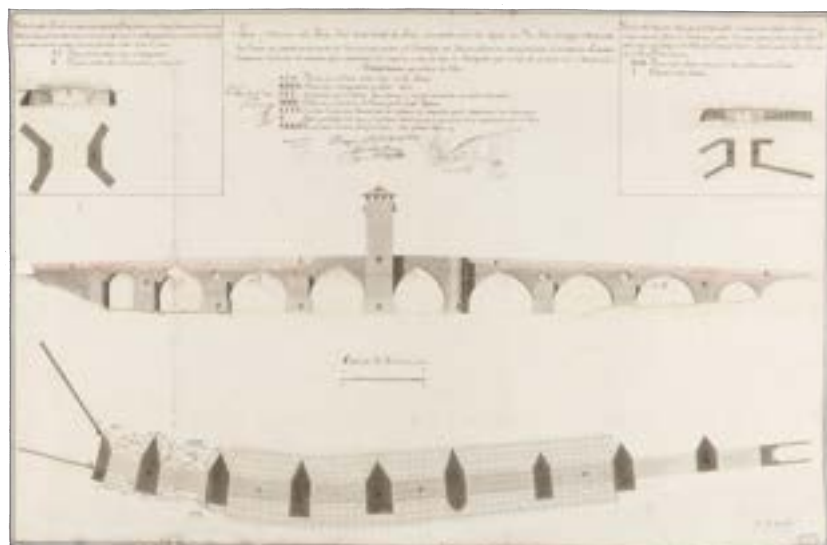
En esta consulta, iniciada a finales del reinado de Fernando VI y que todavía coleaba al inicio del de Carlos III, se detalló cómo funcionaba la adjudicación de un puente y la gestión de su construcción. Unos procedimientos que, en términos generales y para cierto tipo de puentes, no difería mucho de lo que se venía haciendo al menos desde el siglo XVI. La solicitud de edificación o de reparación de un puente que debían hacerse por “cuenta del común”, es decir, que debían financiarse con recursos de las localidades beneficiadas – no eran todos los puentes pero sí los más numerosos – empezaba con una solicitud de una autoridad, institución o comunidad local, es decir, partía habitualmente de figuras como un corregidor o un intendente, pero también podía surgir de la petición de un gremio o un grupo de notables. Esta petición pasaba a un órgano central para su evaluación, que no era otro que el Consejo de Castilla (fig. 164.).



**Figura 164.** Alejandro Carnicero, El Consejo de Castilla, 1753-1761, mármol. Museo Nacional del Prado.

El Consejo era un órgano colegiado, de origen medieval pero que estuvo en funcionamiento hasta bien entrado el siglo XIX. Tenía amplias competencias en cuestiones de policía urbana y por ello, durante la Edad Moderna, los proyectos de puentes llegaron a esta institución, que es una pieza clave en la historia de los puentes en España.

Al Consejo podía llegar solo la petición de construcción o reparación de un puente, o dicha petición podía acompañarse de un proyecto, de unas trazas y unas condiciones (fig. 165.). Si no era el caso, el Consejo proponía un maestro o solicitaba a una autoridad local o regional que buscara uno. Por tanto, para los maestros era fundamental tener buenos contactos en estos círculos. Una vez que el alto tribunal constataba la necesidad de una obra, aprobaba el proyecto y su presupuesto. Se convocaba una subasta pública donde los maestros interesados presentaban sus ofertas o posturas, maestros que no podían ser los mismos que habían dado las trazas para evitar inflar los presupuestos. Como los puentes eran obras públicas y financiadas “por el común”, el Consejo se informaba sobre los recursos locales. Al tener un sistema impositivo muy desigual, la administración estaba permanentemente arruinada. Por eso se solían llevar a cabo los famosos repartimientos. Es decir, el coste total del puente se repartía entre las poblaciones que estaban a una determinada distancia, que no era fija, prorrateándose en función de sus vecinos. Para recaudar este dinero se echaba mano de la administración local, pero esta recaudación era específica, es decir, contaba con su escribano y una caja de caudales particular.



**Figura 165.** Francisco Antonio Pérez del Hoyo, Planta y elevación del Puente Real de la ciudad de Frías, 1776. Archivo Histórico Nacional, Consejos, MPD 2203. Este proyecto de reparación del puente de Frías se presentó al Consejo de Castilla en 1777, siendo aprobado poco después por Marcos de Vierna.

En los informes que conservamos sobre esta consulta queda claro que el sistema en su conjunto hacía aguas. Lo primero que cabría decir sobre el procedimiento descrito es que presentaba altos niveles de ineficacia, incluso desde el punto de vista de sus contemporáneos. En uno de los informes se habla de “corrupción generalizada”, en todos los pasos: en las solicitudes, la concesión, la recaudación, etc. Además, la administración era muy poco efectiva, era lenta e incapaz. Algo que no debería sorprender porque en el Antiguo Régimen difícilmente podía haber sido de otra manera. La administración estaba copada por las élites sociales, que accedían a esos cargos y promocionaban muchas veces solo por su origen social y las redes de poder en las que se movían. No existían pruebas capacitantes, ni controles externos o un sistema efectivo de multas o penalizaciones. Como mucho y en casos puntuales, se apartaba a quien había actuado sospechosamente.

Estos comportamientos abusivos también se denunciaron en relación a los maestros que trazaban o construían las obras. Se afirmó, y la documentación revela que fue así, que los maestros que daban trazas muchas veces tenían relación con los asentistas que presentaban postura para construirlos. También se detectaron vínculos profesionales y personales entre los que ejecutaban las obras y quienes certificaban y visaban estos trabajos o las mejoras. Dichas mejoras fueron tremendamente habituales, aumentando los presupuestos iniciales y siendo denunciadas como uno de los principales problemas de la construcción de puentes. Todo ello revela que las elecciones de maestros o constructores, así como los controles de las obras contratadas, no resultaban muy fiables desde el punto de vista técnico.

De ahí que, en el marco del expediente que comentamos, un personaje de la relevancia de Campomanes propuso, por un lado, redefinir la gestión administrativa y, por otro, dotarse de una estructura permanente de consejería técnica. Son los dos aspectos que veremos.

En cuanto al proceso administrativo, Campomanes abogó por eliminar al Consejo y a toda la administración local genérica. La gestión de los puentes “del común” la llevaría sin intermediarios la Superintendencia de Correos, Postas (y Caminos), que dependió normalmente de la Secretaría de Estado o de Hacienda. Es decir, se optaba por el sistema ministerial, que ya tenía experiencia en este campo porque cuando el rey o sus ministros querían emprender una obra pública utilizaban esta vía. Por ejemplo, el famoso decreto de junio de 1761, considerado un primitivo plan general de carreteras, planteó la construcción de cuatro grandes caminos reales desde Madrid, en una clara apuesta por una red radial. Pues bien, la ejecución y gestión de esta red dependió de una secretaría, que era quien determinaba el proyecto, su construcción y buscaba la financiación (no había todavía partidas presupuestarias específicas ni presupuestos generales) (Madrazo 1984). También elegía a los responsables técnicos, que eran maestros bien relacionados con los ministros o sus redes personales, ya fuesen arquitectos o ingenieros militares. De hecho, este último cuerpo facultativo, creado a principios del siglo XVIII desempeñó un papel importante en este tipo de empresas (fig. 166.). Por eso subrayábamos que no todos los puentes se gestionaban de la misma manera y se encargaban al mismo tipo de maestro o perfil profesional. En todo caso, si esta propuesta que Campomanes lanzó hacia 1760 se hubiese concretado, se hubiese conseguido centralizar la construcción de puentes y caminos en una gran superintendencia, una suerte de primer Ministerio de Fomento. No hay duda que hubiese tenido muchos problemas, tanto de capacidad o como de integración en el mismo sistema al subvertir muchas prebendas asentadas.



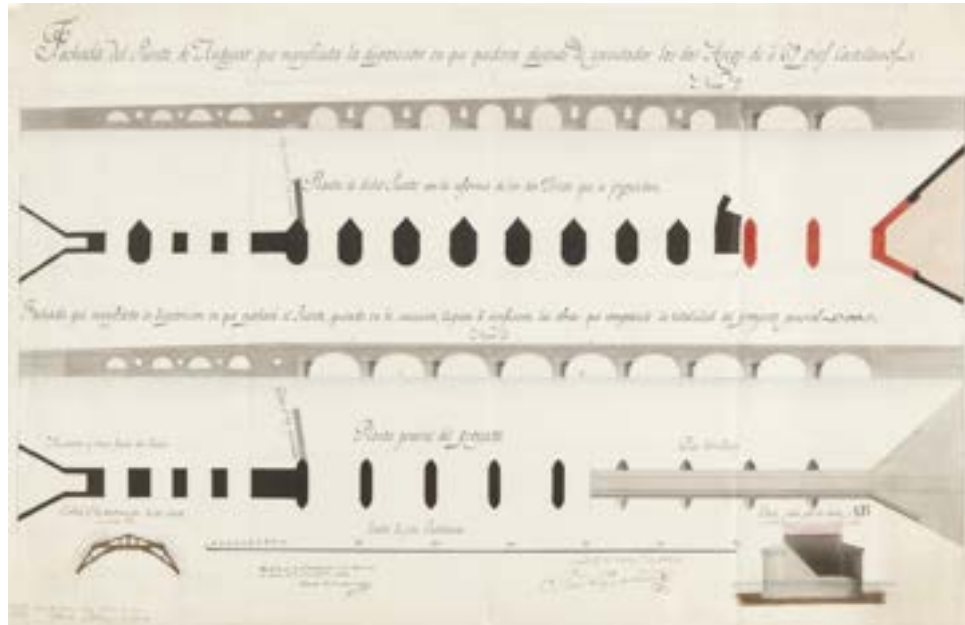
**Figura 166.** Mariano Sánchez, Puente de Molins de Rei, finales del siglo XVIII, óleo sobre tabla. Patrimonio Nacional. Este puente fue trazado por el ingeniero militar Pedro Martín Cermeño.

Por otro lado, como señalábamos, se pretendía que esta gran superintendencia tuviese unos peritos de confianza fijos, que aprobasen y visasen los proyectos, para no depender de la red de maestros asentados en provincias, cuyo comportamiento y capacitación levantaba dudas. Este último punto es interesante porque sí se cumplió, aunque fuese más adelante, y tuvo consecuencias duraderas.

Cuando Campomanes pasó al Consejo de Castilla, siendo nombrado su fiscal a principios de los años 60, promovió que este alto tribunal se dotase de una asesoría técnica permanente, aunque en este momento fue nominal. Así, en 1766, y esta es una fecha relevante para la historia de las obras públicas, se nombró al maestro cántabro Marcos de Vierna inspector de las obras hidráulicas del Consejo (Escolano 1796). Era la primera vez que un técnico asumía la supervisión específica de obras de ingeniería civil. Y lo cierto es que hasta el 1780 fueron innumerables las obras de puentes y caminos que Vierna evaluó, adicionó, inspeccionó y concedió, puesto que también se ocupó de nombrar a los constructores. De hecho, creó una red de maestros, muchos de ellos cántabros, que se ocuparon de multitud de obras, en especial en la Meseta norte. Algunos maestros que estaban fuera de esta red tejida por el arquitecto se llegaron a quejar de la “casta de puentistas de Vierna” (Crespo 2013).

Como último punto, advertir que la irrupción de las reales academias de bellas artes en estas mismas fechas supusieron otro cambio interesante. Gracias a la presión ejercida por la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (Madrid), creada oficialmente en 1752 y que dependía de la secretaría de Estado, con línea directa con el primer ministro, a partir de los años 70 del siglo XVIII empezaron a conseguir competencias crecientes y exclusivas en la arquitectura, también en la hidráulica. De hecho, desde 1784, ya muerto Vierna, se ordenó que los proyectos de puentes que llegasen al Consejo debían ser aprobados por la Academia de San Fernando o la de San Carlos de Valencia (Crespo 2018) (fig 167.). Es decir, la supervisión técnica ya no era nominal como en el Consejo, sino que pasaba a recaer en una institución con un declarado objetivo formativo y en los profesionales que habilitaba.

Sería muy interesante ver cómo se integró en este escenario, el cuerpo de ingenieros de caminos y canales, que como es bien sabido se creó en 1799 (Rumeu 1980). ¿En qué tipo de obras actuaron en sus primeros años? ¿Cómo convivieron con ingenieros militares y arquitectos académicos? ¿Cuál fue su inserción en el contexto profesional e institucional que existía en la España del cambio de siglo? Estas cuestiones no se han trabajado suficientemente, con lo que no lo sabemos muy bien, pero en todo caso es parte de un proceso más general y propio de la época.



**Figura 167.** Pedro Nolasco de Ventura, Proyecto de intervención y reconstrucción del puente de Andújar, 1826. Archivo Histórico Nacional, Consejos, MPD 1104. Aunque no se llegase a realizar, este proyecto fue aprobado por la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en 1826.

Aunque los arquitectos académicos y los ingenieros de caminos de este periodo de la Ilustración también crearon sus redes, a veces con un sentido casi gremial, su papel, y esto es lo decisivo, en el organigrama de la construcción que se fue definiendo vino avalado por su capacitación técnica, proporcionada por la institución a la que pertenecían y los habilitaba, una institución de carácter técnico, formativa, abierta y amparada por el Estado. Todo ello revela que las estructuras personalistas, propias del sistema absolutista, del llamado Antiguo Régimen, se empezaban a desdibujar. Es más, este cambio, que se produjo en muchos países en primer lugar en los ámbitos técnicos, se fue introduciendo poco a poco, y con muchos vaivenes en la propia administración. Y eso fue una revolución. Cuando a lo largo del siglo XIX se pasó del vasallo al ciudadano, del criado al funcionario, del ingeniero del rey al ingeniero de la nación se inició otra época, con sus problemas y desafíos, pero que era ya otro momento para el país, para la sociedad y para los puentes que tendieron.

## Referencias

- [1] Aramburu-Zabala Higuera, M. Á. (1992). La arquitectura de puentes en Castilla y León (1575-1650). Valladolid, Junta de Castilla y León.
- [2] Cano Sanz, P. (2004). Fray Antonio de San José Pontones: arquitecto, ingeniero y tratadista en España (1710-1774). Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- [3] Crespo Delgado, D. (2013). Un dibujo de 1796 del acueducto de Segovia del académico Pedro Joaquín de la Puente Ortiz. *Estudios Segovianos*, LV, 112, 151-206.
- [4] Crespo Delgado, D. (2019). Literatura e ingeniería civil en la España del Renacimiento a la Ilustración, en D. Crespo Delgado (ed.). *Sueño e Ingenio. Libros de ingeniería civil en España: del Renacimiento a las Luces*. Madrid, Biblioteca Nacional de España, Fundación Juanelo Turriano, 21-113.
- [5] Crespo Delgado, D. y Rosado García, M. J. (2021). Paisajes de la ingeniería civil para el patrimonio histórico. *Norba*, XLI, 73-93.
- [6] Delgado Barrado, J. M. (1999). José de Carvajal y Lancaster. Testamento político o idea de un gobierno católico (1745). Córdoba, Universidad de Córdoba.
- [7] D'Orgeix, É. (2019). Del fasto a la propaganda: las estrategias de difusión de las obras públicas en Francia durante la Edad Moderna (siglos XVI-XVIII), en D. Crespo Delgado (ed.). *Sueño e Ingenio. Libros de ingeniería civil en España: del Renacimiento a las Luces*. Madrid, Biblioteca Nacional de España, Fundación Juanelo Turriano, 329-338.
- [8] Escolano de Arrieta, P. (1796). *Practica del Consejo Real en el despacho de los negocios consultivos, instructivos y contenciosos...* Madrid, Viuda e hijo de Marín.
- [9] García López, D. (2019). La ingeniería civil en los tratados de arquitectura en España (siglos XVI-XVII), en D. Crespo Delgado (ed.). *Sueño e Ingenio. Libros de ingeniería civil en España: del Renacimiento a las Luces*. Madrid, Biblioteca Nacional de España, Fundación Juanelo Turriano, 193-202.
- [10] García Tapia, N. (1997). Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa. Zaragoza, Departamento de Educación y Cultura.

214 | Construir un puente en la Edad Moderna. La promoción y contratación de una obra hidráulica en el siglo de la Ilustración.

- [11] Gómez Darriba, J. (2024). Entre la Orden del Císter y los Condes de Lemos. La construcción de puentes en la diócesis de Lugo durante la primera mitad del siglo XVII. Gijón, Trea.
- [12] Gómez Urdáñez, J. L. (2017). El marqués de la Ensenada. El secretario de todo. Madrid, Punto de vista.
- [13] González Tascón, I. (coord.) (1999). Felipe II. Los ingenios y las máquinas. Ingeniería y obras públicas en la España de Felipe II. Madrid, Sociedad Estatal para la Conmemoración de los Centenarios de Felipe II y Carlos V.
- [14] Jurado Sánchez, J. (1988). Los caminos de Andalucía en la segunda mitad del siglo XVIII (1750-1808). Córdoba, Universidad de Córdoba, Ayuntamiento de Córdoba.
- [15] León, J. y Bauder, E. (1999). La construcción de un puente en el siglo XVIII. Madrid, Fundación Agustín de Betancourt.
- [16] Madrazo, S. (1984). El sistema de transportes en España, 1750-1850. Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Turner.
- [17] Montel, N. (2020). Économie marchande et symbolique d'un libre au siècle des Lumières. La difusión des Oeuvres du premier ingénieur Perronet. Histoire, économie et société, 2, 23-45.
- [18] Orfeo, B., León, J., Crespo, D. (2022). La construcción de las cimentaciones de puentes y su reparación en un tratado excepcional: la Arquitectura hidráulica en la fábrica de puentes (1768) del padre Pontones, en Actas del XII Congreso Nacional y IV Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción. Madrid, Instituto Juan de Herrera, t. II, 795-804.
- [19] Perdices de Blas, L. y Ramos Gorostiza, J. L. (2019). Los economistas españoles y el fomento de las infraestructuras civiles en la Edad Moderna, en D. Crespo Delgado (ed.). Sueño e Ingenio. Libros de ingeniería civil en España: del Renacimiento a las Luces. Madrid, Biblioteca Nacional de España, Fundación Juanelo Turriano, 141-166.
- [20] Rumeu de Armas, A. (1980). Ciencia y tecnología en la España ilustrada. La Escuela de Caminos y Canales. Madrid, Ed. Turner, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

## La sensibilidad del constructor

Conchita Lucas Serrano

### Introducción

Quiero aprovechar esta ocasión para reivindicar el papel del constructor de puentes. No el de proyectista, sino el de constructor. Tal vez porque soy una enamorada de mi profesión y rápidamente me di cuenta de que lo que yo quería hacer era construir; no diseñar, sino ver cómo lo que se calculaba y se plasmaba en planos, se materializaba en la realidad. Construir y, sobre todo, pensar cómo construir. A nosotros los constructores, nos entregan un proyecto, unos planos, y devolvemos un puente construido; una especie de hecho mágico. La emoción de ver el puente crecer, no tiene precio. Lo ves ahí, lo palpas. No en los planos, ni en el ordenador, en la realidad.

