

Sobre la durabilidad estética en el diseño de puentes

On Aesthetic Durability in Bridge Design

Héctor Beade Pereda

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Knight Architects. Design Director | Bridge Designer

Recibido el 31 de mayo de 2019; aceptado el 14 de diciembre de 2020

RESUMEN

El avance en el desarrollo de materiales y sistemas de construcción, así como en las técnicas de instrumentación y monitorización, ha hecho posible el plantearse el diseño, de manera sistemática, de puentes con una vida útil significativamente más larga que la que ha de considerarse en proyecto en la actualidad. Este artículo es una reflexión sobre cómo tener en cuenta consideraciones relativas a la apariencia en el diseño de estos puentes. Sobre qué parámetros hacen de un puente un elemento imperecederamente valioso en el entorno en el que se ubican. Sobre cómo alcanzar diseños cuya calidad percibida se transmite a lo largo de generaciones. Sobre durabilidad estética.

©2022 Hormigón y Acero, la revista de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

PALABRAS CLAVE: Ingeniería y sociedad, durabilidad estética, puente, diseño, apariencia, moda.

ABSTRACT

Evolution in materials, together with developments in instrumentation and monitoring techniques, have made it possible to think on systematically designing bridges that have a significantly longer service life than what is currently required in the standards. This article is a reflection on how the design of these bridges should be faced in terms of appearance. On what parameters can make a bridge a long-lasting valuable piece of the built environment or just a representative of what was in fashion in a specific period. On how to achieve a perceived design quality that can span different generations. On appearance durability.

©2022 Hormigón y Acero, the journal of the Spanish Association of Structural Engineering (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0) License

KEYWORDS: Engineering and society, aesthetic durability, bridge, design, appearance, fashion.

I. INTRODUCCIÓN

Los puentes son un caso paradigmático de transformación de la naturaleza por parte del ser humano. Son símbolos de unión, progreso y frecuentemente innovación, que desafían a la gravedad y alteran el paisaje. Cohesionan comunidades e invitan a la interacción e integración.

El diseño de construcciones tan prominentes, emocionales y duraderas debería ir más allá de su mera función como infraestructura que permite la conectividad entre dos áreas, aspirando siempre a mejorar la calidad del mundo en que vivimos.

Es por ello que el diseño de puentes es una actividad apasionante acompañada de una gran responsabilidad. La responsabilidad de diseñar estructuras que, a lo largo de sus extensas vidas útiles, serán cruzadas y percibidas por innumerables personas cuya experiencia vendrá determinada por la calidad del trabajo realizado en el diseño y la construcción de estos puentes.

La vida útil esperada para los puentes diseñados en la actualidad, de 100-120 años, está siendo cuestionada gracias al desarrollo de materiales y sistemas de construcción, así como en las técnicas de instrumentación y monitorización. Las conversaciones sobre el diseño de puentes con una vida útil

* Persona de contacto / *Corresponding author*.
Correo-e / e-mail: h.bead@knightarchitects.co.uk (Héctor Beade Pereda).

superior a la considerada a día de hoy (200 años es un valor establecido frecuentemente como aspiración) se centran en mantenimiento y durabilidad, pero... ¿qué aspecto deben tener los puentes con una vida útil extendida? ¿Cómo es posible alcanzar una calidad visual que se mantenga durante varias generaciones?

2.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FORMALES DE PUENTES CONSIDERADOS EJEMPLOS DE BUEN DISEÑO

Para identificar qué parámetros hacen de un puente un elemento imperecederamente valioso en el entorno en el que se ubica, se ha llevado a cabo, en primer lugar, el ejercicio de tratar de definir un grupo representativo de puentes considerados obras maestras, con el objetivo de comprender qué principios, desde un punto de vista estético, les hacen merecedores de tal estatus. La identificación y comprensión de estos principios, debería ser de utilidad para su aplicación en el diseño de nuevos puentes con una vida útil extendida.