### Importancia del trabajo en equipo

El papel de las empresas constructoras es muy importante, pues tenemos una gran responsabilidad y un gran compromiso con la sociedad: devolver a los ciudadanos la confianza depositada a la hora de afrontar una gran obra, y hacerlo con los máximos estándares de calidad y respeto al medioambiente, optimizando la utilización de recursos y protegiendo al máximo la seguridad de nuestros trabajadores.

Sin embargo, la sociedad en la que vivimos rara vez nos reconoce el papel fundamental que tenemos los constructores; es más, me atrevería a decir que pasa muy inadvertido. Una especie de hecho mágico: un puente pasa de los planos del diseño a la realidad sin que la gente repare en lo difícil que es construir un puente. Habrá muchas razones para que este hecho tan importante pase desapercibido, pero probablemente una de ellas es que esta sociedad es proclive a encumbrar individualidades, grandes protagonistas; y en este trabajo, en la tarea de construir, casi todos los logros se basan en el trabajo en equipo.

En el mundo de la ingeniería y la construcción de puentes, todo el mundo conoce a los grandes proyectistas: Javier Manterola, Julio Martínez Calzón, pero poco se sabe de quiénes construyeron el Puente de la Constitución de 1812 en la bahía de Cádiz, el Pabellón Puente y el Puente del tercer milenio en Zaragoza, el Puente del Centenario y el del Alamillo en Sevilla, los grandes arcos de alta velocidad en Extremadura...

Las grandes constructoras basamos nuestro “éxito”, si se me permite decirlo, en un gran equipo multidisciplinar altamente cualificado capaz de abordar los retos más complejos.

Y este equipo multidisciplinar llega a su máxima expresión cuando se integran en él personas que están a pie de obra, construyendo el puente, y los especialistas que integramos los Servicios Técnicos de la Constructora, que somos de distintas disciplinas para poder aportar conocimiento y experiencia en las distintas áreas: hay ingenieros geotécnicos y geólogos como especialistas del suelo, hay ingenieros estructurales que han construido decenas de puentes, hay especialistas en medios auxiliares que saben cuáles son las mejores opciones, hay ingenieros de materiales y químicos, que conocen a fondo los distintos materiales de construcción, y un largo etcétera. El personal que forma el equipo de obra está en la primera línea, conoce las peculiaridades del proyecto, conoce la idiosincrasia del lugar, conoce mejor que nadie el presupuesto disponible y también los gustos y preferencias del cliente. Los Servicios Técnicos, tenemos todo el bagaje técnico de la empresa, toda la experiencia acumulada después de tantos años y tantos puentes construidos: los procesos constructivos que hemos empleado en diferentes obras, los medios auxiliares que mejor han funcionado aquí o allá, qué falló en este proyecto y qué salió estupendamente en este otro.

Y este bagaje técnico, esa experiencia acumulada en tantas y tantas obras construidas, nos permite tener una gran perspectiva a la hora de comenzar un nuevo proyecto. Aprendemos de la construcción de un puente, y todo lo que hemos aprendido, lo tratamos de aplicar en la construcción del siguiente. Y aunque no todo es directamente extrapolable, sí son muy importantes las *lessons learnt*, que dicen los anglosajones. Voy a mostrar aquí varios ejemplos de

aprendizajes que hemos ido adquiriendo y aplicando en proyectos posteriores, para que quede de manifiesto la importancia del trabajo en equipo y el valor que tiene en una gran constructora que un equipo vaya atesorando la experiencia de la empresa y de esa forma, vayamos mejorando en cada nuevo proyecto; construyendo cada vez de forma más eficaz.

Esta labor de equipo, obviamente, se completa con la Propiedad, que es quien ha planificado la infraestructura porque ha detectado una necesidad, y con los Diseñadores, que han definido y calculado el puente. Es muy importante en la construcción de puentes grandes trabajar codo con codo con la Propiedad y los Diseñadores. Sentir que todos empujamos en el mismo sentido con un objetivo común: que la construcción del puente salga bien, con la máxima calidad, el menor consumo de recursos, en el plazo previsto y sin accidentes laborales.

Os voy a mostrar a continuación varios ejemplos donde podréis ver el valor del trabajo en equipo y la importancia de la experiencia acumulada.

#### Aplicación a la construcción de Puentes Atirantados

Ahora estamos en la época de los puentes atirantados: los 85 mayores puentes atirantados del mundo (todos por encima de 500 m) se han construido desde 1995 hasta la fecha. En 2008 se construyó el puente Sutong en China, superando la barrera de los 1000 m y actualmente el récord del mundo lo ostenta el puente de Russky en Rusia, con sus 1.104 m de luz.



**Figura 168.** Puente de Russky, 1.104 m de luz.



Figura 169. Puente de Sutong, 1088 m de luz.

Pero será por poco tiempo, porque está a punto de terminarse el puente Chángate, también en China, que alcanzará los 1.176 m de luz.

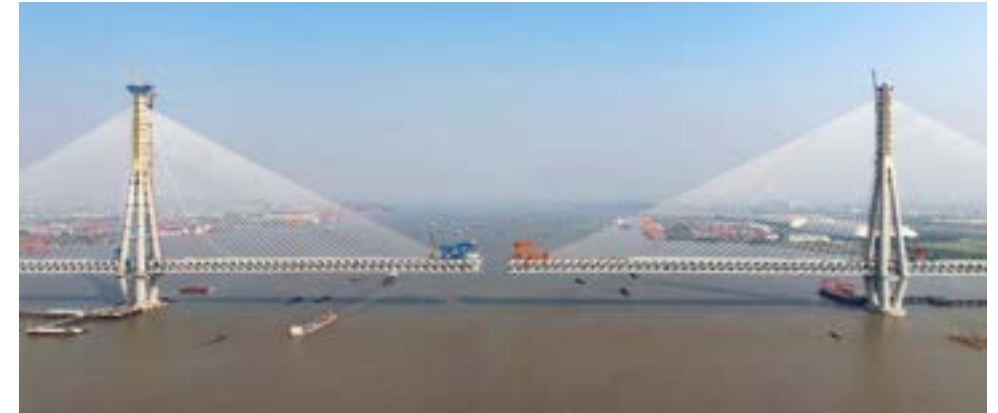


Figura 170. Puente de Changtai (China) 1.104 m de luz.

Y ¿cómo se construye un puente atirantado? Porque recordemos que se diseña un puente atirantado cuando hay que salvar un gran obstáculo, un río, un barranco, el mar. Porque diseñarlo es difícil, pero construirlo, me atrevería a decir, que todavía más. Simplificadamente podríamos decir que hay 3 planteamientos posibles a la hora de construir un puente atirantado:

1. Construcción del tablero totalmente apeado, sobre unas torres provisionales, para luego, colocar tirantes y retirar los apeos. Podemos decir, sin temor a errar que, si se usa este procedimiento, el puente atirantado no era necesario: si podemos poner muchas torres de apeo durante la construcción, podríamos haber puesto pilas definitivas y haber definido un puente mucho más sencillo y económico; pues una gran luz sólo se justifica si salva un obstáculo donde realmente no se pueden colocar apoyos intermedios. El problema es que, en ocasiones, el cliente tiene el “capricho” de un puente atirantado y lo coloca donde realmente no es necesario, como una escultura. Podría debatirse si merece la pena la inversión que supone un puente de estas características, frente a un puente que simplemente “cumpliera” las necesidades, pero eso lo dejamos para otra ocasión.



Figura 171. Construcción totalmente apeada.

Es claramente la forma más fácil de construir un puente atirantado, pero casi nunca es posible. Es lo que hicimos en el puente atirantado de Escaleritas, en Las Palmas de Gran Canarias. Este fue mi primer puente atirantado.



Figura 172. Construcción viaducto de Escaleritas, Las Palmas de Gran Canaria.

2. La segunda opción es construir primero la parte trasera, la que no salva el obstáculo principal, apoyada en torres provisionales y luego construir por avance en voladizo el vano principal. Este es el sistema más seguro, cuando no se puede hacer el anterior, pues se construye de una forma muy tradicional y segura todo el tramo trasero, y luego se avanza en voladizo sólo en el tramo central. El problema de este método es que no es posible usarlo cuando los vanos traseros también salvan un obstáculo importante y no pueden construirse apoyados en el suelo.



Figura 173. Construcción con vano trasero apeado (izquierda). Puente sobre el río Suir, Waterford (derecha)

3. Y la tercera es cuando hay que salvar un gran obstáculo en varios vanos adyacentes. Para este caso se emplea el sistema de voladizos equilibrados, donde se va construyendo el tablero a ambos lados de la torre de manera equilibrada (sin apoyarse en el suelo), de forma que la torre no sufra excesivamente. Es como tuvimos que construir el Puente de Cádiz, pues como puede verse en la foto no era posible apear los tramos traseros. Es sin ningún lugar a dudas, la forma más complicada de construir un puente atirantado, pues la estructura del tablero apenas tiene apoyos. Las fases constructivas son muy precarias.



Figura 174. Construcción en voladizos equilibrados.



**Figura 175.** Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, 2015.

### El valor de la experiencia acumulada

Una vez explicadas las distintas formas que existen de construir un puente atirantado, retomamos la idea de que estamos en la era de los puentes atirantados y Dragados, como constructor internacional de grandes puentes, también ha ejecutado en los últimos años un número muy importante de puentes atirantados.

Ya había construido algunos puentes de este tipo en el pasado, como el de Sancho el Mayor en Navarra o el del Centenario en Sevilla, pero el primer puente que inauguró esta nueva fase fue el Puente sobre el río Suir en Waterford, Irlanda. Quiero exponer en esta fase cómo en cada puente aprendemos cosas que luego aplicamos al siguiente gracias al valor del trabajo en equipo. Porque no hace falta que las personas que están físicamente en la obra sean las mismas que construyeron el puente anterior. Sino que es gracias al trabajo en equipo y a la existencia de los Servicios Técnicos, que se traslada todo el conocimiento de una experiencia a otra.

Voy a mostrar dos ejemplos para poner de manifiesto lo fructífero de este aprendizaje a través de dos parejas de puentes: cómo lo que aprendimos en el Puente de Waterford lo aplicamos en el Puente de Gordie Howe, que era mucho más grande. Y a continuación cómo la experiencia del Puente de Cádiz nos sirvió para abordar el Queensferry Crossing, mucho más complejo.

### Puente de Waterford – Puente Internacional Gordie Howe

Como decía, el puente que inauguró esta nueva época en Dragados fue el de Waterford, en el sur de Irlanda [1]. Se trata de un puente atirantado de una única torre y con un vano principal moderado, de 230 m de luz, muy lejos de los mil y pico que tienen los puentes que acabamos de ver.



**Figura 176.** Puente sobre el río Suir, Waterford (Irlanda) 2009.

Utilizamos para este puente el segundo sistema constructivo que vimos, el que consistía en construir primero la parte trasera y luego avanzar en voladizo en el vano principal, donde está el verdadero obstáculo.



**Figura 177.** Construcción del Puente sobre el río Suir, Waterford (Irlanda) 2009.

Aprendimos mucho de la instalación de tirantes y del control de la geometría del tablero, para que luego con el tablero terminado, la alineación sea la correcta y los coches no noten ninguna irregularidad.

El tablero está formado por vigas metálicas, formando un emparrillado, en el que las vigas metálicas se van montando de una en una, con la ayuda de una grúa, lo que en inglés se llama “stick build”, construir palito a palito. Cuando está terminada la estructura metálica, se colocan unas losas prefabricadas de canto completo, con lo que se limitan los trabajos de hormigonado en altura a las juntas entre losas, que implica muy poco volumen de hormigón.



**Figura 178.** Estructura metálica (arriba) y losas prefabricadas del Puente sobre el río Suir, Waterford.

Esto hicimos en 2009 para un puente de 230 m de luz y 28 m de ancho. Y ahora os presento el puente que estamos terminando en estos días. El Gordie Howe international bridge, que cruza la frontera entre Canadá y Estados Unidos sobre el río Detroit. El puente de mayor luz que Dragados ha construido nunca, 853 m de luz tiene el vano central, y el mayor puente atirantado de Norteamérica [2].



**Figura 179.** Puente internacional Gordie Howe, Windsor – Detroit (Canadá - EEUU) 2024.

Por cierto, que han llamado al puente en honor de un jugador de hockey sobre hielo, una prueba más del valor cultural de los puentes, aunque queda de manifiesto que no tienen historia los norteamericanos. El tal Gordie Howe fue un jugador canadiense que jugó toda su vida en el equipo de Detroit y murió en 2016, cuando se planeó construir este puente. En su honor, la forma de las torres es supuestamente la de dos palos de hockey apoyados uno sobre otro.

También lo construimos con el mismo sistema que empleamos en Waterford, ejecutando primero la parte trasera apeada sobre el terreno y luego avanzando en voladizo en el vano central. El control geométrico aquí fue mucho más complicado y nos sirvió enormemente lo que habíamos aprendido en Waterford.



**Figura 180.** Puente internacional Gordie Howe, Windsor – Detroit (Canadá - EEUU) 2024. WDBA Gallery. <https://www.gordiehoweinternationalbridge.com/en/gallery#!nav-photos>

El proceso constructivo ha sido el mismo que el de Waterford, “palito a palito”. En este caso, el puente era más ancho, 37 m frente a los 28 m de Waterford, y la luz muy superior 853 m frente a 230 m. Pero la tipología es la misma: las vigas metálicas formando un emparrillado, los tirantes colocados en los extremos de la sección y la losa superior compuesta por placas prefabricadas de hormigón de canto completo para evitar tener que hormigonar arriba.

La escala es fundamental, como decía Javier Manterola, porque sólo en la gran escala se manifiestan los problemas resistentes. Pero es mejor aprender a construir con puentes pequeños para lanzarte luego a los más grandes. Todo lo que aprendimos en Waterford fue de vital importancia para la construcción de Gordie Howe. Gracias al trabajo en equipo se pudieron aplicar las enseñanzas de uno al otro.

#### Puente de Cádiz – Queensferry Crossing

El otro ejemplo que quiero poner es el del Puente de Cádiz, llamado oficialmente Puente de la Constitución de 1812 [3], que después de Waterford, fue el siguiente reto.

El puente de Cádiz supuso un aprendizaje tremendo. Nos enfrentamos a una estructura de 540 m de luz, el vano más grande de España y 3º de Europa, construyéndolo además con un procedimiento que era nuevo para nosotros, el tercero que hemos comentado antes, el más complejo, el *balanced cantilever* [4].

Este puente era realmente un catálogo de puentes porque, aunque formalmente parecía uno solo, estaba formado por 4 estructuras que se construyeron con 4 procedimientos diferentes: un viaducto mixto empujado, un tramo metálico desmontable, el tramo atirantado y un viaducto de hormigón pretensado.

Cada uno de ellos se construyó con un procedimiento diferente, pero no tenemos tiempo de describirlos todos, así que vamos a centrarnos en el tramo atirantado, que es el que estamos usando para estos ejemplos.



**Figura 181.** Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, 2015.

El tramo atirantado se construyó por el sistema de avance en voladizo equilibrado, pues evidentemente no era posible poner torres provisionales en la parte trasera. Una de las mayores dificultades de este método es que hay que ir construyendo de forma cuidadosa, colocando peso a izquierda y derecha de la torre de forma muy controlada para no desequilibrar la torre. Y cuando digo muy controlada, es que había un mapa que se seguía a rajatabla, donde quedaba reflejado cuáles eran las cargas que podían estar y en qué posición debían ubicarse: el acopio de material, los límites de acceso de la maquinaria, etc.



**Figura 182.** Construcción del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, 2015.

En este caso, por las características del tablero, la sección del puente no se podía fabricar “palito a palito” como los casos que hemos visto antes, sino que aquí se fabricaba en el taller metálico una porción completa de tablero, y luego se colocaba en altura. Es lo que se llama montaje por dovelas.

Como el plazo era uno de los condicionantes más importantes, decidimos fabricar dovelas, porciones, grandes, de 20 m de longitud, para reducir el número de piezas a montar. Para tardar menos en cada ciclo, usamos la idea de Waterford de prefabricar la losa de hormigón y simplemente montarla.

En Cádiz, además de aprender las peculiaridades y riesgos del método constructivo de avance por voladizos equilibrados y el montaje por dovelas, tuvimos que diseñar muchos medios auxiliares, necesarios para la construcción, que luego, o hemos reutilizado, o hemos mejorado. Y por supuesto hubo alguno de ellos que no hemos vuelto a utilizar, pues luego hemos encontrado soluciones más eficientes.



**Figura 183.** Izado de dovelas (izquierda) y losas (derecha) durante la construcción del Puente de Cádiz.

Uno de los más importantes fue el diseño del carro de izado de dovelas. Queríamos usar este elemento para izar las grandes dovelas que teníamos, 34 x 20 y 400 t de peso, y también las losas prefabricadas. Todos estos condicionantes dieron lugar a un carro muy pesado, que generó durante la obra, bastantes dificultades (condicionaba el dimensionamiento del puente en la fase constructiva, dificultaba mucho el acople porque deformaba mucho la sección y daba lugar a ciclos muy largos, pues después del izado de la dovela había que izar y colocar las losas prefabricadas).

Todo lo que aprendimos en Cádiz fue crucial y lo aplicamos casi inmediatamente para construir el Queensferry crossing, el tercer puente en el estuario de la ría del Forth en Escocia, Reino Unido. Se trataba de un puente mucho más complejo. En primer lugar, porque no tiene un vano principal, sino dos, y en segundo lugar porque pasamos de una luz de 540 m a otra de 650 m [5].



**Figura 184.** Estuario del río Forth, Escocia, Reino Unido.

El Queensferry Crossing está en lugar icónico para los amantes de los puentes, pues tenemos tres magníficas estructuras, hijas de los siglos en que fueron construidas:

- El famosísimo Forth Bridge, para ferrocarril, construido en pleno siglo XIX durante el auge de la construcción metálica, 1890, dos vanos de 520 m.
- El Forth road bridge, para Carretera, construido en el siglo XX, cuando tantos puentes colgantes fueron construidos en Norteamérica, 1964; tiene 1006 m, fue el puente colgante más grande de Europa durante mucho tiempo (ahora es el del estrecho de los Dardanelos en Turquía, entre Europa y Asia, 2023 m).
- El Queensferry crossing, también para Carretera, que es el que hemos construido en el siglo XXI, durante esta época de auge de los puentes atirantados.

Era impensable usar ningún apeo al suelo, así que nos vimos obligados a usar nuevamente el método de voladizos equilibrados. Afortunadamente teníamos toda la experiencia de Cádiz muy reciente.



**Figura 185.** Construcción del Queensferry Crossing, Escocia, Reino Unido.

En este puente batimos un récord del mundo, ya que fue el voladizo más largo jamás construido. Como atestigua el certificado de récord Guinness que nos entregaron.

Además, repetimos también el sistema de izado por dovelas, pues la sección transversal del Queensferry Crossing era parecida a la de Cádiz, y no era posible aplicar el sistema de “palito a palito”.

Sin embargo, también tomamos nota de lo que en Cádiz no había resultado del todo eficiente. El carro de dovelas era muy pesado y caro, por todo lo que queríamos que hiciera, así que aquí buscamos una versión más simplificada:

- Las dovelas más cortas.
- El carro se limitaría a subir dovelas y no losas. La losa se colocaba abajo.



**Figura 186.** Carros de izado de dovelas empelados en el Forth (arriba) y Cádiz (abajo)

Vuelvo a hacer hincapié que este trabajo en equipo, personal obra – Dirección Técnica que quiero destacar, nos ha permitido repetir procedimientos constructivos, y mejorarlos cada vez que los volvemos a usar, pues el conocimiento previo del sistema nos permite considerar desde el principio todos los problemas que van a aparecer y anticipar las formas de resolverlos e incluso evitarlos. Pero también nos ha permitido evitar sistemas que no habían resultado todo lo eficientes que se esperaba.

### **Motor de desarrollo tecnológico**

Paso ahora a la otra idea que quiero destacar en esta reivindicación del papel del constructor, y es que los constructores, además de hacer realidad los diseños de los proyectistas, actuamos de motor de progreso tecnológico.

Este progreso se da cuando nos enfrentamos a nuevos retos, proyectos singulares, grandes obras, récords del mundo; pero también se da en las obras más modestas, en los puentes más sencillos, donde la mejora tecnológica está enfocada en simplificar los procesos, en acelerar la construcción, en optimizar los recursos.

Cuando construimos un gran puente, nuestra actividad nos obliga a enfrentarnos a nuevas situaciones porque, en no pocos casos, construimos prototipos. Antes he hablado de cómo las lecciones aprendidas en un proyecto se aplican al siguiente. Sin embargo, rara vez podemos replicar exactamente lo que se ha hecho en un proyecto, pues cambian las condiciones orográficas, geotécnicas, climáticas, etc. Así que estamos en un constante proceso de creación y adaptación.

Porque diseñar un puente récord del mundo es sin duda un reto tremendo, que exige un conocimiento amplio y enfrentar problemas estructurales que no se dan en la pequeña escala y que requieren de métodos de cálculo muy sofisticados, cuyo entendimiento profundo está al alcance sólo de algunos pocos. Pero construir ese gran puente imaginado y diseñado con tanto esmero, con tanta dedicación y hasta sufrimiento, no es un reto menor. Construir ese puente implica estudiar cada detalle, cada fase constructiva, cada elemento, cada unión, para asegurar que todas las etapas constructivas están estudiadas, que se cuenta con los medios auxiliares más adecuados, que el resultado será de la máxima calidad y, lo más importante, que no se pondrá en riesgo la seguridad de ninguno de los trabajadores.

Por eso, cuando los constructores nos enfrentamos a un nuevo reto y conseguimos resolver los problemas tecnológicos esas experiencias quedan ya en la comunidad técnica y suponen un avance para todos.

Alguien podría decir que los métodos de construcción de puentes vienen siendo los mismos desde el siglo pasado; y en cierta medida tendría razón, pues la

filosofía, la idea de muchos de ellos no ha cambiado en esencia. Lo que ha ocurrido es que se han ido perfeccionando, optimizando, exprimiendo, podríamos decir, llevando al límite el sistema en cada ocasión.

Aunque vamos a centrarnos en la evolución de estos sistemas tradicionales, sí hay que dejar claro que también han ido aparecido nuevos sistemas.

Vamos a ver algunos ejemplos. Un sistema constructivo del que no hemos hablado: el empuje de puentes. Se construye el tablero en tierra, en un lado y luego se empuja, se lanza a su posición definitiva.

Este procedimiento constructivo se comenzó a usar a mediados del siglo XIX. En la figura 10.19. tenéis el puente de Neuvial, en Francia, cerca de Vichy. No fue el primer puente empujado, pero fue muy relevante en su época porque del diseño del empuje (no del puente, sino sólo del sistema de empuje) se encargó Eiffel. Consiguió salvar una luz de 58 m.

Hace unos años, en 2021 en Canadá, batimos el récord de empuje con el viaducto de Beauharnois, en el que salvamos una luz de 150 m, el triple.



**Figura 187.** Viaducto de Neuvial 1869 (arriba). Viaducto de Beauharnois 2012 (abajo).

Otro ejemplo. El método de voladizos sucesivos que se usó en la construcción del Puente Eads en San Luis en 1874 llegó hasta 79 m de voladizo. El mayor puente arco del mundo que se construyó con este mismo sistema fue el de Chaotianmen en 2009; tenía unos voladizos de 276 m. Se multiplicó por 3,5 veces la longitud del voladizo del puente Eads.



**Figura 188.** Viaducto del Mississippi (Puente Eads), 1874 (arriba). Puente Chaotianmen, China 2009 (abajo)

Por lo tanto, toda esta mejora y optimización de los procesos constructivos, este ir siempre un poco más lejos, cómo ha sido posible. Pues fundamentalmente por las razones siguientes:

- En primer lugar, la capacidad de análisis.
  - o Por un lado, las estructuras se analizan con métodos de cálculo súper potentes y se modelizan con gran detalle: no es como antes donde se entendía el comportamiento general de un puente, ahora se estudia con unos métodos mucho más sofisticados porque tenemos herramientas más potentes.
  - o Por otro lado, se ha avanzado mucho en el estudio de los materiales, lo que ha hecho que se entienda mucho mejor su comportamiento.
- La siguiente cuestión relevante son los materiales que usamos en la construcción. Los tradicionales, hormigón acero, y los nuevos materiales, como la fibra de carbono o la de vidrio.
  - o Por un lado, los materiales van mejorando sus prestaciones, haciéndolos cada vez más resistentes.
  - o Pero a la vez se ha mejorado de forma muy considerable su durabilidad. Ahora no nos conformamos con que un material resista mucho, también tiene que durar.
- Otra cuestión que no hay que perder de vista es una herramienta de la que no disponían nuestros predecesores: la monitorización. La monitorización consiste en una serie de sensores que colocamos en el puente durante la construcción y también cuando están en servicio, que nos permite controlar el comportamiento del puente en todo momento; controlamos las cargas, controlamos los movimientos, las deformaciones, las tensiones, todo. Lo cual nos permite anticipar cualquier problema antes de que realmente llegue a serlo.
- Y, por último, los medios auxiliares. Éstos han permitido hacer maniobras que en el pasado eran impensables. Y aquí es donde reside el desarrollo tecnológico al que hacía alusión. El continuo avance de los medios auxiliares, las constantes novedades, hacen que el trabajo de los constructores se haya enriquecido de forma considerable.

La consecuencia de todo ello es que ahora construimos de forma más eficiente:

- con una calidad mayor. Por un lado, estructuras más seguras porque se ha hecho un análisis más exhaustivo de las mismas, y por otro lado más durables, porque no sólo se estudia la estructura para que funcione, sino para que dure. Ahora se analiza la vida de la estructura.
- con un consumo de recursos muy inferior. Esto se debe a dos factores:
  - o Aprovechamos al máximo los materiales porque conocemos con mucho detalle los esfuerzos a que va a estar sometida cada parte del puente, y también porque conocemos bien el comportamiento de cada material. Además, controlamos gracias a la monitorización que se están comportando como esperamos.
  - o La segunda razón del porqué de la reducción de recursos es que los materiales han evolucionado mucho, son más resistentes, por lo tanto ahora hace falta menos cantidad de acero, o de hormigón para resistir determinadas cargas,
- Mayor control durante la construcción. Vamos controlando todo lo que hacemos: hacemos probetas de hormigón para controlar que resiste lo que se ha previsto, se hacen radiografías en las soldaduras para comprobar que no hay fisuras microscópicas, vamos controlando las deformaciones y tensiones de las zonas más comprometidas, etc.
- más rápido.
- y sobre todo y más importante, protegiendo la seguridad de nuestros trabajadores.

Y, para terminar, vuelvo a poner aquí como ejemplo los tres puentes del estuario del Forth. En el siglo XIX murieron durante la construcción del Forth Bridge 99 personas; en el siglo XX esta cifra se redujo drásticamente a 7 decesos durante la construcción del Forth Road Bridge. En el siglo XXI sólo hemos tenido que lamentar un fallecimiento durante la construcción del Queensferry Crossing, que además no fue motivado por un accidente de obra, sino que se debió a un infarto que sufrió un trabajador.

## Referencias

- [1] Astiz, M., Manterola, J., Tarquis, F. (2011)  
*El puente atirantado sobre el río Suir en Waterford*, Hormigón y Acero, Vol 62, Num. 262 (2011)
- [2] Chung, B., Martínez, A., Corres, H., Navarro, J.A., Gutiérrez, A.L. (2023).  
*Gordie Howe International Bridge: Project Overview and Design features*. IABSE Symposium. Long Span Bridges. Istanbul.
- [3] Lucas, C., Peset, L., Martínez, A., Manterola, J. et. al. (2016)  
*Número Monográfico dedicado al Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz*. Hormigón y Acero. Vol 67, Núm 278-276 (2016).
- [4] Lucas, C., Peset, L., de los Ríos, J., Morejón, J.M. (2014)  
*La construcción del tramo atirantado del Puente sobre la bahía de Cádiz*. VI Congreso Internacional de Estructuras de ACHE. Madrid.
- [5] Vázquez, A., Raynor, D., Romberg, M., Walser, P., Tarquis, F. (2017)  
*Métodos constructivos en el tramo atirantado del nuevo Queensferry Crossing*. VII Congreso Internacional de Estructuras de ACHE. La Coruña.

## Los puentes de la poesía

Miguel Ángel Delgado Núñez

### Los puentes en nuestra cultura y su relación con la poesía.

Los puentes se piensan, diseñan y se construyen para *crearlos*; se les hacen maquetas físicas y modelos digitales para *entenderlos*; se les rehabilita para ayudarles a *crecer*, y se les escribe poemas para *sentirlos* dentro de nosotros. *Crearlos, entenderlos, crecer, sentirlos.....*; todos estos aspectos forman parte del abanico sensitivo de “aromas” que existen dentro de la cultura de los puentes. Quisiera centrarme, en esta ocasión, en la manera de sentir los puentes mediante la **poesía**, la cual puede ser tan interesante para expresarse como la pintura, el cine, la novela, las técnicas constructivas o la evolución histórica del sistema de comunicaciones de un territorio.

La riqueza que tiene la poesía a la hora de utilización de recursos literarios como por ejemplo la metáfora, paralelismos, personificación, etc. permite construir una forma muy emotiva que puede expresar todo aquello que conocemos de un puente, en cualquiera de sus fases, desde su aspecto exterior, proceso constructivo, historia de crecimiento, rehabilitación - dejándonos conocer sus secretos -, e incluso su desaparición al resultar imposible mantenerlo entre nosotros.



Figura 189. Maneras de percibir los puentes.

Dentro del ámbito técnico, la poesía no suele ser la manera habitual de expresar lo que sentimos por un puente, pues hemos aprendido durante muchos años a expresarnos en un lenguaje técnico, docente, presupuestario, etc., gestionando el puente como una obra pública dentro de un determinado ámbito profesional, dejando olvidada la posibilidad de manifestar lo que supone para nuestro aspecto más humano y sensible tener delante de nosotros un puente, o al menos, no tenemos facilidad para encontrar las palabras adecuadas para definir lo que sentimos.

La presencia de los puentes en la sociedad: frases, metáforas y comparaciones.

El puente es la metáfora perfecta de la unión entre las partes, de la comunicación, del intercambio y del progreso. También significa el paso o tránsito hacia el otro lado, hacia lo desconocido, con toda la carga de magia y misterio que lo rodea. Utilizamos la simbología extensa del puente dentro de muchos ámbitos, como, por ejemplo:

- Ámbito religioso: Sumo Pontífice, Sacerdote (que une al hombre con Dios), etc.
- Ámbito de la experiencia: enemigo que huye, puente de plata.
- Ámbito cotidiano: Hito para recordar un día especial, como fotos obtenidas donde aparecen puentes, recordando cumpleaños, bodas, fechas especiales, etc.
- Ámbito general: frases del estilo siguiente,
  - **La constancia es un puente entre el deseo y la realización.** (Luis Señor)
  - **El que quiera ser líder debe ser puente.** (Proverbio galés)
  - **El amor construye puentes donde no los hay.** (Samuel Ray Delany)

Los puentes forman parte de nuestra sociedad, nuestro lenguaje, nuestra manera de visualizar la vida en muchos de sus aspectos; solo hay que acudir al proceso de rehabilitación de un puente donde existe una auténtica analogía entre la manera de curar a una persona enferma con la forma de rehabilitarlo, desde los ensayos iniciales a realizar, como extracción de probetas, ensayos de resistencia, catas para conocimiento de armados (análisis de sangre, pruebas de esfuerzo, biopsias, etc.); observación de daños y conclusión de estado (diagnóstico), ejecución de tratamientos de limpieza y saneo, protección; refuerzos (prescripción de tratamiento a seguir por el paciente) y seguimiento de la eficacia del tratamiento (ajuste del tratamiento en el tiempo).

Se adjuntan algunas reflexiones de altura, correspondientes a diferentes pensadores, diseñadores y rehabilitadores de puentes:

**“El hormigón y el acero crean un universo de poemas. Cada uno de estos dos materiales tiene un alma, un sentido y unas capacidades que aprovechándolas al máximo y combinándolas crean un universo de poemas.”**

*Julio Martínez Calzón.*



Figura 190. Julio Martínez Calzón.

**“La ingeniería no es cuestión sólo de ciencia, sino también de carácter, finura de percepción, entusiasmo y pureza de emoción.”**

*José Antonio Fernández Ordóñez.*

**“Algunas de nuestras obras serán centenarias, incluso memorables, pero no hay que engañarse, lo perdurable es la obra de los poetas.”**

*José Antonio Fernández Ordóñez.*



Figura 191. José Antonio Fernández Ordóñez.

La poesía, una forma especial de expresar y sentir los puentes.

¿Por qué se utiliza la poesía para describir y sentir los puentes? Tal y como se expone más adelante, existen muchos poemas dedicados a los puentes, tanto de personas que han sido testigos de la construcción de un puente, rehabilitación del mismo, etc., como de puentes que llevan muchos años, incluso siglos, entre nosotros y no dejan de maravillarnos. Atendiendo al hecho creativo literario de la poesía, considero que existe varios aspectos relevantes que nos lleva a elegirla para expresar sentimientos, a saber:

- La poesía conlleva una métrica, una rima, en definitiva, un ritmo marcado, que accede al interior de las personas de manera paulatina, de manera ordenada.
- Utiliza un número elevado de recursos literarios que favorecen la forma de poder expresarnos como, metáforas, paralelismos, hipérbolos, personificaciones, imágenes sensoriales, etc.
- Se puede utilizar versos con métrica, consonante o no, o verso libre cuya frecuencia y ritmo es algo más desordenado, pero también lleno de sensaciones.
- Es decir, la poesía es una especie de música verbal, como pintar con palabras, intentando mirar lo cotidiano de una manera más sensible.
- Citando a escritores, filósofos y poetas:
  - **La poesía es el sentimiento que le sobra al corazón y te sale por la mano.** *Carmen Conde (1907-1996) Escritora española.*
  - **La poesía es el eco de la melodía del universo en el corazón de los humanos.** *R. Tagore (1861-1941) Filósofo y escritor indio.*
  - **El ritmo es lo que hace a la poesía persuasiva y no informativa.** *José Hierro. (1922-2002) Poeta español.*
- La poesía, a lo largo de la historia, se ha utilizado como una forma de expresión y reflexión sobre la condición humana.

Analogía con el fenómeno de resonancia. Resonancia poética-estructural.

La manera que tiene la poesía de establecer contacto con las personas, mediante su ritmo, su paulatino y lento avance hacia nuestro interior, su forma de “conectar” con nuestra sensibilidad, establece un vínculo mucho más allá del visual. Podría tener una explicación pseudocientífica, basada en el fenómeno de resonancia estructural el cual se produce cuando la frecuencia propia de vibración de una estructura, coincide con la frecuencia generada por una carga determinada, que lo solicita. Esta teoría está basada en las apreciaciones de la escritora **Lucia Emmanuel**, al superponer sus conocimientos amplios de física con sus vivencias como escritora y poeta. Trato de explicarla a continuación:

- Cada puente, como toda estructura, posee una manera particular de vibración, cuya frecuencia, denominada **“frecuencia propia de vibración estructural”**, está caracterizada principalmente por su material, geometría y distribución de sus elementos, conexión entre ellos, elementos y forma de sustentación. Por otro lado, cuando un determinado tipo de carga solicita al puente y le produce una vibración con una frecuencia que se aproxima mucho a la frecuencia propia - como es el caso de los peatones paseando o corriendo (caso particular sería un desfile militar) -, la vibración del puente empezaría a aumentar paulatinamente, amplificándose la misma. Existen casos conocidos como el puente de Tacoma, incluso produciéndose su colapso por vibraciones excesivas, y como la pasarela del Milenio, en Londres, donde se amplificaron notablemente dichas vibraciones.



**Figura 192.** Puente de Tacoma. Comienzo de resonancia.



**Figura 193.** Puente de Tacoma. Amplificación de la vibración.

- De igual manera, todas las personas tenemos una **“frecuencia propia de vibración personal”** que depende principalmente de la educación heredada, educación desarrollada, percepción emocional, forma de ser, forma de aceptar la vida y nivel de sensibilidad. En este caso, la solicitud la produce el poema, el cual cuando contiene aspectos, ideas, ritmo sensorial,

etc., similar a nuestra vibración interior, éste logra conectar y hacernos vibrar de una manera especial, emocionándonos, y despertándonos. Este fenómeno, por similitud con el del comportamiento de los puentes, lo denomino **“resonancia poética-estructural”**, el cual trata de dar una visión a lo que produce un poema cuando conecta con nuestro interior.



**Figura 194.** Analogía a la resonancia poético-estructural.

Algunas rimas célebres sobre puentes.

A continuación, se adjunta una selección de poemas escritos a puentes muy conocidos, por poetas, constructores de puentes y otros escritores sumidos en la fascinación de los mismos.

**1.- Puente de Brooklyn, Nueva York. 1883.** Poema escrito por Federico Garcia Lorca, poeta español, en 1929.

*Ciudad sin sueño.*

*(Nocturno del Brooklyn Bridge)*

No duerme nadie por el cielo. Nadie, nadie.

No duerme nadie.

Las criaturas de la luna huelen y rondan sus cabañas.

Vendrán las iguanas vivas a morder a los hombres que no sueñan

y el que huye con el corazón roto encontrará por las esquinas

al increíble cocodrilo quieto bajo la tierna protesta de los astros.

No duerme nadie por el mundo. Nadie, nadie.

No duerme nadie.

Hay un muerto en el cementerio más lejano

que se queja tres años

porque tiene un paisaje seco en la rodilla;

y el niño que enterraron esta mañana lloraba tanto

que hubo necesidad de llamar a los perros para que callase.

No es sueño la vida. ¡Alerta! ¡Alerta! ¡Alerta!

Nos caemos por las escaleras para comer la tierra húmeda

o subimos al filo de la nieve con el coro de las dalias muertas.

Pero no hay olvido, ni sueño:

carne viva. Los besos atan las bocas

en una maraña de venas recientes

y al que le duele su dolor le dolerá sin descanso

y al que teme la muerte la llevará sobre sus hombros.

Un día

los caballos vivirán en las tabernas

y las hormigas furiosas

atacarán los cielos amarillos que se refugian en los ojos de las vacas.

Otro día

veremos la resurrección de las mariposas disecadas

y aun andando por un paisaje de esponjas grises y barcos mudos

veremos brillar nuestro anillo y manar rosas de nuestra lengua.