El procedimiento empleado para definir este grupo de casos de estudio se ha basado en la identificación de los puentes más repetidos en, por un lado, libros en los que se incluyen selecciones de los que sus respectivos autores consideran los puentes más significativos del mundo ([1-3] son solo algunas de las muchas referencias consultadas, en su mayor parte procedentes de la biblioteca personal del autor de este artículo, que contiene más de 400 volúmenes sobre puentes) y, por otro lado, en listas equivalentes procedentes de páginas de internet. El primer criterio trata de capturar una visión algo más especializada (aunque no excesivamente), mientras que el segundo pretende recoger el punto de vista de un público más general. De entre los puentes más repetidos procedentes de estos dos tipos de fuentes, los fundamentalmente conocidos por su escala, y no por su diseño, fueron identificados y eliminados del grupo de casos de estudio.

Puede discutirse la imparcialidad del sistema de selección, ya que no se puede garantizar que las fuentes empleadas para generar la lista lo sean. En cualquier caso, el tamaño de la muestra empleada debería permitir que el grupo de casos de estudio sea de calidad suficiente para el objeto del artículo, que no es más que reflexionar sobre las razones que hacen que puentes mundialmente reconocidos sean valiosos desde un punto de vista estético.

Los puentes más repetidos en las fuentes mencionadas anteriormente fueron divididos en tres grupos: puentes de más de 200 años, de entre 100 y 200 años y de menos de 100 años.

El primer grupo incluye puentes que ya han tenido una vida superior a la vida útil extendida de la que se habla como aspiración generalizada para el diseño de puentes en el futuro próximo. El final del intervalo de estudio coincide con la revolución industrial, que significó un cambio de paradigma en el diseño de puentes con consecuencias que son más obvias en el grupo de estudio siguiente. Este segundo grupo incluye puentes que ya han tenido una vida superior a la vida útil de diseño actual. El último grupo ofrece la oportunidad de entender cómo tipos estructurales más *jóvenes*, como por ejemplo los puentes atirantados, o las formas que derivan del uso de

materiales más *recientes*, como por ejemplo el hormigón pretensado, son percibidos y valorados. Estos puentes, obviamente, tienen también el potencial de convertirse en puentes con una vida útil de 200 años.

2.1 Análisis de los casos de estudio

2.1.1. Selección de puentes de más de 200 años

Esta selección (figura 1) demuestra que, usando los materiales adecuados y con un régimen de mantenimiento apropiado y aunque algunos de los puentes en el grupo fueron reconstruidos una o más veces, es posible alcanzar los 200 años de vida útil desde un punto de vista estructural y de durabilidad (no necesariamente desde un punto de vista funcional). Todos los puentes de este grupo son arcos o vigas, los tipos estructurales fundamentales utilizados hasta la aparición de los puentes colgantes o las celosías tras la revolución industrial. Todos ellos utilizan piedra o madera, salvo el Iron Bridge.

Del análisis de este grupo resulta obvio que, ya desde los orígenes de la historia de los puentes, en tiempos en los que ingeniería o arquitectura no existían como disciplinas independientes, muchos puentes trascendían su función como elemento de cruce, siendo evidentes las aspiraciones estéticas en todos los ejemplos.

Todos los puentes en este grupo pueden considerarse estructuras elegantes y legibles, en algunos casos con tejados (Ponte degli Alpini, Kapellbrücke, Ponte Vecchio, Ponte Rialto, puente de los suspiros y puente Khaju) y/o decoración añadida. Todos ellos son mucho más que un mero tipo estructural. Hasta los diseños más simples (como Tarr Steps, Stari Most, puente Kintai o puente del cinturón de Jade), muestran belleza en sus proporciones, ritmo y composición visual. Esto no puede ser el resultado de una serie de coincidencias, sino del trabajo y la sensibilidad de sus diseñadores.

Estos puentes encajan de manera natural en sus ubicaciones, sean urbanas o rurales, gracias al uso de un lenguaje visual coherente con su entorno (Ponte degli Alpini, Kapellbrücke, Ponte Vecchio, Ponte Rialto, puente de los suspiros y puente Khaju), por su transparencia, o por como son usados los materiales (puente de Alcántara, puente Kintai, Iron Bridge o Puente Nuevo).