¡Alerta! ¡Alerta! ¡Alerta!

A los que guardan todavía huellas de zarpa y aguacero,

a aquel muchacho que llora porque no sabe la invención del puente

o a aquel muerto que ya no tiene más que la cabeza y un zapato,

hay que llevarlos al muro donde iguanas y sierpes esperan,

donde espera la dentadura del oso,

donde espera la mano momificada del niño

y la piel del camello se eriza con un violento escalofrío azul.

No duerme nadie por el cielo. Nadie, nadie.

No duerme nadie.

Pero si alguien cierra los ojos,

¡azotadlo, hijos míos, azotadlo!

Haya un panorama de ojos abiertos

y amargas llagas encendidas.

No duerme nadie por el mundo. Nadie, nadie.

Ya lo he dicho.

No duerme nadie.

Pero si alguien tiene por la noche exceso de musgo en las sienes,

abrid los escotillones para que vea bajo la luna

las copas falsas, el veneno y la calavera de los teatros.

*Federico Garcia Lorca*



**Figura 195.** Fotografía de Federico Garcia Lorca.



**Figura 196.** Vista diurna del puente de Brooklyn.

**2.- Puente Golden Gate, San Francisco. 1937.** Poema escrito por su mismo proyectista, Joseph Baermann Strauss.

***The Mighty Task is Done***

At last the mighty task is done;  
 Resplendent in the western sun  
 The Bridge looms mountain high;  
 Its titan piers grip ocean floor,  
 Its great steel arms link shore with shore,  
 Its towers pierce the sky.  
 On its broad decks in rightful pride,  
 The world in swift parade shall ride,  
 Throughout all time to be;  
 Beneath, fleet ships from every port,  
 Vast landlocked bay, historic fort,  
 And dwarfing all—the sea.  
 To north, the Redwood Empire's gates;  
 To south, a happy playground waits,  
 in Rapturous appeal;  
 Here nature, free since time began,  
 Yields to the restless moods of man,  
 Accepts his bonds of steel.  
 Launched midst a thousand hopes and fears,  
 Damned by a thousand hostile sneers,  
 Yet ne'er its course was stayed,  
 But ask of those who met the foe  
 Who stood alone when faith was low,  
 Ask them the price they paid.

Ask of the steel, each strut and wire,  
 Ask of the searching, purging fire,  
 That marked their natal hour;  
 Ask of the mind, the hand, the heart,  
 Ask of each single, stalwart part,  
 What gave it force and power.  
 An Honored cause and nobly fought  
 And that which they so bravely wrought,  
 Now glorifies their deed,  
 No selfish urge shall stain its life,  
 Nor envy, greed, intrigue, nor strife,  
 Nor false, ignoble creed.

High overhead its lights shall gleam,  
 Far, far below life's restless stream,  
 Unceasingly shall flow;  
 For this was spun its lithe fine form,  
 To fear not war, nor time, nor storm,  
 For Fate had meant it so.

***Joseph Baermann Strauss.***



**Figura 197.** Vista diurna lateral del puente Golden Gate.



**Figura 198.** Fotografía de Joseph Baermann Strauss.



Figura 199. Vista diurna de las pilas principales del puente Golden Gate.

**3.- Puentes, sobre el Duero, en Zamora. Siglo XII.** Poema escrito por Blas de Otero, poeta español, en 1954.

*Recuerdos de los puentes de Zamora*

Por los puentes de Zamora,  
 sola y lenta, iba mi alma.  
 No por el puente de hierro,  
 el de piedra es el que amaba.  
 A ratos miraba al cielo,  
 a ratos miraba el agua.  
 Por los puentes de Zamora,  
 lenta y sola, iba mi alma.  
 Crepúsculo y aurora.  
 Puentes de Zamora.  
 El alba  
 se enreda entre los troncos  
 de álamos verdes,  
 orillados de oro.  
 Puentes de Zamora.  
 De oro del poniente  
 tienes la frente roja  
 la brisa cabecea,  
 cecea entre las hojas.  
 Crepúsculo y aurora.  
 Puentes de Zamora.  
 Puente de piedra, en Zamora,  
 sobre las aguas del Duero.  
 Puente para labriegos, carros,  
 mulas con campanillas, niños  
 brunos.  
 Vieja piedra cansada  
 de ver bajo tus arcos  
 pasar el tiempo.  
 Junto a la orilla, baten  
 las aceñas, España  
 de rotos sueños.

Cuando el poniente pone  
sutil el aire y el rojo  
el cielo,  
el puente se dibuja  
tersamente, y se oye  
gemir el Duero.

*Blas de Otero*



**Figura 200.** Vista diurna lateral del puente de piedra y del metálico de Zamora.



**Figura 201.** Fotografía de Blas de Otero.



**Figura 202.** Vista diurna de las pilas del puente de piedra.

**4.- Viaducto sobre la calle Bailén, Madrid, 1874.** Poema escrito por Emilio Carrere, escritor español, (1881 – 1947).

*El Viaducto*

Con sus zancos  
gigantescos  
se despatarra el viaducto  
aplastando al Madrid viejo.  
Noche estrellada;  
silencio...  
Los faroles trazan rutas ideales  
de la noche en el oscuro terciopelo.  
El viaducto, buen balcón  
del soñador nocheriego,  
y trampolín más seguro  
para dar el verdadero  
salto mortal,  
el funámbulo de lo horrible,  
que en su vuelo,  
de trágicos volatines,  
aterrija en los infiernos.  
Suenan los relojes... En la noche  
se oyen los pasos del tiempo.

*Emilio Carrere*



**Figura 203.** Fotografía de Emilio Carrere.



**Figura 204.** Vista diurna lateral del viaducto antiguo sobre la calle Bailén, en Madrid.

**5.- Viaducto sobre la calle Bailén, en Madrid, 1934.** Poema escrito por GX Cantalapiedra, poeta español, en 2016.

*El famoso Viaducto*

El vértigo de testigo  
 con un paisaje elegante,  
 el Viaducto no es castigo  
 si miras hacia adelante.  
 Sobre la calle Segovia  
 se ven sus grandes pilares,  
 con murallas de la historia  
 de tan preciosos lugares.  
 Dando paso a Las Vistillas  
 el Viaducto se hace grande,  
 sus vistas son maravillas  
 cuando se acaba la tarde.  
 La calle Bailén despierta  
 al ver sus lados tranquilos,  
 alguna pena la alerta  
 por sus aceras de siglos.  
 Es el Madrid con memoria  
 que al visitarle perfilo,  
 sus pasajes tienen gloria  
 que se llenan de sigilo.  
 Recuerdos de su pasado  
 antes de los protectores,  
 algún momento marcado  
 para muchos conductores.  
 Entre sus luces nocturnas  
 el Viaducto es elegante,  
 es un lugar de fortunas  
 que a la vez es delirante.  
 Brisas del Campo del Moro  
 le llegan de madrugada,  
 todo su entorno es decoro  
 que hacen la Villa encantada.

*GX Cantalapiedra*



**Figura 205.** Vista diurna lateral del viaducto actual sobre la calle Bailén, en Madrid.

**6.- Acueducto de Segovia. Construcción durante gobierno de Trajano. 112 d.C.** Poema escrito por Andrés Rojo, en 2021.

*Al acueducto de Segovia*

Roma en su historia jamás otorgó  
 regalo de tan gloriosa piedra.  
 se cierne con ímpetu la hiedra  
 por la ciudad que antigua se alzó.  
 Corona en granito esculpida  
 por la pulcra loma segoviana,  
 que se acrecienta en su alma artesana  
 con su condición de urbe elegida.  
 Conducto de ominoso carisma,  
 observa pasivo el tenue ocaso,  
 donde se ofusca el brumoso paso  
 del nuboso cielo que confirma.  
 Vienen a verlo del mundo entero  
 para oír sus eternas historias.  
 No tienen fin sus firmes memorias  
 de robusto recuerdo certero.

Se extiende largo su señorío  
 y oyen sus suspiros inaudibles  
 los verdes árboles apacibles,  
 saciados por su loco amorío.  
 El agua recorre dicho andamio,  
 donde los siglos aun no desangran  
 las imponentes formas que guardan  
 a la tierra de sufrir agravio.  
 Recios arcos que a todo cautivan,  
 detiene el tiempo en lenta espera  
 a la sombra fastuosa que esmera  
 por ver preservada su alma viva.  
 Hace mucho que nada lo agobia.  
 Solo se cerciora el puro pacto,  
 donde todo se mantiene intacto  
 para el acueducto de Segovia.

*Andrés Rojo*



Figura 206. Vista diurna lateral del acueducto de Segovia.

**7.- Puente de la barra Maldonado, Uruguay. 1963.** Poema escrito en 1968 por Pablo Neruda, poeta chileno.

*Al puente curvo de la Barra Maldonado*

Entre agua y aire brilla el Puente Curvo:  
 entre verde y azul las curvaturas  
 del cemento, dos senos y dos simas  
 con la unidad desnuda  
 de una mujer o de una fortaleza,  
 sostenida por letras de hormigón  
 que escriben en las páginas del río.  
 Entre la humanidad de las riberas  
 hoy ondula la fuerza de la línea,  
 la flexibilidad  
 a la dureza,  
 la obediencia impecable  
 del material severo.  
 Por eso, yo, poeta  
 de los puentes,  
 cantor de construcciones,  
 con orgullo  
 celebro  
 el atrio  
 de Maldonado, abierto  
 al paso pasajero,  
 a la unidad errante de la vida.  
 Lo canto,  
 porque no una pirámide  
 de obsidiana sangrienta  
 ni una vacía cúpula sin dioses,  
 ni un monumento inútil de guerreros  
 se acumuló sobre la luz del río,  
 sino este puente que hace honor al agua  
 ya que la ondulación de su grandeza  
 une dos soledades separadas  
 y no pretende ser sino un camino.

*Pablo Neruda*



Figura 207. Vista diurna lateral del puente de la barra Maldonado, en Uruguay.

### La rehabilitación de puentes y la poesía, dos maneras de potenciar la cultura de los puentes.

Profesionalmente, siempre me he dedicado al mundo de los puentes y las estructuras. Los primeros años de profesión los disfruté familiarizándome con los métodos de cálculo y control de ejecución de puentes de nueva construcción desde ingenierías especializadas, donde pude compartir experiencia con José Antonio Fernández Ordoñez, Julio Martínez Calzón, Francisco Millanes, y otros prestigiosos pensadores y diseñadores de puentes. Más tarde, desde que empecé a dedicarme a la ingeniería de rehabilitación y, algún tiempo después, a la rehabilitación directa de puentes en constructoras, me di cuenta que percibía una conexión especial entre el mundo de la rehabilitación de puentes y mi manera de sentirlos, precisamente desde esa forma tan particular de interactuar con ellos como es su abordaje para prolongarles la vida y mejorarlos en la medida de lo posible. Si tuviese que resumir como es la actividad de rehabilitación de un puente, diría que es una actividad muy **completa** y enormemente **empática**.

Es muy completa porque vas descubriendo e interiorizando todas las diferentes etapas de su conocimiento, y es muy empática porque, sin quererlo, vas

poniéndote en su lugar estableciendo una especie de relación médico-paciente dentro de una determinada solución de tratamiento, es decir:

- Cuando empiezas a conocerle, intentas conocer los motivos de su creación.
- Para seguir conociéndolo, indagas en sus fases de construcción.
- Para mejorar su conocimiento, analizas sus materiales y su comportamiento resistente.
- Para entrar en sus secretos, los inspeccionas con el mayor detalle posible.
- Estableces un seguimiento histórico en el tiempo, observando cómo envejecen sus elementos.
- Para pretender e intentar curarle, diseñas su rehabilitación.
- Ejecutas su rehabilitación y le fortaleces, demostrándole que le vas a ayudar.
- Le proteges contra ambientes nocivos, alargándole la vida.

***Los puentes, como a las personas, cuanto más los tratas y conoces, si vibran en tu misma frecuencia, más quieres estar entre ellos.***

Supongo que debió ser ese afán de curar a los puentes y de empatizar con su situación estructural la que me llevó a buscar una manera de sentirlos y expresarlo con palabras..... y la encontré; la actividad de la rehabilitación de puentes sacó al exterior mi intención poética. Recuerdo que, hace ya muchos años, en una obra de rehabilitación de un puente de piedra en el valle Arán, de repente, se empezaron a amontonar en mi cabeza un montón de rimas relacionadas con lo que llevaba vivido con esta obra; fue, a partir de la misma, cuando empezó a salir mi poesía estructural. Siempre argumento que no me considero un poeta, pues para serlo haría falta tener una producción literaria mucho más extensa y por motivos profesionales es complicado hacerlo, pero de lo que estoy seguro es que, ***gracias a la rehabilitación***, siento como un poeta.

A continuación, expongo algunos ejemplos personales de mi forma de sentir la rehabilitación de los puentes mediante la poesía.

### Rehabilitación del puente de Aubert, sobre el río Garona, en la carretera LV-5053. Lérida.

Y aquí viejo Puente conoces,  
a su paso, entre tus piedras,  
la belleza del Garona,  
el cual en Aubert recibes,  
y del cual su bravura tomas.  
No es justo que en todo este tiempo,  
cuando nuestra amistad asoma,  
tú me enseñes tus adentros,  
tus secretos y tus formas,  
y yo únicamente mis planos  
que tu realidad transforma,  
dándote mayor resistencia  
frente a las cargas de ahora.  
Únicamente deseo,  
que cuando dentro de un siglo  
te den de nuevo la vida,  
lo hagan con respeto y afecto,  
de lo cual estoy en lo cierto,  
por tu gran paciencia ofrecida.



Figura 208. Vista del puente de Aubert.



Figura 209. Detalle de fase de obra.

### Rehabilitación de los viaductos de Lorca de la a-7 sobre el río Guadalentín, después del terremoto del 11 de mayo de 2011

Lorca te hicieron llamar,  
y para poderte cruzar  
dos viaductos construyeron,  
los cuales servicio dieron  
para un tímido río albergar.  
Lorca, mi gran conocida,  
no pudiste imaginar  
que con nombre de poeta,  
te pusieras a temblar  
sin los versos de un poema.  
Amargo es sentir el sismo,  
entre penas y lamentos,  
sórdido claro-oscuro es,  
claridad porque lo sientes,

obscuro porque no puedes verlo.  
 Mellizos y de hormigón  
 con espíritu independiente,  
 alcé el cuello para verte,  
 y vi la fuerza de vuestra unión.  
 Riostras, dinteles, juntas y apoyos,  
 unión, firmeza, correcto sustento,  
 orgullo continuo del equipo dispuesto,  
 fuerte carácter de la solución.  
 Nunca se podrá comparar  
 el esfuerzo requerido,  
 para poder restaurar  
 vuestra fuerza y poderío,  
 con lo que vosotros pasasteis  
 en aquella noche del miedo,  
 no sabiendo si al final  
 quedabais en tierra o en el cielo.



**Figura 210.** Vista del puente de Lorca.



**Figura 211.** Detalle de fase de obra.

### **Rehabilitación del puente de Villamanta sobre el arroyo grande, ctra. M-530, p.k. 9+600**

#### ***Los puentes y las Danas***

En la DANA de un septiembre,  
 entre arrastres, lodo y agua,  
 soportando la embestida,  
 tus piedras clamaban vida,  
 el río llevaba muerte.  
 Cuando corrieron a verte,  
 tus defensas ya no estaban,  
 las boquillas muy dañadas,  
 y el mirar tu estribo, inducía,  
 necesidad de componerte.  
 Estudiando tus secretos,  
 y con deseos de protegerte,  
 se diseñaron escolleras,  
 cimentaciones profundas,  
 con abrigo de muros fuertes.  
 Incluso, se volvió a dar forma,  
 por un erudito en el tema,  
 a las boquillas existentes,  
 con un método ancestral,  
 adecuado y pertinente.  
 De todo ello aprendimos,  
 que, con este infernal clima,  
 los cauces hay que limpiar,  
 proteger a estas bellezas,  
 para la cultura de los puentes  
 pueda así, continuar.



Figura 212. Vista del puente de Villamanta.



Figura 213. Detalle de fase de obra.

Quisiera terminar con dos citas, las cuales considero que pudiesen resumir el mensaje que quiero transmitir y me ha inspirado durante toda la exposición:

**“Algunas de nuestras obras serán centenarias, incluso memorables, pero no hay que engañarse, lo perdurable es la obra de los poetas.”**

*José Antonio Fernández Ordóñez*

**“Detrás de cada puente, siempre habrá un verso que lo rime, y un corazón que lo escriba.....”**

*Miguel Ángel Delgado Núñez*

## Los puentes en la literatura y en el cine

Francisco Javier Fernández Pozuelo

### Introducción

Se afirma con frecuencia que el puente es la obra civil por excelencia, y esto lo afirman no solo los especialistas en puentes sino ingenieros y profesionales de disciplinas cualesquiera. Y no será porque la ingeniería civil y estructural no disponga de otras obras que puedan generar más emoción y estupor en los espectadores y usuarios: presas, túneles, rascacielos, intercambiadores de transporte, aeropuertos...de todos ellos hay ejemplos sobresalientes que, como digo, pueden competir en espectacularidad y complejidad con el mayor de los puentes colgantes o atirantados. Y sin embargo es el puente el objeto de mayor interés extraingenieril, sin ninguna duda. Edvard Munch, sin ir más lejos, situó al protagonista de su famosa obra El grito sobre un puente; y no es la única obra de Munch en la que los puentes están presentes.

También hay puentes en la música, aunque de un tipo diferente. En la fuga, forma musical que de manera tan magistral cultivó Juan Sebastian Bach, una de las voces presenta el denominado sujeto, que es el tema de la fuga. Una segunda voz continúa con la respuesta y, si existen más voces, éstas alternan sujetos y respuestas. Pues bien, los compases que hacen de transición entre estos elementos de las diferentes voces se denominan puente, como no podía ser de otra manera.

Y Richard Wagner, en el Anillo del Nibelungo, su magno ciclo de cuatro óperas (El oro del Rhin, La Valquiria, Sigfrido y El ocaso de los dioses) imagina un puente constituido por el arco iris sobre el cual Wotan, el dios supremo, y el resto de los dioses acceden al Valhalla.



Figura 214. El Grito (Edvard Munch).

También Anselm Kiefer, el pintor y escultor neoexpresionista alemán ha incluido puentes en sus obras, a caballo entre la pintura y la escultura, como la dedicada al Puente de Waterloo; y la extraordinaria bailarina Pina Bausch ha utilizado pasarelas en la escenografía de algunas de sus obras más famosas.

¿A qué puede deberse esta fascinación por el puente, más allá de su valor como obra de ingeniería? Para mí resulta más que evidente que el motivo no puede ser otro que la cantidad de sentimientos y significados que un puente evoca en quien lo observa o imagina. Porque, además, todo lo que un puente evoca tiene un carácter positivo, esperanzador, luminoso.

En las bellas artes hay puentes por doquier. La literatura y el cine, como enseguida veremos, no son una excepción.