Proporcionar una experiencia de cruce placentera era claramente uno de los objetivos cuando estos puentes fueron concebidos. En algunos casos, la combinación de la linealidad intrínseca a los puentes y el uso de cubiertas crea espacios cerrados de gran dramatismo (Ponte Vecchio, Kapellbrücke, Ponte Rialto o, en especial, el puente Khaju). En otros casos, el uso de barandillas estructurales o esculturas propiamente dichas (puente de Anji o puente del cinturón de Jade) hacen de sus tableros lugares especiales para el peatón.

El puente de Carlos es un caso paradigmático de puente que ofrece una maravillosa experiencia de cruce, siendo memorable mucho más por este aspecto que por su forma global. Todos los puentes en la selección, más allá de su función de cruce, contribuyen a crear lugares además de ser estructuras que se disfrutaban al ser usadas.

En algunos de los diseños, su apariencia se ve realizada al reflejarse su geometría cuando la superficie de los ríos o masas de agua que cruzan está en calma. Esto puede ser intencional, o una consecuencia parcial de las formas cerradas,



Figura 1. Selección de puentes de más de 200 años. De izquierda a derecha y de arriba abajo, ordenados por fecha: Pont du Gard, Vers-Pont-du-Gard, Francia (40-50 aC); puente de Alcántara, Extremadura, España (106 aC); Ponte Sant'Angelo, Roma, Italia (134 aC); puente de Anji, Zhaoxian, China (605 aC); Ponte degli Alpini, Bassano del Grappa, Italia (1204); Pont Saint-Bénézet, Avignon, Francia (1236); Kapellbrücke, Lucerna, Suiza (1333); Ponte Vecchio, Florencia, Italia (1345); Pont Valentré, Cahors, Francia (1350); puente de Carlos, Praga, República Checa (1357); Tarr Steps, Parque Nacional de Exmoor, Somerset, Reino Unido (aprox. 1300); Stari Most, Mostar, Bosnia Herzegovina (1567); Ponte Rialto, Venecia, Italia (1588); puente de los Suspiros, Venecia, Italia (1603); Pont Neuf, París, Francia (1607); puente Khaju, Isfahan, Irán (1650); puente Kintai, Iwakuni, Japón (1673); puente del cinturón de Jade, Pekín, China (1764); Iron Bridge, Shropshire, Reino Unido (1781); Puente Nuevo, Ronda, España (1793).

por naturaleza atractivas, que se generan debido a la reflexión de los arcos, el tipo estructural con diferencia más empleado en ese período temporal.

Todos estos puentes tienden a ser simétricos. En muchos casos, se emplea el principio de autosimilitud en su diseño (la forma general es generada por la repetición de geometrías similares a distintas escalas [figura 4](#)), siendo especialmente obvio en la repetición de arcos, como estructura principal y secundaria, en el Pont du Gard, puente de Anji, Ponte Vecchio, Ponte Rialto o puente Khaju.

2.1.2. Puentes de entre 100 y 200 años

Las estructuras en este grupo ([figura 2](#)), todas ellas con una antigüedad de más de 100 años, muestran también la viabilidad de diseñar para una vida útil superior a la considerada actualmente, y confirman que los puentes valorados positivamente por la sociedad añaden ambición estética a su función.

Esto es obvio en el puente de la Torre de Londres, el Pont Alexandre III y el puente del Viento y de la Lluvia de Chengyang, pero también manifiesto en el diseño de las torres del puente del estrecho de Menai, el puente de las cadenas Széchenyi o el puente de Brooklyn, o en el uso del color en el puente del Forth. En este período emergieron nuevos tipos estructurales como consecuencia de la generalización del uso del hierro y el acero como materiales de construcción para la estructura principal. La mitad de los puentes en esta selección

pertenecen al primero de estos dos tipos. La mayor parte de los puentes en el grupo (con la excepción del puente cubierto de Cornish-Windsor y el puente de Chengyang) son de hierro o acero, aunque todavía era habitual el uso de piedra en torres o subestructura.

La mayor parte de los puentes del grupo son estructuras legibles y elegantes, con o sin decoración añadida. El puente del Forth es el caso con una más clara coincidencia entre estructura y expresión formal. Sin embargo, vemos también ejemplos de puentes con formas estructurales menos ortodoxas, priorizándose aspectos estéticos y memorabilidad sobre comportamiento estructural en su diseño. El puente de la Torre de Londres (el segundo más repetido globalmente en las fuentes empleadas para seleccionar los casos de estudio) y el puente de Chengyang son ejemplos claros de esta aproximación en la que se ha priorizado apariencia.

A pesar del aumento en escala de los puentes de este grupo sobre el anterior, la creación de un espacio valioso y la experiencia de cruce siguen siendo objetivos evidentes en el diseño de muchos de estos puentes (puente del estrecho de Menai, puente de las cadenas Széchenyi, puente de Brooklyn, puente de la Torre de Londres, Pont Alexandre III o puente de Chengyang).

Aunque todavía vemos ejemplos de puentes que aspiran fundamentalmente, desde un punto de vista compositivo, a ser adiciones apropiadas a los lugares en los que se ubican (puente del estrecho de Menai o el puente cubierto de Cornish-Windsor), también vemos en este grupo, por primera vez,



Figura 2. Selección de puentes entre 100 y 200 años. De izquierda a derecha y de arriba abajo, ordenados por fecha: Puente del estrecho de Menai, Anglesey – Norte de Gales, Reino Unido (1826); puente de las cadenas Széchenyi, Budapest, Hungría (1849); puente de Clifton, Bristol, Reino Unido (1864); puente cubierto de Cornish-Windsor, Cornish – Windsor, Canadá (1866); puente de Brooklyn, New York, EEUU (1869); puente Eads, St Louis, EEUU (1874); puente del Forth, Edimburgo, Reino Unido (1882); puente de la Torre de Londres, Reino Unido (1886); Pont Alexandre III, París, Francia (1900); puente del Viento y de la Lluvia de Chengyang, Sanjiang, China (1912).