### Los Puentes de la literatura

#### Generalidades

Los puentes en la literatura siempre han estado muy presentes. Los autores de las diferentes épocas y países no han sido ajenos a la fascinación de la que hablábamos en la introducción, y han utilizado los puentes ya sea como elemento central de la trama narrativa o como escenario principal o secundario de la misma. Curiosamente no existe, que conozcamos, ningún estudio académico o meramente divulgativo sobre los puentes en la literatura, algo que sí ocurre con el cine, como veremos después. El tema es muy amplio y, como decimos, da para una monografía específica; por lo que en este texto nos vamos a limitar a comentar tres obras de autores y temáticas muy distintos entre sí pero que, a nuestro juicio, representan perfectamente las diferentes aproximaciones de la literatura al mundo de los puentes.

#### Un puente sobre el Drina, de Ivo Andrić

##### El autor

Ivo Andrić es, hasta la fecha, el único Premio Nobel de Literatura que ha dado Bosnia. Lo recibió en 1961, año en que optaban al premio J.R.R. Tolkien o John Steinbeck. De orígenes humildes, pasó su niñez en la población bosnia de Visegrado, en una casa con huerto junto al río Drina. Para ir a la escuela, situada en el margen opuesto, Andrić cruzaba el Drina por el puente otomano de la ciudad.

En sus años como estudiante en Sarajevo, Andrić formó parte de los círculos revolucionarios que aspiraban a integrar en un mismo Estado a todos los eslavos del sur, incluidos los bosnios, en aquel tiempo súbditos del Imperio austrohúngaro. En 1914, Gavrilo Princip, antiguo miembro de la organización, tiroteó al archiduque Francisco Fernando en Sarajevo –magnicidio que desencadenó la Primera Guerra Mundial– y Andrić fue encarcelado por las autoridades austrohúngaras, aunque fue puesto en libertad seis meses después.

Tras la debacle del Imperio austrohúngaro en la Primera Guerra Mundial, los sueños de Andrić se hicieron realidad con la fundación del Estado de Yugoslavia. En vísperas de la Segunda Guerra Mundial, Andrić fue nombrado embajador yugoslavo en la Alemania nazi. Durante sus años en Berlín tuvo que despachar en persona con Adolf Hitler, quien según él “desprendía el brillo frío de un hombre que cree más en sus ideas y prejuicios que en sí mismo”.

Cuando el Tercer Reich invadió Yugoslavia, Andrić fue expulsado del país junto al resto de diplomáticos y se instaló en la Belgrado ocupada por los nazis. Temiendo ser arrestado por la Gestapo, se encerró en un piso del centro para refugiarse en la escritura. De este tiempo de reclusión datan sus tres grandes novelas: *Crónica de Travnik*, *La señorita* y, sobre todo, *Un puente sobre el Drina*, donde el puente de su infancia funciona a la vez como hilo conductor de la narración y símbolo de la perdurabilidad de la existencia humana.



Figura 215. Ivo Andrić, con el puente sobre el Drina al fondo.

### La obra literaria

La novela abarca un largo periodo de la historia europea: desde la construcción del puente en 1577 hasta la Primera Guerra Mundial, momento elegido por Andrić para finalizar la narración. Por ella discurren multitud de personajes, a los que Andrić dota de vida de manera fascinante, siempre con el puente como telón de fondo y como testigo mudo de la gran cantidad de acontecimientos que se suceden.

Andrić, en *Un puente sobre el Drina* habla del puente como símbolo de la ciudad, del país; de cómo la convivencia no siempre es fácil pero es posible, de los acontecimientos que marcan la historia de la ciudad de Visegrad. Y de cómo el puente es testigo del paso del tiempo, y símbolo de lo inamovible, lo inmortal. Lo que no se puede destruir.

### El puente

El puente de Mehmed Paša Sokolović, en Visegrad, cruza el río Drina en el este de Bosnia y Herzegovina, y fue construido en 1577 por el arquitecto imperial otomano Sinan siguiendo órdenes del Gran Visir que da nombre al puente. Fue proclamado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 2007.

Se trata de un puente de mampostería con 11 arcos que en su parte central dispone de un ensanchamiento que se conoce como *kapia*, y que hace las veces de plaza o ágora pública.

Tres de sus 11 arcos fueron destruidos durante la Primera Guerra Mundial, y reconstruidos posteriormente. De nuevo, durante la Segunda Guerra Mundial fueron dañados seriamente cinco de los arcos, que también fueron reconstruidos a posteriori.

Desgraciadamente, durante la guerra de Yugoslavia el puente también fue testigo de las matanzas de civiles durante la masacre de Visegrad, en 1992.



Figura 216. Panorámica del puente Mehmed Paša Sokolović, en Visegrado.

El puente de San Luis Rey, de Thornton Wilder.

El autor

Nacido en Madison, en 1897, e hijo de un diplomático, Thornton Wilder vivió su adolescencia en China, donde comenzó los estudios que luego proseguiría en Estados Unidos, hasta obtener una licenciatura de Arqueología en la Universidad de Yale, en el año 1920.

A partir de entonces se entregó a una intensa labor docente en las universidades de Chicago y Harvard, tarea vocacional de la que siempre disfrutó, dado que Wilder se consideraba profesor antes que autor literario. Su carrera literaria la inició publicando *La cábala* (1926), obra narrativa que no despertó gran interés entre los lectores. Por el contrario, su siguiente novela, *El puente de San Luis rey* (1927), le abrió las puertas de la fama y, de hecho, fue ganadora del Premio Pulitzer en 1928. Aun así, posteriormente encadenó una serie de novelas que fueron maltratadas por la crítica y que le inclinaron a cultivar la producción para el teatro, orientándose hacia una técnica revolucionaria de marcado acento surrealista.

Con sus obras teatrales Thornton Wilder se erigió en figura eminente entre los renovadores del teatro contemporáneo y en el principal dramaturgo de la llamada “Generación perdida”, a la que también pertenecían Ernest Hemingway, F. Scott Fitzgerald y John Dos Passos en el género novelístico o Ezra Pound en la poesía.

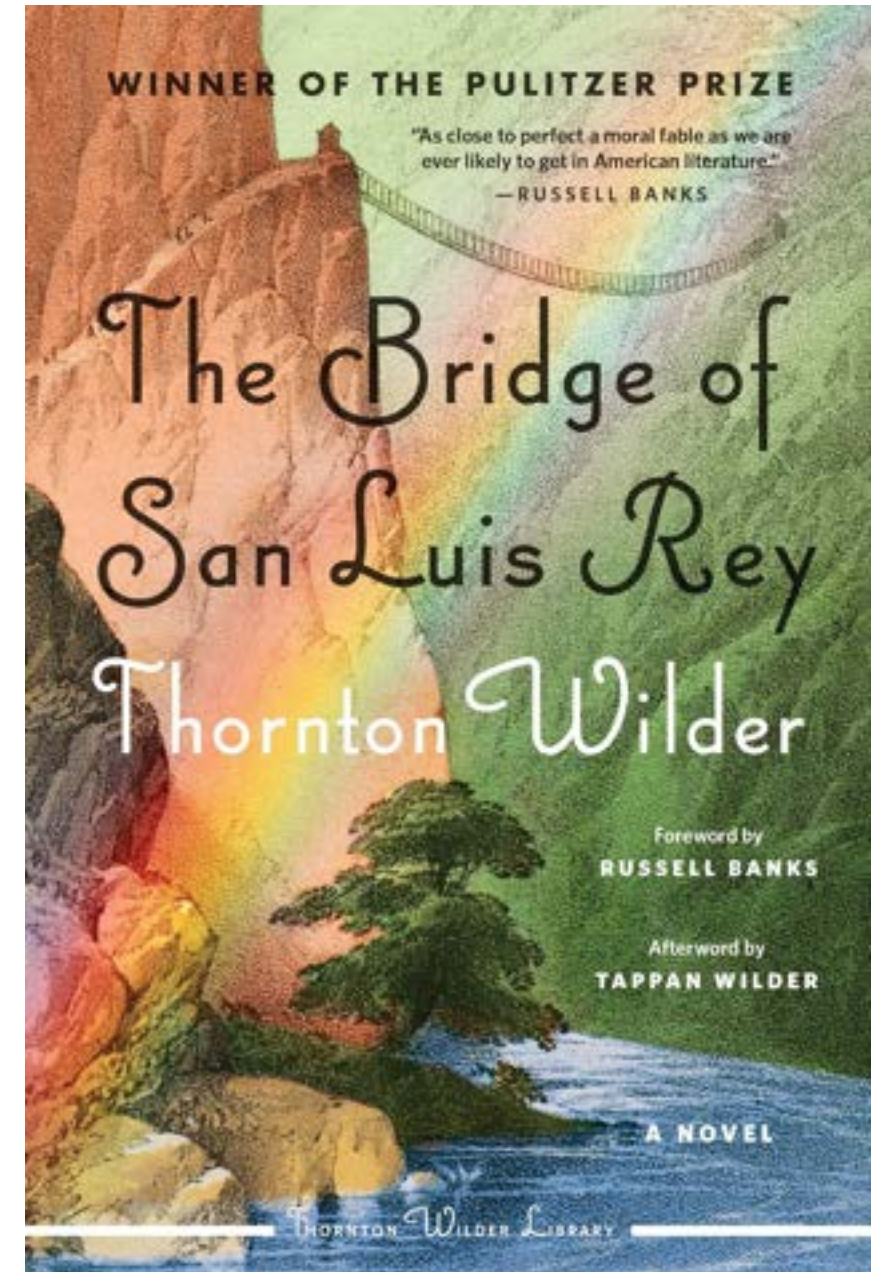


Figura 217. Portada de la edición inglesa de El Puente de San Luis Rey.

### La obra literaria

La historia se centra en un hecho ficticio ocurrido en Perú en el camino entre Lima y Cuzco, el mediodía del viernes 20 de julio de 1714. Un puente de lianas colapsa mientras cinco personas lo cruzan, cayendo al abismo y falleciendo a causa de la caída. El suceso es presenciado por el hermano Junípero, un fraile franciscano profundamente piadoso que, a partir de ese momento, buscará proporcionar algún tipo de evidencia empírica que demuestre al mundo la Divina Providencia de Dios. En el transcurso de seis años recopila un enorme libro con toda la información que puede reunir sobre las cinco víctimas, con el objetivo de mostrar que hay un plan de Dios para cada persona. Las autoridades eclesiásticas y los representantes del gobierno español en Perú no encuentran nada de los buscado en los escritos de Junípero, solo dudas sobre la omnipotencia de la Iglesia Católica y el reino de Dios. Como consecuencia, Junípero es entregado a la Inquisición y quemado en la hoguera como hereje junto con sus libros. Solo una copia de sus escritos sobrevive, llegando a manos de un narrador moderno, que ahora, en lugar del franciscano, nos muestra sus intereses científicos y teológicos, así como la vida de las cinco víctimas del puente de San Luis rey.

### El puente

Aunque Wilder siempre afirmó que el puente protagonista de su novela era una pura invención, se ha especulado con que podría tratarse del puente Queshuachaca, una pasarela con similitudes a la descrita en el libro, que se encuentra en el departamento de Cuzco, en Perú, a 3700 m sobre el nivel del mar, cruzando el río Apurímac.



Figura 218. Puente Queshuachaca, sobre el río Apurímac, en Perú.

El puente, de Gay Talese.

### El autor

Gay Talese (nacido en Nueva Jersey; en 1932) es un periodista y escritor estadounidense creador —junto con Tom Wolfe, Hunter Thompson y Joan Didion— del periodismo literario o “reportaje de no ficción”, también conocido como “nuevo periodismo”.

En junio de 1953 fue contratado en el diario The New York Times como auxiliar de los redactores. Tras una breve estancia en el ejército, volvió al periódico en 1956, donde le asignaron las páginas de deportes durante diez años.

Talese saltó a la fama en las páginas de The New York Times con la publicación de reportajes singulares, el primero de los cuales fue *El Puente: la construcción del puente Verrazano Narrows* (1964), una historia que cautivó a millones de lectores. La genialidad de Talese reside en haberse dado cuenta que detrás de la construcción de un puente podía haber multitud de historias personales que, por sí solas, podían interesar a la gente normal que leía los periódicos de los años 60 en Estados Unidos.

De hecho, en aquéllos años ya se habían construido la mayor parte de los puentes más famosos de Nueva York (Manhattan, Brooklyn, George Washington, Queensboro, Bayonne,...) y, sin embargo, nadie le había prestado atención, desde el punto de vista literario, a ninguno de ellos.

### La obra literaria

*El puente* fue publicada en 1964 y, como ya se ha mencionado, catapultó a Gay Talese al estrellato periodístico. En última instancia, el libro no era más que la recopilación de todas las columnas relacionadas con la construcción del puente Verrazano que Talese había escrito durante cinco años para el “Times”.

Talese describe el proceso de construcción del puente desde una perspectiva muy humana, dejando a un lado las cuestiones técnicas que, aun siendo mencionadas, no son objeto de descripciones detalladas. Su objetivo es captar el efecto de la construcción del puente sobre las personas que tienen relación con él: desde los vecinos de Nueva York afectados por las obras, que en algunos casos tenían que abandonar sus viviendas debido al nuevo puente; hasta los obreros especializados que trabajaban en el puente, los denominados *boomers*, obreros del hierro que vivieron el auge de la construcción en las décadas de los años cincuenta y sesenta.

Talese habló largo y tendido con muchos de estos trabajadores y dejó en *El Puente* el registro de sus conversaciones, en las que se trataba de sus técnicas y habilidades, de la división jerárquica en la obra, de sus diversiones e incluso de la relación con sus familias y sus procedencias sociales.

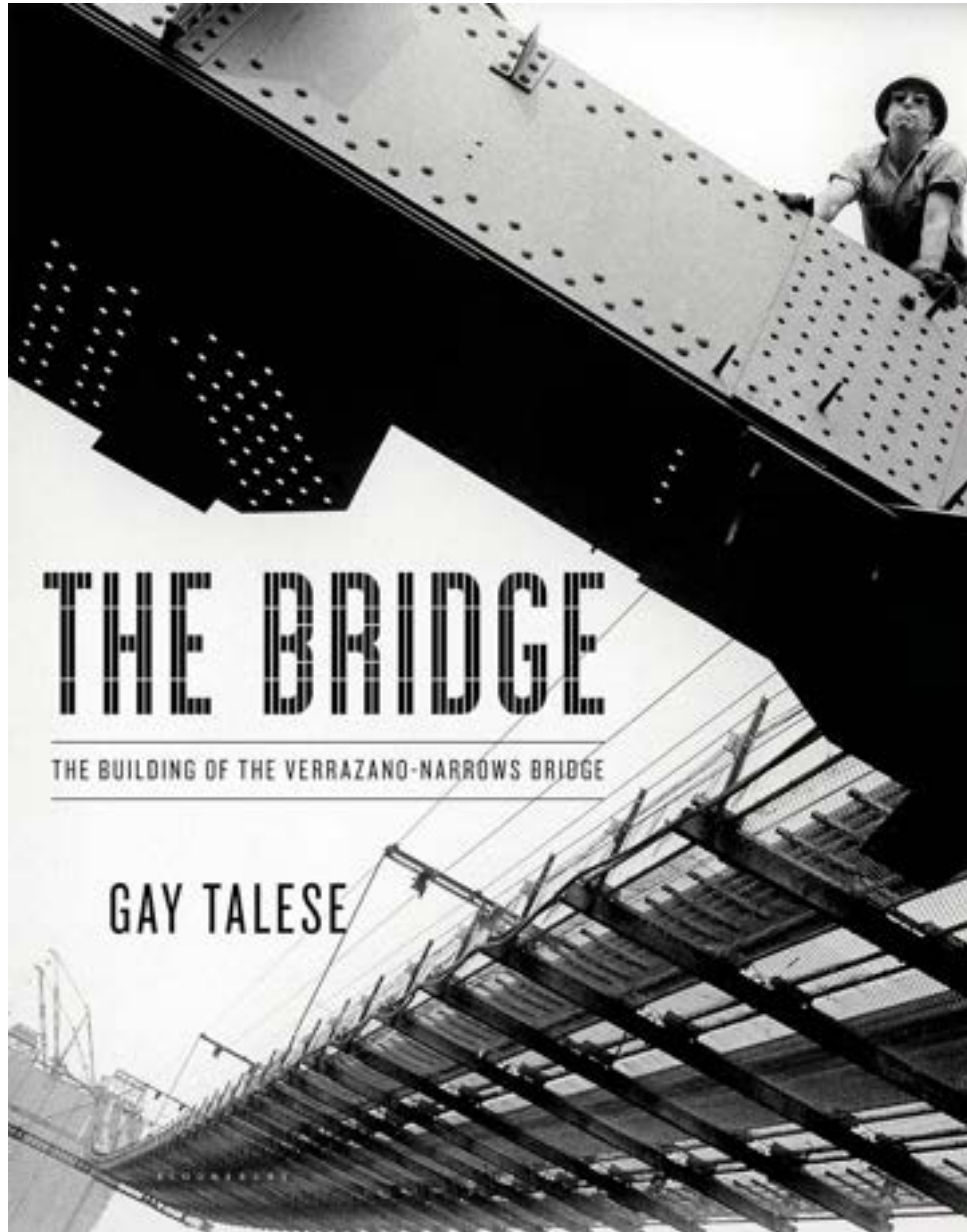


Figura 219. Portada de la edición inglesa de *El Puente*.

## El puente

El puente Verrazano-Narrows, última de las grandes obras del ingeniero suizo Othmar Ammann, es un puente colgante que conecta los distritos de Staten Island y Brooklyn en la ciudad de Nueva York a través de *the Narrows*, el estrecho que conecta ambas zonas de la bahía. Su nombre se debe al explorador italiano Giovanni da Verrazano, navegante europeo que, al servicio de Francisco I de Francia, exploró la costa atlántica de América del Norte y que, se cree, fue el descubridor de la bahía de Nueva York y del río Hudson.

Su vano principal tiene una longitud de 1298 m, habiendo sido el puente colgante más largo del mundo desde su inauguración en 1964 hasta 1981. Hoy continúa siendo el más largo de Estados Unidos (y el decimoséptimo del mundo).



Figura 220. Vista aérea del Puente Verrazano Narrows.

## Los Puentes en el cine

### Generalidades

El cine fue, primero, literatura en movimiento (con el nacimiento del cine mudo) y, después, con el advenimiento del sonoro, literatura para vagos; es decir, literatura para quienes no quieren o tienen necesidad de esforzarse en leer.

Bromas aparte, lo que sí es cierto es que cualquier película está basada en un guion que, ya sea original o adaptado, no deja de ser una obra literaria. Y también es cierto que, si bien la literatura exige al lector un esfuerzo imaginativo para introducirse en el microcosmos creado por el autor de la obra, el cine, por su parte, exige al espectador un esfuerzo mucho menor para acceder a la trama, salvo en casos de obras extremas de arte y ensayo o cine experimental.

La digresión anterior viene al caso porque la fascinación de los autores cinematográficos por los puentes ha sido y es tanto o más acusada que la de los autores literarios y ello tiene que ver con el hecho de que el cine es un vehículo mucho más directo para proyectar elementos de gran potencia visual (y un puente lo es) que la literatura. Todo lo que decíamos de los puentes en relación con la literatura, su simbología inacabable, su capacidad evocadora, su papel de escenario principal o secundario de una trama, sigue estando vigente en el caso del cine; pero ahora, además, no es necesario imaginar nada. Si el cineasta tiene talento y un buen director de fotografía, el puente aparecerá ante el espectador con todo lujo de detalles, desempeñando el papel que el guionista o el director le hayan asignado. La presencia de los puentes en el cine es permanente y ha dado lugar a auténticas obras maestras de muchos géneros.