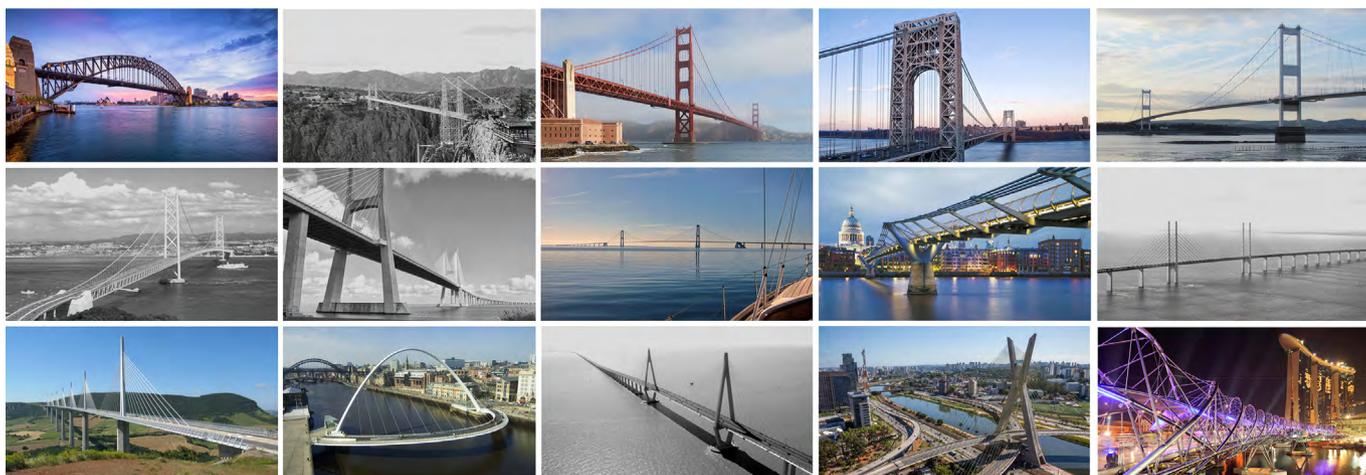


Figura 3. Selección de puentes construidos hace menos de 100 años. De izquierda a derecha y de arriba abajo, ordenados por fecha: puente de la bahía de Sidney, Sidney, Australia (1923); puente Royal Gorge, Cañon City, Colorado, EEUU (1929); puente Golden Gate, San Francisco, EEUU (1933); puente George Washington, New York, EEUU (1962); puente del Severn, Aust, Inglaterra - Chepstow, Gales, Reino Unido (1966); puente Akashi-Kaikyo, Kobe-Isla de Awaji, Japón (1988); puente Vasco da Gama, Lisboa, Portugal (1998); puente Gran Belt, Zealand – Funen, Dinamarca (1998); puente del Milenio, Londres, Reino Unido (2000); puente de Øresund, Copenhague, Dinamarca - Malmö, Suecia (2000); viaducto de Millau, Millau, Francia (2001); puente del Milenio de Gateshead, Newcastle, Reino Unido (2001); puente de la bahía de Hangzhou, Zhejiang, China (2003); puente Octavio Frias de Oliveira, São Paulo, Brasil (2008); Helix Bridge, Marina Bay, Singapur (2010).

puentes que dominan el paisaje con su escala (puente colgante de Clifton, puente de Brooklyn, puente del Forth, o puente de la Torre de Londres). Esto es, con toda probabilidad, en parte una consecuencia de los vanos de mayor longitud permitidos por los desarrollos en materiales y tipologías de puentes, pero en parte también una aspiración consciente por crear un elemento de referencia en el paisaje.

La simetría sigue siendo una característica formal común a todos los diseños.

El puente de Chengyang es probablemente el mejor ejemplo hasta el momento de la variación de calidad percibida (o gusto) en la estética dependiendo de la localización geográfica.

2.1.3. Puentes construidos hace menos de 100 años

Algunas de las estructuras en este grupo (figura 3) ya han superado la mitad de su vida útil esperada (primera fila en figura 3), mientras que otras son ejemplos recientes que dan una idea de las preferencias populares actuales en lo que a diseño de puentes se refiere (filas central e inferior en figura

3). Estos ejemplos están probablemente mucho más influenciados que los demás por los gustos actuales, no habiendo transcurrido suficiente tiempo para valorar si se convertirán en referencias clásicas.

Este grupo incluye también puentes que son conocidos por parámetros relacionados con su escala, como el de mayor vano, el de mayor longitud global, el más largo de una zona geográfica, el más alto, etc. Su popularidad no está, por lo tanto, basada en la calidad de su diseño. Esto ha hecho que hayan sido considerados ejemplos menos valiosos para este análisis (puentes en las imágenes en blanco y negro en figura 3).

La ambición estética más allá del rol funcional es nuevamente muy clara en este grupo (obvia en el puente de la bahía de Sidney, puente Golden Gate, puente del Milenio de Londres, viaducto de Millau, puente del Milenio de Gateshead, puente Octavio Frias de Oliveira, o Helix Bridge). Esto se ve expresado en el diseño de sus torres, el uso del color, el ritmo de sus vanos o, en los casos más extremos, en el uso de geometrías no determinadas por su funcionamiento estructural.

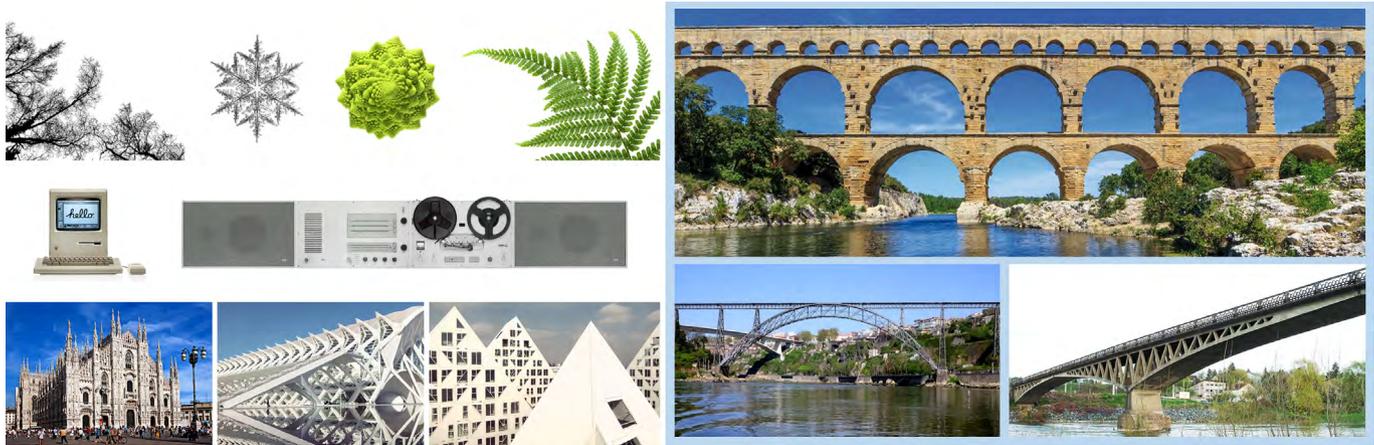


Figura 4. El principio de autosimilitud en la naturaleza, empleado en el diseño industrial y la arquitectura, y en el diseño de puentes (dentro del recuadro azul), incluyendo el Pont du Gard

La selección incluye puentes atirantados por primera vez, que ya existían en el período anterior, pero no como una versión madura de la tipología, y todavía un gran número de puentes colgantes (la mitad de la selección). El acero predomina como material, posiblemente relacionado con el hecho de que los puentes de gran luz (generalmente construidos en ese material) tienden a generar atracción, y el hormigón reemplaza a la piedra en la mayor parte de los elementos de subestructura y algunas torres. Uno de los puentes colgantes del grupo, el puente Golden Gate, es el más repetido globalmente en las fuentes utilizadas para seleccionar estos casos de estudio.

Aunque la mayoría de los puentes en el grupo siguen siendo estructuras elegantes y legibles, también vemos geometrías que se alejan de manera evidente de los tipos estructurales puros, principalmente por motivos estéticos (por ejemplo, el puente del Milenio de Gateshead, el puente Octavio Frias de Oliveira, o el Helix Bridge).

La creación de lugares atractivos es un objetivo claro en el diseño de los puentes de este grupo con una escala más humana. Los puentes del Milenio de Londres y Gateshead, el puente Octavio Frias de Oliveira, o el Helix Bridge, buscan experiencias de cruce especiales a través de su forma global y sus detalles.

Los puentes que dominan el paisaje y/o aspiran a convertirse en elementos de referencia visual, son más frecuentes en este grupo. Esto es, probablemente, hasta cierto punto una consecuencia de la inevitable parcialidad en la selección de los casos de estudio, y de que los puentes de mayores luces tienden a obtener más reconocimiento, en ubicaciones equivalentes, que los de menor tamaño. Sin embargo, algunos de los ejemplos buscan responder a su localización a través de una contención en su escala anómala para su luz (puente del Milenio de Londres) o haciendo referencia a otras estructuras existentes en las proximidades en la elección de la tipología y proporciones (puente del Milenio de Gateshead).

Aunque la simetría sigue siendo una característica común en la mayor parte de los diseños, el puente Octavio Frias de Oliveira muestra el potencial del uso deliberado de la asimetría en la creación de elementos de referencia del paisaje. Otros puentes asimétricos que se quedaron cerca de formar parte de la selección, como el puente del Alamillo (Sevilla, España,

1992) o el puente Erasmus (Rotterdam, Países Bajos, 1996), son asimismo ejemplos de esta aproximación al diseño.

2.2 Conclusiones del análisis

Como resultado del criterio empleado para la selección de los casos de estudio (explicado en el apartado 2 de este artículo) el grupo de puentes analizados tienden a estar ubicados en grandes ciudades, lugares con importancia histórica más allá del puente objeto de estudio, o localizaciones en las que el cruce materializado por el puente resultaba fundamental para el desarrollo de la zona. El criterio de selección tiende a favorecer, especialmente en el segundo y tercer período, puentes de gran luz. Esto tiende a excluir esquemas más aislados o con menos uso, que podrían ser tanto o más destacables en términos de calidad en el diseño. Sin embargo, aun teniendo en cuenta estas imperfecciones en el establecimiento de la muestra de estudio, el análisis proporciona una idea suficientemente buena sobre las características de los puentes que son considerados atractivos por un público general. El autor, pese a que algunos de los puentes que considera más destacables como buenos diseños no se encuentran entre los casos de estudio (por ejemplo, no hay ninguna obra de Robert Maillart o no se incluye ninguno de los arcos de Thomas Telford), considera que existe calidad en el diseño en la mayor parte de los ejemplos. La selección demuestra que los puentes socialmente reconocidos, incluso los de mayor antigüedad, tienen ambiciones estéticas claras que trascienden su función de cruce. Ninguno de los casos parece haber tenido como parámetros principales del proyecto la rapidez en el diseño y construcción.