Como en el caso de la literatura, no es posible en un artículo como este abarcar una relación que (en este caso sí) ha dado lugar incluso a tesis doctorales, por lo que de nuevo nos vamos a limitar a hablar de tres películas que incluyen secuencias en las que los puentes protagonistas, sin duda, quedan grabados en la memoria del espectador.

El maquinista de la General (The General), Buster Keaton, 1926.

Buster Keaton (Kansas, 1895) es, junto a Charles Chaplin, el cineasta más grande que ha tenido el cine mudo en su historia. Keaton se veía y se presentaba a sí mismo como un cómico, más que como un artista cinematográfico, punto de vista diametralmente opuesto al de Charles Chaplin, mucho más consciente y preocupado por la dimensión artística de su obra.

Pero es evidente que un simple cómico no habría dirigido algunas de las mejores películas de la historia del cine, como es el caso de *El Maquinista de la General* (1926), una obra que demuestra que por mucho que Keaton se viera a sí mismo como un artista de vodevil que se había trasladado al cine, en realidad era uno de los mejores directores de su época.

Producida en su mayor momento de popularidad, *El Maquinista de la General* fue con diferencia el proyecto más ambicioso en que se embarcó Keaton. La película estaba basada en un hecho real sucedido durante la Guerra de Secesión, protagonizado por unos soldados del bando confederado que se infiltraron en

territorio enemigo para secuestrar una locomotora y con ella destruir todas las infraestructuras de ferrocarril y los puentes que se encontrasen por el camino. A Keaton, que era un fanático de los trenes, le llamó la atención la historia y decidió adaptarla al cine con algunos cambios.

Keaton nunca había hecho hasta entonces una película de tal envergadura, no solo por los enormes costes que suponían todas las escenas con trenes, sino por la cuidadosa ambientación de la época que Keaton quería recrear.

El productor, Joseph M. Schenck, compartió el entusiasmo del cineasta y le proporcionó un presupuesto de 400.000 dólares, una cifra enorme para la época, sobre todo tratándose de lo que pretendía ser una simple comedia. No solo hacían falta numerosos trenes, sino que además era necesario construir una segunda vía en paralelo a aquella por la que circulaba el tren protagonista. Por esta segunda vía circulaba el tren desde el que se filmaban las diferentes secuencias de la película. Aun así, la escena más costosa de todas fue con diferencia aquella en que la General cruza un puente en llamas que acaba derrumbándose bajo su peso. Fue el plano más costoso de toda la era del cine mudo (42.000 dólares). Los restos del tren quedaron en el río durante años, convirtiéndose en una atracción turística hasta que se retiraron.



Figura 221. Fotograma de la caída de la General sobre el río.

Y sin embargo el filme fue un sonoro fracaso de taquilla en su momento. Los costes de producción se dispararon hasta los 750.000 dólares haciendo que fuera casi imposible recuperarlos. Además, muchos críticos acogieron la película con prejuicios, como un proyecto egocéntrico y caro por parte de un cómico que de repente se había tomado a sí mismo demasiado en serio. Así pues, la obra que ha acabado siendo considerada la cima de la carrera de Buster Keaton fue también la que propició su caída en desgracia, algo que no impidió que el propio Buster siempre siguiera considerándola su mejor película.

Octubre, Sergei Eisenstein, 1927.

Sergei Eisenstein (Riga, 1898) fue probablemente el director, montador y teórico cinematográfico más importante de la extinta Unión Soviética. Estudió arquitectura y bellas artes antes de enrolarse en las milicias populares que participaron en la Revolución de Octubre.

Tras unos primeros trabajos teatrales, se interesó por el nuevo medio artístico que era el cine y ya en 1924 rodó su primer largometraje, *La Huelga*. A continuación, recibió el encargo de rodar una película conmemorativa de la Revolución de 1905 que se convertiría en su obra más célebre: *El acorazado Potemkin* (1925).

No obstante, la obra que queremos destacar aquí por la existencia de una secuencia magistral en la que un puente tiene un papel esencial, es *Octubre*, estrenada en 1927. El comité central del Partido Comunista encargó a Eisenstein su realización ese mismo año, siendo su objetivo conmemorar el décimo aniversario de la revolución. El film se divide en cinco capítulos que abarcan el periodo transcurrido desde los primeros días del gobierno provisional de Kerensky hasta el momento en que los bolcheviques llegan al poder.

La película, una obra magistral, tuvo un desarrollo muy tortuoso dado que el propio José Stalin intervino como censor, exigiendo a Eisenstein que eliminase todas las escenas en las que aparecía Trostsky, que ya había sido apartado de la dirección del partido. Por si fuera poco, la crítica se cebó con *Octubre* al considerarla demasiado compleja narrativamente para un público llano al que, según ellos y el propio Stalin, debían transmitirse mensajes más simples y directos.

La secuencia del puente a la que nos hemos referido es especialmente perturbadora. En ella podemos ver cómo un puente móvil, el Puente del Palacio, está siendo elevado (con el objetivo de que los revolucionarios no pudiesen transitar con facilidad por San Petersburgo, Petrogrado en aquella época) mientras un carro tirado por un caballo, ya muerto, queda colgando de una de las hojas

del puente. También es especialmente angustiosa la imagen de una mujer tirada sobre el tablero del puente, cuyo cabello va deslizándose sobre la hoja en elevación. Quienquiera que vea o haya visto esta secuencia no la olvidará fácilmente.



Figura 222. El puente del Palacio, escenario de la secuencia de Octubre.

Midnight in Paris, Woody Allen, 1926.

Poco se puede decir de Woody Allen que no se haya dicho ya, sea bueno o sea malo lo que se haya dicho. De él ha dicho José Luis Garcá, y con razón, que sería el primer cineasta al que deberían otorgarle el premio Nobel de literatura. Y no es exagerado.

En su extensísima carrera cinematográfica, consecuencia de esa manía gloriosa a ratos de filmar una película al año, *Midnight in Paris* es un eslabón que forma parte de la cadena gloriosa de la que hablábamos.

El personaje principal, Gil, es un joven turista americano que llega a París con su prometida y la familia de ella. Aunque Gil es un exitoso guionista de cine, se siente insatisfecho y bloqueado como escritor, porque sabe que su trabajo para la industria cinematográfica americana no le permite desarrollar sus necesidades creativas, unas necesidades en las que no acaba de creer, que no acaba de tomarse en serio.

Durante toda la película Gil pasea por los rincones más singulares de París, incluyendo, por supuesto, los puentes más famosos sobre el Sena: puente de Alejandro III, puente de la Concordia, puente Nuevo, puente de San Luis, pasarela Solferino, etc.

Una noche, después de una degustación de vinos y estando ya borracho, Gil se separa del grupo y se pierde caminando por las calles de París, hasta llegar a un barrio latino donde se sienta a descansar en unas escalinatas. Al escuchar las doce campanadas que marcan la medianoche, un automóvil antiguo frena justo enfrente de él, los ocupantes lo invitan a subir y se transportan en el tiempo a los tan soñados años 20. Aquí es donde, sin poner en tela de juicio si se trata de un posible viaje en el tiempo, de su gran imaginación, una fantasía o alucinación, producto de su borrachera o simplemente de la magia del cine, Gil se encuentra, estupefacto, en los por él amados años 20, y con todas aquellas personas, sus ídolos, con quienes tanto soñó. El París de los surrealistas, de Man Ray, Buñuel y Dalí, donde Gertrude Stein recibe en su casa a los artistas de la época, un París donde podemos encontrar a T.S.Eliot o a Djuna Barnes, donde Picasso pinta apasionadamente a sus amantes y donde Scott y Zelda Fitzgerald le presentan a escritores como Hemingway, o músicos como Cole Porter.

Al final de la película, Gil sale a caminar nuevamente por la noche parisina pero ya no vuelve a aquella calle donde tiene la oportunidad de viajar a los años 20 cada medianoche (se escuchan de fondo las doce campanadas). Se queda en el puente de Alejandro III, mirando el río, y se encuentra con Gabrielle, la vendedora de discos que conoció en una de sus visitas turísticas en las que acompañaba a su novia y su suegra de compras.

Su vida no volverá a ser la misma. Y el tránsito de una vida a otra queda magistralmente descrito por su paseo sobre el puente, bajo la lluvia, con Gabrielle. Sí. Woody Allen merece el Nobel de literatura, incuestionablemente.



**Figura 223.** El puente de Alejandro III, en París.

## Referencias

- [1] Andric, Ivo, Un puente sobre el Drina, RBA, Barcelona, 2010
- [2] Alejándrez, Valentín J.; Magallón, Gorka, Bisbal Grandal, Ignacio; Pereña, Rubén M., La obra civil y el cine. Una pareja de película, Cinter, Madrid, 2005
- [3] Bonet Correa, Antonio; Gracia, Jordi; Rico, Francisco, España Siglo XXI, 5. Literatura y Bellas Artes, Biblioteca Nueva, Madrid, 2009
- [4] Borau, Jose Luis, La pintura en el cine, el cine en la pintura, Ocho y Medio, Madrid, 2003
- [5] Eco, Umberto, Cultura y semiótica, Círculo de Bellas Artes, Madrid, 2009
- [6] Frampton, Kenneth, "The architect as bridge builder", en Frampton, Kenneth, Webster, Anthony C. Tischhauser, Anthony, Calatrava Bridges, Artemis, Zúrich, 1993
- [7] Plasencia Lozano, Pedro (Tesis doctoral), El paisaje de los puentes urbanos. La mirada del cine. El New Hollywood y Woody Allen, Universidad de Extremadura, 2012
- [8] Ramírez, Juan Antonio, La arquitectura en el cine. Hollywood, la Edad de Oro, Alianza, Madrid, 1993
- [9] Sweetman, John, The artist and the bridge: 1700-1920, Aldershot, Londres, 1999
- [10] Talese, Gay, El Puente, Alfaguara, Barcelona, 2018
- [11] Wilder, Thornton, El puente de San Luis Rey, Edhasa, Barcelona, 2003

## El valor cultural de los puentes

Javier Muñoz Álvarez

*A juicio del autor, un título de la ponencia quizá más apropiado habría sido “el poco valor cultural de los puentes”, y ello porque ni los otros —el Mundo de la Cultura— ni los propios —los ingenieros de caminos— muestran excesivo interés por la estética de los puentes. Así, más que un hecho cultural, los puentes han sido tradicionalmente un hecho civilizatorio y ahora, principalmente, constituyen un hecho publicitario.*

### **Introducción**

En 1933 publicaba José Ortega y Gasset *Meditación de la técnica y otros ensayos*, que incluye, *inter alia*, los apuntes de un curso, “*Qué es la técnica*”, impartido justamente en la entonces Universidad de Santander, ahora Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Prevenía ya entonces el filósofo contra la barbarie del especialismo y advertía de que para ser ingeniero no basta con ser ingeniero.

Noventa y un años después, son pocos los ingenieros de puentes que han entendido que, en efecto, no basta con ser un buen ingeniero: a más de la técnica en sí, debería también pesar en la concepción y diseño de muchas de estas estructuras —los puentes singulares, especialmente— consideraciones estéticas *lato sensu*. No parece ser el caso, por norma general. Tampoco el Mundo de la Cultura reconoce a los puentes como hecho cultural, salvo contadas excepciones. Veamos.

## Hecho cultural

### La mirada de los otros

Valdría constatar un hecho *corpore insepulto* para negar el valor cultural de los puentes: ¿cuántos inscritos al curso que trae cuenta pertenecen al Mundo de la Cultura? Por otra parte, ¿cuántos suplementos culturales de medios de comunicación, o cuántos medios de comunicación *tout court*, darán cuenta de la celebración de un curso que reivindica, con justicia, “el valor cultural de los puentes”? Probablemente, ninguno. ¿Ello niega que los puentes —algunos puentes— sean un hecho cultural y no solo un “hecho técnico”? En absoluto, pero lo cierto es que si no estás, no eres. O dicho de otra manera: si los demás no te reconocen una condición, a todos los efectos esa condición no es tal.

Sea como fuere, es obligado destacar que en el campo de la ingeniería civil son los puentes —algunos puentes— las obras que con mayor justeza cabe calificar de hecho cultural en cuanto que se prestan a un juicio estético, esto es, a un juicio crítico —cosa que no ocurre, o que no ocurre con tanta evidencia, con otras obras públicas: así, por poner un solo ejemplo, un colector de aguas residuales se quiere un “hecho técnico” sin más—.

Por otra parte, a menudo se quiere emparentar a los puentes con la Arquitectura, concediéndoles así una pátina de “bella arte”; no cabe duda de que ciertos puentes o pasarelas singulares no desmerecen en absoluto de cualquier edificio en cuanto que ejemplos, ambos, de las “artes de la construcción”, pero existe una diferencia fundamental: los edificios “se ven” —Dios lo ve, que diría Óscar Tusquets—, mientras que no todos los puentes se ven: en un puente de ferrocarril o de autopista a menudo se pasa por encima y a mucha velocidad... *A fortiori*, casi todos los edificios se hallan en núcleos urbanos: el ciudadano inevitablemente lo ve... y enjuicia. No ocurre esto con un gran número de puentes, que se ubican en mitad del campo: hace falta desplazarse ex profeso para ver, para enjuiciar, de ahí que obras que cabe calificar sin ningún género de dudas de hechos culturales, o incluso de obras de arte, como el puente de Salginatobel (1930), de Robert Maillart, no sean conocidas por el gran público y, en consecuencia, no se reconozcan como hecho cultural. A este respecto, nos parece digno de mención y emulación el viaducto de Millau (2004), del *ingénieur des ponts et chaussées* Michel Virlogeux y del arquitecto Norman Foster: una vez construida, e inaugurada, la obra no devino solo una obra “funcional”, esto es, un hecho técnico: «*Visitez le viaduc de tous les records*» es el moto con que las autoridades quisieron poner en valor —como hecho cultural— esta magna obra desde el primer día: espectáculos inmersivos, espacio museográfico, visitas guiadas (40 minutos, 6€), etcétera.

Así las cosas, vale decir que la mayor parte de los puentes que se prestan a un juicio estético se encuentran en las ciudades, no porque constituyan un mayor logro técnico, sino porque los ciudadanos, y el Mundo de la Cultura, los ven. Y como ocurre con cualquier otra obra de cultura, el juicio crítico puede ser mejor o peor, o incluso cabe la posibilidad —la peor de todas— de que no exista ningún juicio, ni bueno ni malo. La casuística es amplia: cualquier ciudadano con una mínima sensibilidad artística, aun desconociendo la Técnica, convendrá en que el Pont des Arts (1801) en París o el Puente de la Barqueta (1992) en Sevilla, obra de Juan José Arenas, son dos obras de arte, o cuando menos dos obras que gustan. Distinto habría de ser el juicio crítico sobre otros puentes como el Puente del Milenio (2001) en Orense, el Pabellón Puente (2008) de Zaha Hadid en Zaragoza o el nuevo puente sobre el río Tajo en Alcántara (en construcción). Si bien estos puentes pueden asombrar a cualquier ciudadano —por sus dimensiones, geometrías, etcétera—, para quienes tenemos conocimientos técnicos, por fuerza el juicio ha de ser poco benévolo. Pero lo cierto, ay, es que son pocas las voces entre los ingenieros que se atreven a enjuiciar... Para el caso del puente de la arquitecta Zaha Hadid, ni Javier Manterola ni Miguel Aguiló se han andado con paños calientes: un edificio horizontal interesante que no aporta nada al mundo de los puentes, que riza el rizo de la dificultad técnica por rizarlo, que apuesta más por la sugerencia formal que por el diseño estructural de la forma... También Florentino Regalado o Daniel Crespo han sido de las pocas voces que públicamente se han atrevido, no solo a poner en duda la tipología elegida para el nuevo puente aguas arriba del puente de Alcántara, sino incluso la conveniencia de su construcción.

Nótese, por lo demás, que las críticas poco benévolas rara vez se hacen al trabajo de un ingeniero vivo y español —Zaha Hadid era arquitecta anglo-iraquí—. Es lo que lamenta el artista David Bestué, quien se ha atrevido a poner negro sobre blanco lo que se dice *sottovoce* por muchos ingenieros: que el puente del Dragón en Alcalá de Guadaíra (2007), de José Luis Manzanares —uno de los grandes ingenieros de nuestro país, por otra parte—, es inquietantemente feo, y que en todo caso los elementos de juicio no pueden ser los mismos para un puente- puente que para un puente temático —que recibe miles de visitas todos los años; especialmente de turistas asiáticos, parece ser—.

Pero vengamos ya a la mirada “institucional” del Mundo de la Cultura.

En la versión segunda del programa del curso se preveía una ponencia titulada “El tratamiento que los medios de comunicación dispensan a los puentes (pendiente de confirmación)”. En el programa definitivo esta ponencia se sustituyó por otra: “Un puente en el paisaje. Goya y el concepto de lo sublime en la Ilustración”. Cabe deducir que los medios de comunicación dispensan poco o ningún tratamiento a los puentes, de ahí la dificultad para encontrar a alguien

que impartiera tal ponencia. Acaso *prima facie* queda demostrado el poco valor cultural de los puentes... para los otros. En efecto, como ha recordado en más de una ocasión César Lanza, la ingeniería interesa solo cuando fracasa —vale acordarse del reciente colapso del puente Francis Scott Key en Baltimore—. Dicho lo anterior, y aunque no consuele, las “artes de la construcción” ocupan lugar menguante en los medios culturales: Llätzer Moix, autor del libro *Queríamos un Calatrava*, aún escribe de Arquitectura con cierta asiduidad en La Vanguardia, pero rara vez El País, por citar un periódico de referencia, publica ya ninguna noticia sobre obras de arquitectura o sobre arquitectos —una constatación de que se lamentaba hace poco en El País Semanal, justamente, Álvaro Siza—: lejos quedan los tiempos en que Luis Fernández-Galiano o Anatxu Zabalbeascoa escribían semanalmente en El País o en Babelia sobre las cosas de arquitectura. No obstante ello, hay grados: el tratamiento necrológico dado por los medios al arquitecto Antonio Fernández Alba y al ingeniero de caminos y proyectista de puentes de referencia Javier Manterola, ambos académicos de número de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, ha sido muy dispar, demostrándose que la Arquitectura, si bien hoy menos que ayer, pesa más en los medios que la Ingeniería.

Por terminar con la atención “institucional” que el Mundo de la Cultura dispensa a las obras de ingeniería en cuanto que “hechos culturales” cabe mencionar a las editoriales, a los museos, a las salas de exposiciones, a las ferias de arte, etc. Nuevamente se confirma que han sido pocas las ocasiones en que la ingeniería ha despertado interés en el establishment artístico y cultural, si bien es cierto que en esas pocas ocasiones han sido los puentes las obras de ingeniería más reconocidamente destacadas. Citemos, no obstante, un libro y tres exposiciones antológicas: Robert Maillart (1949), por Max Bill; MoMA (Museum of Modern Art): “Robert Maillart Engineer” (1947) y “Twentieth century engineering” (1964); Centro Pompidou: «L’art de l’ingénieur: constructeur, entrepreneur, inventeur» (1997) —en esta última exposición, uno de los tres curadores fue José Antonio Fernández Ordóñez—.

Por último, y aunque esto se trata en ponencias específicas, ni que decir tiene que los puentes han tenido reflejo y protagonismo en algunas Artes; así, en la pintura y en la literatura (y en el cine). Si bien no podemos ni debemos extendernos sobre ello, apuntemos que fue en el siglo XIX, cuando los ingenieros civiles eran los “héroes del progreso” —muy señaladamente por la aparición del ferrocarril y antes del advenimiento de la aviación o de los vehículos automóviles—, cuando la novela prestó mayor atención y concedió mayor protagonismo a los ingenieros de puentes —a estos efectos, resulta paradigmática la novela Doña Perfecta, de Benito Pérez Galdós—. En cuanto a la pintura, con la aparición de la fotografía y de las vanguardias artísticas —y consecuente abandono de lo figurativo, en buena medida—, por fuerza las obras de ingeniería civil perdieron protagonismo.

## De puertas para adentro

Valdría constatar, nuevamente, otro hecho *corpore insepulto* para negar el valor cultural de los puentes: ¿cuántos inscritos al curso que nos trae cuenta son ingenieros de caminos, canales y puertos? En un colectivo de más de 30.000 profesionales, y en el que un número reseñable de ellos participan de manera indirecta o directa en el proyecto, construcción o dirección de obras de puentes, que se hayan inscrito poco más de ocho o diez zanja el debate *ab initio*: ni los propios técnicos concernidos muestran interés por los puentes en cuanto que hecho cultural —de haberse enfocado este curso desde un punto de vista técnico, como se enfocan, por ejemplo, los congresos y jornadas de la ACHE (Asociación Española de Ingeniería Estructural), el número de matriculados habría sido, sin duda, mucho mayor—.

Por otra parte, esto no debería de sorprender a nadie: casi en ninguna Escuela de Ingenieros se imparte una asignatura específica sobre la historia de la ingeniería y la estética de las obras públicas. Así se antoja difícil que los ingenieros —excepción hecha de los *happy few* autodidactas— valoren un “hecho técnico” como hecho cultural. Y de ahí también su incomodidad, no ya para contemplar la Estética en el proyecto de nuevos puentes, sino para participar en la rehabilitación de puentes históricos y para demostrar un *savoir-faire* suficiente en la catalogación del patrimonio de obras de ingeniería civil.

Ocurre también —las cifras de ventas o préstamos bibliotecarios cantan— que son pocos los ingenieros que sacan partido a no pocas publicaciones en verdad admirables y magníficas escritas por ingenieros que “pensaron obrando”. Sin ser exhaustivos, señalemos algunas de ellas: *Razón y ser de los tipos estructurales*, de Eduardo Torroja; *La arquitectura del ingeniero*, de Carlos Fernández Casado; *Pensar la ingeniería*, de José Antonio Fernández Ordóñez; *Caminos en el aire: los puentes*, de Juan José Arenas; *Tierra sobre el agua: visión histórica universal de los puentes*, de Leonardo Fernández Troyano; *Forma y tipo en el arte de construir puentes*, de Miguel Aguiló; *Puentes, estructuras, actitudes*, de Julio Martínez Calzón; etcétera.

Confirmada la casi general atonía lectora entre los ingenieros, no extraña que Octavi Domosti, colaborador de la revista Jot Down, lamente que la ingeniería no tenga quien la escriba y que la teoría discursiva sea deficiente y se añada a posteriori en lugar de hacerlo *ab origine*.

Por lo demás, también es justo reseñar la labor, *in illo tempore*, de una institución como el CEHOPU (Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo), con exposiciones varias y muy valiosas —ideadas hace años, buena parte de ellas, por Ignacio González Tascón—; por venir a las dedicadas

a puentes, mencionemos “Puentes arco en España” (2012) y “Más allá del arco: puentes de la modernidad” (2016).

Y, por último, acordémonos del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos —como reza en la página primera, quien esto escribe es empleado de esta corporación de derecho público: para evitar suspicacias—. Obligado es acordarse primeramente de la época de José Antonio Fernández Ordóñez como presidente del Colegio a finales de los setenta, con la creación de la benemérita Colección “Ciencias, Humanidades e Ingeniería” y con la organización de exposiciones pioneras —Eugène Freyssinet, Eduardo Saavedra...—; igualmente valiosas han sido la Revista de Obras Públicas y la extinta Revista OP (luego Ingeniería y Territorio), que publicó en 1988 el mítico número 7-8, “El diseño en la ingeniería civil” —con colaboradores como Eduardo Chillida, Eugenio Trías, José María Valverde, Fritz Leonhardt, Eladio Dieste...—.

### Hecho civilizatorio

El 1 de enero de 1999 entraba en circulación el euro, siendo de curso corriente en doce países de la Unión desde el 1 de enero de 2002. Del diseño de los distintos billetes (5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500) se ocupó el austriaco Robert Kalina. ¿Cuál fue el motivo principal elegido en el diseño? Los puentes de distintos periodos de la historia del arte: clásico, románico, gótico, renacentista, barroco, modernista y contemporáneo. Quedaba así sancionada la condición material y simbólica de los puentes como puntos de unión de culturas, lenguas, naciones... (Por cierto que en 2015 se inauguró en Rotterdam un parque temático con los puentes incluidos en los billetes construidos a escala humana y con sus colorines correspondientes...).

De la condición civilizatoria de los puentes a lo largo de la historia —especialmente en limes, en áreas montañosas...— han dado cuenta numerosos autores; así, destacable se quiere la literatura de los Balcanes, con novelistas como Ivo Andrić (*Un puente sobre el Drina*) o Ismail Kadaré (*Un puente de tres arcos*). Pero no hay que ir a épocas pretéritas para tomar conciencia de que hasta hace poco tiempo los puentes seguían salvando distancias, no solo métricas, entre márgenes de ríos o arroyos: vale saber, por ejemplo, que hasta 1995 no se inauguró sobre el embalse de Ricobayo un puente que uniera las dos orillas del río Esla por aquellas tierras de Zamora (cfr. Barcas de paso en el Reino de León. De la Edad Media al siglo XX).

### Hecho publicitario

Ingeniería icónica

En pasadas fechas la empresa FCC inició una campaña publicitaria con el lema “Más de 120 años unidos a ti”. En el caso de los anuncios en prensa, los puentes

copan casi por completo las imágenes de las obras emblemáticas construidas por esta empresa más que centenaria —uno de ellos es el Puente de Fernando Roig (1987) en Alcoy, de José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón—. También cumple 100 años la Sociedad Española de Radiodifusión, la cadena SER. La empresa FCC quiso publicar un anuncio celebratorio: en esta ocasión el lema era “¡Por 100 años más conectando personas!” y aparecía una imagen de un puente sobre el río Navia (2007), de José Ignacio González Esteban. Se demuestra, pues, que en el conjunto de las obras de ingeniería civil el puente se lleva la palma publicitaria, tanto por sus valores estéticos como por su simbolismo civilizatorio.

Caso aparte merecen, como gusta de recordar César Lanza, la querencia de bancos y aseguradoras por asociar los puentes a sus respectivos negocios, no tanto por la *utilitas* vitrubiana, como por su *firmitas* y *venustas*. La empresa de seguros Mapfre, por ejemplo, viene haciendo uso desde hace años de las imágenes de dos puentes colgantes en verdad monumentales: Golden Gate (1937), de Joseph Strauss, y Verrazano Narrows (1964), de Othmar Ammann. Entre los bancos, mencionemos a título de ejemplo la identificación del BBK, una caja de ahorros en su día principalmente “local”, con un puente “de la tierra”: el Puente Colgante de Portugalete (1893), del arquitecto Alberto de Palacios, reconstruido tras de la Guerra Civil en 1941 por el ingeniero de caminos Juan José Aracil.

Pero lo publicidad, que lo puede todo en nuestra época y todo lo atrapa, se aprovecha de los puentes icónicos de muy variadas formas, sea cual fuere el producto que vender. Así, por ejemplo, hay perfumes franceses, *bien sûr*, que llevan por nombre de marca los puentes de Alejandro III o el Puente de las Artes; innumerables son los anuncios de coches que se han rodado en el Puente del Tercer Milenio (2008) en Zaragoza, de Juan José Arenas y Guillermo Capellán. Etcétera.

Por último, y por subir un grado, la publicidad a veces deviene propaganda. Acostumbran los responsables políticos acudir a las inauguraciones cuando el puente es simbólico, bien por el “tamaño” —caso del Puente de la Constitución de 1812 (2015)—, bien por su “forma” —caso del puente de la Concordia en Madrid (2021), cuyo diseño, según parecer de los proyectistas arquitectos, se encuentra más cerca de la industria de la aviación que del puente arco tradicional—, bien por sus implicaciones geopolíticas —puente sobre el estrecho de Kerch (2019) en Rusia o nuevo puente de los Dardanelos (2022) en Turquía—.

Los puentes como “experiencia”

Para el filósofo Byung-Chul Han vivimos una transición acelerada desde la era de las cosas a la era de las no-cosas y, en verdad, es la información —incluida la publicidad—, quien gobierna nuestras vidas. Así, a nadie debería extrañar que

algunos puentes —señaladamente algunas pasarelas peatonales— se proyecten y construyan como no-puentes. Ya no se trataría de populismo estético, que denunciaba a finales del siglo XX José Antonio Fernández Ordóñez, ni tampoco de los puentes-monumento a que se refería Juan José Arenas; no, ahora se trata de que la función primordial histórica de los puentes ha dejado de ser tal: ahora la pasarela es una atracción turística en sí misma, sin ninguna otra función requerida. En algunos casos, la pasarela se concibe desde el inicio para que el usuario viva una “experiencia única” en busca de la consagración de la autenticidad —por citar a Gilles Lipovetsky—, esto es, que sea *instragramable*, *tiktokeable*... Esto ocurre, de momento, sobre todo en el sudeste asiático —basta con teclear en Google “los puentes más espectaculares”, por ejemplo, para comprobarlo—; por venir tan solo a Vietnam, en 2018 se inauguró el Golden Bridge, “un puente dorado de casi 150 metros de largo sostenido por dos enormes manos que parecen atesorar un precioso lingote de oro entre el cielo y la tierra. ¿Quién podría resistirse a enseñarle al mundo su paseo por las nubes sostenido a manos de un gigante?”, leemos en internet. Y así ocurre, que ya es uno de los “monumentos” más visitados del país asiático —la visita “includes the cable car ride, the French Village, and Fantasy Park as well”—.

En fin, a lo mejor los ingenieros deberíamos de preocuparnos menos por la “verdad estructural” o similar y hacernos lopescos: “Porque como las paga el vulgo, es justo / hablarle en necio para darle gusto”.

*Sic transit gloria mundi.*

# Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema de la evolución de las prestaciones $R$ y de las acciones $E$ sobre los puentes. Inicialmente, la distancia entre $R(t=0)$ y $E(t=0)$ es el margen de seguridad (por simplicidad se ha supuesto un planteamiento determinista, aunque se insinúan en las figuras las funciones de distribución). La capacidad resistente $R$ (de trazo continuo) decae como consecuencia del inexorable deterioro de los materiales. Las acciones (curva $E$ , de trazo discontinuo) crecen porque han ido aumentando los tráfico, las cargas muertas y la agresión ambiental. ....	14
<b>Figura 2.</b> Puente de S. Vicente de la Sonsierra. Proyecto de rehabilitación (1871), custodiado con envidiable celo en el Ayuntamiento de esa localidad riojana. Se representa en rojo el tramo que se llevó a una riada y que sería objeto de reconstrucción en los dos años siguientes. La memoria y los planos describen hasta qué punto las circunstancias condicionan la solución dándose toda suerte de explicaciones en un lenguaje interesantísimo, no siempre fácil de leer, que revela cuánto sabían aquellos ingenieros.....	16
<b>Figura 3.</b> Fotografía de Jean Laurent del puente sobre el río Tera. A la bóveda de la izquierda, ya descimbrada, sigue otra aún construyéndose sobre cimbra y una tercera con cimbra en proceso de montaje. A la derecha, las bóvedas cuyas primeras hiladas se mantienen gracias al rozamiento entre éstas. Por encima, la pasarela auxiliar para el transporte de dovelas y otros materiales. ....	16
<b>Figura 4.</b> Planos del puente de la M-527 sobre el Guadarrama, obra de Alfredo Páez (1957), pionero del pretensado en España.....	17
<b>Figura 5.</b> Panel divulgativo elaborado para explicar (2020) la necesidad de intervenir en el puente sobre el Jándula (Jaén), A-6177 p.k. 22+300. ....	19
<b>Figura 6.</b> Colapso del puente Polcevera (Morandi). Génova, 14 de agosto de 2018.....	19
<b>Figura 7.</b> Sumidero en mal estado, canales y bajantes atascados y rotos por el hielo en la Indiana Toll Road (2006).....	21
<b>Figura 8.</b> Desagües y caz del puente de La Toja (2004) antes de las operaciones de mantenimiento. ....	21
<b>Figura 9.</b> Intervención en el puente de Deba en la fase de emergencia, de consolidación de la ruina, previa a la restauración. ....	22
<b>Figura 10.</b> Izquierda, accidente (sin víctimas mortales aunque las consecuencias podrían haber sido dramáticas al poner en riesgo la seguridad de los usuarios del ferrocarril) con fallo del sistema de contención de vehículos en el tablero del paso superior. Derecha, actuación en el viaducto de Asti (Zarauz, Guipúzcoa) para anclar reglamentariamente el sistema de contención de vehículos. ....	23
<b>Figura 11.</b> Puente de Wandsworth, Londres. Información pública previa al cierre para la rehabilitación. ....	25
<b>Figura 12.</b> Puente de Rande antes y después del ensanche del tablero y nueva instalación de familias de tirantes. ....	26
<b>Figura 13.</b> Escorzo del alzado de aguas abajo del puente de Ponteceso tras la restauración de la estructura.....	27
<b>Figura 14.</b> Alzado parcial de aguas arriba del puente de Ponteceso tras la restauración de la estructura.....	28
<b>Figura 15.</b> Vista inferior del puente de Ponteceso, en el que se aprecia el ensanche parcialmente aligerado de la plataforma.....	28
<b>Figura 16.</b> Puente de la Toja (1999) antes de la intervención.....	29
<b>Figura 17.</b> Puente de la Toja tras la intervención de 2002-2003.....	29
<b>Figura 18.</b> Desmontaje del paso superior Joaquín Costa - Francisco Silvela (Madrid, 2020). Foto cortesía de DRAGADOS.....	30
<b>Figura 19.</b> Vista de pájaro. Puente San Ignacio, Zorrotzaurre Bilbao. ....	37
<b>Figura 20.</b> Vista desde el cauce Puente San Ignacio.....	38
<b>Figura 21.</b> Puente Lehendakari Aguirre, vistas aguas abajo. San Sebastián.....	39
<b>Figura 22.</b> Puente Lehendakari Aguirre, vistas aguas arriba. San Sebastián.....	39
<b>Figura 23.</b> Mensaje oculto en las barandillas 2016 Capital Europea de la Cultura. ....	41
<b>Figura 24.</b> Vista superior en la que se puede ver la acera de aguas arriba.....	41
<b>Figura 25.</b> Alzado del Puente de Astiñene. ....	42
<b>Figura 26.</b> Vista desde el paseo del Puente de Astiñene. ....	43
<b>Figura 27.</b> Interior de la Pasarela Miramón. ....	44
<b>Figura 28.</b> Fotografía inferior desde el parque de la Pasarela Miramón.....	45
<b>Figura 29.</b> Fotografía aérea de la Pasarela Onda Atlántica, Las Palmas de Gran Canaria. Ingeniería Zero y Arquitectos Javier Haddad y Ramon Checa.....	46
<b>Figura 30.</b> Camino nocturno. Vista superior de la pasarela. ....	47
<b>Figura 31.</b> Vista inferior de la pasarela. ....	47
<b>Figura 32.</b> Puente de la Arrábida. Ingeniero Edgar Cardoso.....	50
<b>Figura 33.</b> Algunas propuestas del concurso del puente del metro de Oporto sobre el río Duero.....	51
<b>Figura 34.</b> Tres soluciones tipo pórtico con tablero en celosía para el concurso del metro de Oporto.....	52
<b>Figura 35.</b> Viaducto de Riudellots de la Selva.....	54
<b>Figura 36.</b> Puente sobre el Río Guadalquivir, autovía SE-40.....	55
<b>Figura 37.</b> Posición del nuevo puente de Alcántara.....	56
<b>Figura 38.</b> Propuesta de puente colgante en Alcántara.....	56
<b>Figura 39.</b> Posición alternativa para el nuevo puente de Alcántara.....	57
<b>Figura 40.</b> Propuesta de puente en cajón de Alcántara en la posición alternativa.....	57
<b>Figura 41.</b> Puente sobre la ría de Viveiro.....	58
<b>Figura 42.</b> Puente de Hauterive.....	58
<b>Figura 43.</b> Pasarela sobre el río Deva.....	59
<b>Figura 44.</b> Nuevo puente Buriano sobre el río Arno.....	59
<b>Figura 45.</b> Pasarela de Zabalzana.....	60
<b>Figura 46.</b> Pasarela del Padre Anchieta en San Cristobal de la Laguna.....	61
<b>Figura 47.</b> Pasarela sobre el río Carrión en Palencia.....	62
<b>Figura 48.</b> Puente de Brooklyn: Ingeniero John Augustus Roebling.....	62
<b>Figura 49.</b> Puente de Orio, Guipúzcoa.....	63
<b>Figura 50.</b> Pasarela de Nájera.....	64
<b>Figura 51.</b> Puente en Dvorecky, Praga.....	64
<b>Figura 52.</b> Puente de Belluno: contexto.....	65
<b>Figura 53.</b> Puente de Belluno: esquemas de trabajo.....	66
<b>Figura 54.</b> Puente de Belluno: geometría con ordenador.....	67
<b>Figura 55.</b> Puente de Belluno: maqueta de trabajo.....	68
<b>Figura 56.</b> Puente de Belluno: imágenes virtuales.....	69
<b>Figura 57.</b> Puente de Mosteiró. Ingeniero Edgar Cardoso.....	71
<b>Figura 58.</b> Puente de Saginatobel. Ingeniero Robert Maillart.....	71
<b>Figura 59.</b> Puente de Brooklyn: Ingeniero John Augustus Roebling.....	72
<b>Figura 60.</b> Puentes de Alcántara y Mérida.....	78
<b>Figura 61.</b> Puentes de Alcántara y Mérida.....	79
<b>Figura 62.</b> Puentes de Brooklyn, Williamsburg y Manhattan, New York.....	80
<b>Figura 63.</b> Puente de Juan Bravo, Madrid.....	83
<b>Figura 64.</b> Puente Euskalduna, Bilbao.....	85
<b>Figura 65.</b> Barranco del río Chiche.....	92
<b>Figura 66.</b> Desfiladero de La Hermida.....	93
<b>Figura 67.</b> Puente de los Franceses.....	95
<b>Figura 68.</b> Cimbra del puente de los Franceses.....	95
<b>Figura 69.</b> Puente de Forth.....	96
<b>Figura 70.</b> Construcción del puente de Forth.....	97
<b>Figura 71.</b> Viaducto sobre el río Narón.....	98

<b>Figura 72.</b> Viaducto de Cieza.....	99
<b>Figura 73.</b> Viaducto sobre el embalse de Contreras.....	100
<b>Figura 74.</b> Viaducto sobre el río Ulla.....	100
<b>Figura 75.</b> Viaducto sobre el Barranco de La Cuesta Teixeira.....	101
<b>Figura 76.</b> Viaducto de Teixeira.....	102
<b>Figura 77.</b> Viaducto sobre el río Chiche.....	103
<b>Figura 78.</b> Puente del Navío.....	104
<b>Figura 79.</b> Viaducto ES 5.5 (Polonia).....	105
<b>Figura 80.</b> Viaducto sobre la Ribera de Can Cao.....	106
<b>Figura 81.</b> Viaducto do Eixo.....	106
<b>Figura 82.</b> Viaducto sobre el río Deba.....	107
<b>Figura 83.</b> Viaducto de Barayo.....	108
<b>Figura 84.</b> Viaducto de FFCC sobre la M-40.....	109
<b>Figura 85.</b> Puente de Rande.....	110
<b>Figura 86.</b> Viaducto de San Pedro de la Ribera.....	111
<b>Figura 87.</b> Ampliación del Desfiladero de La Hermida.....	112
<b>Figura 88.</b> Ampliación sobre bóveda en el Desfiladero de La Hermida.....	112
<b>Figura 89.</b> Puente de Sariñena, ferrocarril Zaragoza a Pamplona y Barcelona. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.....	116
<b>Figura 90.</b> Puente Victoria sobre el río San Lorenzo, Montreal (ferrocarril Grand-Trunk). Ing. R. Stephenson, 1859. Archivo: 92 William England.....	118
<b>Figura 91.</b> Puente de Isabel II, Sevilla. Se adopta el modelo del ingeniero Polonceau del puente Carrousel, París. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.....	120
<b>Figura 92.</b> Prueba de carga en el puente sistema Bow-string, sobre el río Júcar en Alzira, 1917. Cortesía Cátedra Demetrio Ribes.....	121
<b>Figura 93.</b> Proyecto de puente de hierro, sobre el río Turia. Ferrocarril Valencia-Játiva. Ing. James Beatty, 1854. Archivo General de la Administración. Ministerio de Fomento.....	123
<b>Figura 94.</b> Construcción del puente de Santa Ana en Benissa. Ferrocarril Alicante-Denia, 1914. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.....	124
<b>Figura 95.</b> Construcción del Palacio de Cristal, Londres, 1851, en K. Frampton, <i>Modern Architecture: A Critical History</i> , 1980.....	125
<b>Figura 96.</b> Puente de Embid, carretera de Madrid a Zaragoza. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.....	126
<b>Figura 97.</b> Catálogo de D. Badger & C <sup>o</sup> , <i>Architectural iron Works, New-York</i> , 1865. Plancha LXXXV, modelo puente ferrocarril.....	128
<b>Figura 98.</b> Taller de la empresa siderúrgica Sociedad Altos Hornos del Mediterráneo, Sagunto, ca.1947. Archivo de Altos Hornos del Mediterráneo S.A. de Sagunto.....	129
<b>Figura 99.</b> Puentes de diversos sistemas en J. Eugenio Ribera, Atlas del libro <i>Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos</i> , 1895. Lámina VI.....	130
<b>Figura 100.</b> Puentes sistema Ribera en J. Eugenio Ribera, Atlas del libro <i>Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos</i> , 1895. Lámina VII.....	130
<b>Figura 101.</b> Iglesia de Santa M <sup>a</sup> de Arica, Chile, ca. 1880. Modelo portátil de la empresa de G. Eiffel. Colección I.A.....	131
<b>Figura 102.</b> Puente de las Cellas (1860), derribado durante la guerra civil. Fot. J. Laurent (1858-1870). Archivo de la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento, Ciudad Real.....	132
<b>Figura 103.</b> Puente de Pino o de Requejo, 1897-1914. Obra del ing. J. Eugenio Ribera, reconocida por su novedosa estructura, ligereza y elegancia. Cortesía Fundación Miguel Aguiló.....	133

<b>Figura 104.</b> Puente de hierro en Zaragoza o puente de Ntra. Sra, del Pilar. En 1991 el ingeniero Javier Manterola se encarga de la restauración del puente, repara su estructura y añade dos tableros laterales en forma de arco para el tráfico rodado. Cortesía Fundación Miguel Aguiló.....	134
<b>Figura 105.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>La duquesa de Alba</i> , 1797, óleo sobre lienzo, 210,3 × 149,3 cm. Nueva York, The Hispanic Society of America.....	138
<b>Figura 106.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>Paisaje con construcciones y árboles</i> , h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida, 168 × 223 mm. Madrid, Biblioteca Nacional de España.....	139
<b>Figura 107.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>Paisaje con cascada</i> , h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida, 168 × 222 mm. Madrid, Biblioteca Nacional de España.....	141
<b>Figura 108.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>Paisaje con cascada</i> , h. 1799, lápiz rojo sobre papel verjurado, 151 × 257 mm. Madrid, Museo Nacional del Prado.....	142
<b>Figura 109.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>Paisaje con construcciones y árboles</i> , h. 1799, lápiz rojo sobre papel verjurado, 151 × 258 mm. Madrid, Museo Nacional del Prado.....	144
<b>Figura 110.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>Paisaje con cascada</i> , h. 1799, aguafuerte y aguatinta bruñida sobre una plancha de cobre acerada, 208 × 314 mm aprox. la suma de los dos fragmentos de la lámina original. Madrid, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Calcografía Nacional.....	145
<b>Figura 111.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>Paisaje a orillas del Manzanares</i> , 1776-1777, óleo sobre lienzo, 272 × 295 cm. Madrid, Museo Nacional del Prado.....	147
<b>Figura 112.</b> Francisco de Goya y Lucientes, <i>El general José de Urrutia</i> , h. 1798, óleo sobre lienzo, 199,5 × 134,5 cm. Madrid, Museo Nacional del Prado.....	149
<b>Figura 113.</b> Puente de Vasco de Gama en Lisboa (foto F. Mira 2009, Wikimedia Commons).....	155
<b>Figura 114.</b> Viaducto Estación de Loyola, proyectado por ANTA INGENIERÍA CIVIL (fotos Xavier Font 2017).....	156
<b>Figura 114.</b> Viaducto Estación de Loyola, proyectado por ANTA INGENIERÍA CIVIL (fotos Xavier Font 2017).....	157
<b>Figura 115.</b> Pont de Querós, bajo las aguas del embalse de Susqueda (fotos Xavier Font 2024) ..	158
<b>Figura 116.</b> Hell Gate Bridge (foto Rhododendrites 2023, Wikimedia Commons).....	159
<b>Figura 117.</b> Pasarela de Sant Pere Sacarera, proyectada por Alfa Polaris (fotos Xavier Font 2012).....	160
<b>Figura 118.</b> Puente circular de la laguna Garzón en Uruguay (fotos Jimmy Baikovicus y Jerosala, Wikimedia Commons).....	162
<b>Figura 119.</b> Pasarela del Trift en Suiza (foto Хрюша 2009, Wikimedia Commons).....	163
<b>Figura 120.</b> Puente de Mong en la ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam (foto Diego Delso 2013, Wikimedia Commons).....	164
<b>Figura 121.</b> Pasarela sobre el río Nam Khan, en Laos (foto Basile Morin 2018 Wikimedia Commons).....	165
<b>Figura 122.</b> Puente de Brooklyn, concebido por John A. Roebling (foto Xavier Font 2019).....	166
<b>Figura 123.</b> Pont del Reguissol en Santa Maria de Palautordera (fotos Xavier Font 1995).....	167
<b>Figura 123.</b> Pont del Reguissol en Santa Maria de Palautordera (fotos Xavier Font 1995).....	168
<b>Figura 124.</b> Construcción del puente de Verrazano-Narrows (foto Metropolitan Transportation Authority of the State of New York 1962, Wikimedia Commons).....	169
<b>Figura 125.</b> Pasarela de Can Gili en Granollers, proyectada por Alfa Polaris (foto Xavier Font 2009).....	170
<b>Figura 126.</b> B2P - Pasarela en Monte Verde, Nicaragua (foto Fhecor 2017).....	170
<b>Figura 127.</b> Golden Gate Bridge (foto Dietmar Rabich 2012, Wikimedia Commons).....	171
<b>Figura 128.</b> Puente Deba, antes de sufrir problemas estructurales.....	174
<b>Figura 129.</b> Colapso del puente debido a la acción de bivalvos xilófagos en la cimentación.....	175
<b>Figura 130.</b> Puente sobre el río Tera (Zamora). Foto Laurent (~1860). Instituto del Patrimonio Cultural de España, MCD.....	176
<b>Figura 131.</b> Cimbra autolanzable CA55 apoyada sobre pila P1 y pila P3.....	177
<b>Figura 132.</b> Cimbra autolanzable CA55 sobre torres de cimbra OC durante su montaje.....	178

<b>Figura 133.</b> Cimbra autolanzable CA55 con andamio multidireccional instalado.....	179
<b>Figura 134.</b> Viaje del paño de encofrado desde el puerto al puente.....	180
<b>Figura 135.</b> Colocación de los paños de encofrado bajo el puente.....	181
<b>Figura 136.</b> Premontaje de los paños en el puerto marítimo deportivo.....	182
<b>Figura 137.</b> Paños de encofrado ya instalados.....	183
<b>Figura 138.</b> Abanicos de barras Dywidag de suspensión de los encofrados.....	183
<b>Figura 139.</b> Colocación de cinchas para el izado de los paños mediante polipastos eléctricos.....	184
<b>Figura 140.</b> Polipastos de izado de los paños.....	185
<b>Figura 141.</b> Proceso de vaciado y retirada de tímpanos.....	186
<b>Figura 142.</b> Roscas exentas y puente grúa para la manipulación de dovelas.....	186
<b>Figura 143.</b> Momento de apertura de la clave.....	187
<b>Figura 144.</b> Extracción completa de las dovelas.....	188
<b>Figura 145.</b> Escalera auxiliar de acceso peatonal.....	189
<b>Figura 146.</b> Pasillo de la pasarela peatonal por el interior de la autocimbra.....	190
<b>Figura 147.</b> Tesado de las barras.....	191
<b>Figura 148.</b> Pesaje de una de las barras.....	191
<b>Figura 149.</b> Colocación de dovelas en el montaje en blanco.....	192
<b>Figura 150.</b> Arco en funcionamiento tras el montaje en blanco.....	193
<b>Figura 151.</b> Elevación de los encofrados a la nueva posición corregida.....	193
<b>Figura 152.</b> Desmontaje de la cimbra autolanzable sobre torres de cimbras OC auxiliares.....	194
<b>Figura 153.</b> Estado final del puente Deba tras su reparación.....	195
<b>Figura 154.</b> Vitruvio, De Architectura... traducidos del latín en castellano por Miguel de Urrea, Alcalá de Henares, Juan Gracián, 1582. Ilustración del libro VIII, dedicado a la hidráulica.....	198
<b>Figura 155.</b> Leon Battista Alberti, L'Architettura di Leonbatista Alberti, Florencia, Lorenzon Torrentino, 1550. Este ejemplar del tratado de Alberti, conservado en la Biblioteca Nacional de España, presenta anotaciones manuscritas de un autor anónimo.....	199
<b>Figura 156.</b> Alzado del Pont-Neuf de París, en Henri Gautier, Traité des Ponts, París, André Cailleau, 1716.....	200
<b>Figura 157.</b> Frontispicio de Carl Christian Schramm, Historischer Schauplatz, in welchem die Merkwürdigsten Brücken, Leipzig, Bernhard Christoph Breikkopf, 1735.....	200
<b>Figura 158.</b> Pilotaje de la pila de un puente, en Fray Antonio de San José Pontones, Arquitectura Hydraulica en las fabricas de puentes... 1768. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.....	201
<b>Figura 159.</b> Portada de la segunda parte de Bernard Forest de Belidor, Architecture Hydraulique, París, Charles-Antoine Jombert, 1770.....	201
<b>Figura 160.</b> Puente de Neuilly entre finales de 1770 y 1771, en Jean-Rodolphe Perronet, Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres... París, Imprimerie Royale, t. I, 1782-1783.....	202
<b>Figura 161.</b> Evolución de las obras en la cimentación del puente de Neuilly entre julio y noviembre de 1768, en Jean-Rodolphe Perronet, Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres... París, Imprimerie Royale, t. I, 1782-1783.....	203
<b>Figura 162.</b> Portada de Jean-Rodolphe Perronet, Description des projets et de la construction des Ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans et autres... París, Imprimerie Royale, 1782-1783.....	204
<b>Figura 163.</b> Bernardo Ward, Proyecto económico, en que se proponen varias providencias, dirigidas a promover los intereses de España... Madrid, Joaquín Ibarra, 1779. Biblioteca Nacional de España.....	206
<b>Figura 164.</b> Alejandro Carnicero, El Consejo de Castilla, 1753-1761, mármol. Museo Nacional del Prado.....	207
<b>Figura 165.</b> Francisco Antonio Pérez del Hoyo, Planta y elevación del Puente Real de la ciudad de Frías, 1776. Archivo Histórico Nacional, Consejos, MPD 2203. Este proyecto de reparación del puente de Frías se presentó al Consejo de Castilla en 1777, siendo aprobado poco después por Marcos de Vierna.....	208

<b>Figura 166.</b> Mariano Sánchez, Puente de Molins de Rei, finales del siglo XVIII, óleo sobre tabla. Patrimonio Nacional. Este puente fue trazado por el ingeniero militar Pedro Martín Cermeño.....	210
<b>Figura 167.</b> Pedro Nolasco de Ventura, Proyecto de intervención y reconstrucción del puente de Andújar, 1826. Archivo Histórico Nacional, Consejos, MPD 1104. Aunque no se llegase a realizar, este proyecto fue aprobado por la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en 1826.....	212
<b>Figura 168.</b> Puente de Russky, 1.104 m de luz.....	217
<b>Figura 169.</b> Puente de Sutong, 1088 m de luz.....	218
<b>Figura 170.</b> Puente de Changtai (China) 1.104 m de luz.....	219
<b>Figura 171.</b> Construcción totalmente apeada.....	219
<b>Figura 172.</b> Construcción viaducto de Escaleritas, Las Palmas de Gran Canaria.....	220
<b>Figura 173.</b> Construcción con vano trasero apeado (izquierda). Puente sobre el río Suir, Waterford (derecha).....	221
<b>Figura 174.</b> Construcción en voladizos equilibrados.....	221
<b>Figura 175.</b> Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, 2015.....	222
<b>Figura 176.</b> Puente sobre el río Suir, Waterford (Irlanda) 2009.....	223
<b>Figura 177.</b> Construcción del Puente sobre el río Suir, Waterford (Irlanda) 2009.....	223
<b>Figura 178.</b> Estructura metálica (arriba) y losas prefabricadas del Puente sobre el río Suir, Waterford.....	224
<b>Figura 179.</b> Puente internacional Gordie Howe, Windsor – Detroit (Canadá - EEUU) 2024.....	225
<b>Figura 180.</b> Puente internacional Gordie Howe, Windsor – Detroit (Canadá - EEUU) 2024. WDBA Gallery. <a href="https://www.gordiehoweinternationalbridge.com/en/gallery#!nav-photos">https://www.gordiehoweinternationalbridge.com/en/gallery#!nav-photos</a> .....	226
<b>Figura 181.</b> Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, 2015.....	227
<b>Figura 182.</b> Construcción del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, 2015.....	228
<b>Figura 183.</b> Izado de dovelas (izquierda) y losas (derecha) durante la construcción del Puente de Cádiz.....	229
<b>Figura 184.</b> Estuario del río Forth, Escocia, Reino Unido.....	230
<b>Figura 185.</b> Construcción del Queensferry Crossing, Escocia, Reino Unido.....	231
<b>Figura 186.</b> Carros de izado de dovelas empelados en el Forth (arriba) y Cádiz (abajo).....	232
<b>Figura 187.</b> Viaducto de Neuvial 1869 (arriba). Viaducto de Beauharnois 2012 (abajo).....	234
<b>Figura 188.</b> Viaducto del Mississippi (Puente Eads), 1874 (arriba). Puente Chaotianmen, China 2009 (abajo).....	235
<b>Figura 189.</b> Maneras de percibir los puentes.....	240
<b>Figura 190.</b> Julio Martínez Calzón.....	242
<b>Figura 191.</b> Jose Antonio Fernández Ordoñez.....	242
<b>Figura 192.</b> Puente de Tacoma. Comienzo de resonancia.....	244
<b>Figura 193.</b> Puente de Tacoma. Amplificación de la vibración.....	244
<b>Figura 194.</b> Analogía a la resonancia poético-estructural.....	245
<b>Figura 195.</b> Fotografía de Federico García Lorca.....	247
<b>Figura 196.</b> Vista diurna del puente de Brooklyn.....	247
<b>Figura 197.</b> Vista diurna lateral del puente Golden Gate.....	249
<b>Figura 198.</b> Fotografía de Joseph Baermann Strauss.....	249
<b>Figura 199.</b> Vista diurna de las pilas principales del puente Golden Gate.....	250
<b>Figura 200.</b> Vista diurna lateral del puente de piedra y del metálico de Zamora.....	252
<b>Figura 201.</b> Fotografía de Blas de Otero.....	252
<b>Figura 202.</b> Vista diurna de las pilas del puente de piedra.....	252
<b>Figura 203.</b> Fotografía de Emilio Carrere.....	253
<b>Figura 204.</b> Vista diurna lateral del viaducto antiguo sobre la calle Bailén, en Madrid.....	253
<b>Figura 205.</b> Vista diurna lateral del viaducto actual sobre la calle Bailén, en Madrid.....	255
<b>Figura 206.</b> Vista diurna lateral del acueducto de Segovia.....	256
<b>Figura 207.</b> Vista diurna lateral del puente de la barra Maldonado, en Uruguay.....	258
<b>Figura 208.</b> Vista del puente de Aubert.....	260
<b>Figura 209.</b> Detalle de fase de obra.....	261
<b>Figura 210.</b> Vista del puente de Lorca.....	262

<b>Figura 211.</b> Detalle de fase de obra.....	262
<b>Figura 212.</b> Vista del puente de Villamanta .....	264
<b>Figura 213.</b> Detalle de fase de obra. ....	264
<b>Figura 214.</b> El Grito (Edvard Munch). ....	268
<b>Figura 215.</b> Ivo Andric, con el puente sobre el Drina al fondo.....	270
<b>Figura 216.</b> Panorámica del puente Mehmed Paša Sokolović, en Visegrado.....	272
<b>Figura 217.</b> Portada de la edición inglesa de El Puente de San Luis Rey.....	273
<b>Figura 218.</b> Puente Qeshuachaca, sobre el río Apurímac, en Perú. ....	274
<b>Figura 219.</b> Portada de la edición inglesa de El Puente.....	276
<b>Figura 220.</b> Vista aérea del Puente Verrazano Narrows.....	277
<b>Figura 221.</b> Fotograma de la caída de la General sobre el río. ....	279
<b>Figura 222.</b> El puente del Palacio, escenario de la secuencia de Octubre. ....	281
<b>Figura 223.</b> El puente de Alejandro III, en París. ....	282