El diseño de puentes tiene innumerables aspectos en común con otras disciplinas como la arquitectura, el diseño industrial o de producto, e incluso el diseño gráfico o de moda. Algunos principios universales de diseño aplicables a todas ellas son claramente utilizados en muchos de los ejemplos objeto del análisis (incluso en muchos de los que fueron concebidos antes de que estas disciplinas fueran definidas). Algunos de estos principios ([4,5]) han sido mencionados en otros apartados de este artículo, como: similitud, auto-similitud (figura 4), simetría (figura 7), legibilidad, jerarquía o relación figura-fondo [6] (figura 6).



Figura 5. Según el principio de preferencia por las formas curvas, el ser humano tiende a preferir los objetos con líneas curvas frente a los objetos angulosos y puntiagudos, probablemente por un mecanismo subconsciente desarrollado para detectar amenazas potenciales (arriba a la izquierda en la imagen). Sin embargo, los objetos afilados atraen una mayor atención y hacen que pensemos en ellos durante más tiempo.



Figura 6. Según el principio de relación figura-fondo, los elementos se perciben como figuras (objetos o focos de atención) o como fondo (el resto del campo perceptivo). Este principio es la base del camuflaje (en la naturaleza, diseño de producto o arquitectura) y puede ser empleado en puentes para crear elementos que resalten sobre el paisaje (izquierda dentro de recuadro azul) o se funden con él (derecha).



Figura 7. La simetría es una propiedad de equivalencia visual entre elementos de una forma. Se encuentra de forma recurrente en la naturaleza y siempre se ha asociado a la belleza. Los puentes tienden a ser simétricos, por lo que el uso de la asimetría en su diseño (derecha en la imagen) genera formas que se perciben como inusuales.

La selección de estudio solo incluye un puente en celosía (puente del Forth). Aunque hay otros puentes que incorporan celosías como parte de algunos de sus elementos estructurales (puente de la Torre de Londres, puente de St. Louis, puente de la Bahía de Sidney, o puente George Washington), esto puede indicar que las celosías no están entre los tipos estructurales predilectos de los no-especialistas.

Asimismo, la selección incluye un número limitado de puentes atirantados, si excluimos aquellos asociados a cruces que son fundamentalmente conocidos por su escala (puente Vasco da Gama, puente del Estrecho de Øresund, o puente de la Bahía de Hangzhou). El viaducto de Millau, el tercero más repetido en las fuentes utilizadas para la selección de los casos de estudio, es el único puente de este tipo que tiene cla-



Figura 8. Según el principio de la navaja de Ockham el más sencillo será el preferible de los diseños equivalentes. El aplicar este principio a un diseño en general y de un puente en particular, dará resultados limpios, simples y puros. A la derecha, en el recuadro azul, puentes que siguen este principio más que sus equivalentes a su izquierda.



Figura 9. El efecto Von Restorff es un fenómeno de la memoria según el cual las cosas excepcionales son más fáciles de recordar que las comunes. Debe tenerse en cuenta que este es un fenómeno puramente asociado a la memoria, por lo que el hecho de que un puente sea más recordado, no necesariamente significa que sea mejor.

ro reconocimiento popular por su apariencia. Este hecho parece responder al principio *preferencia por las formas curvas*, según el cual “la gente tiende a preferir objetos con contornos curvos frente a aquellos con formas angulares o afiladas” [4,5] (figura 5). Sin embargo, aunque los diseños con formas curvas son más atractivos para la mayoría de la gente en contextos neutros, algo que favorecería a los puentes arco en las preferencias populares, los objetos afilados atraen una mayor atención y hacen que pensemos en ellos durante más tiempo. Esto explicaría el reducido número de puentes atirantados (aunque no debemos olvidar que es un tipo más reciente que otros) y como, cuando son reconocidos por su diseño, tienden a serlo por su iconicidad o capacidad de atraer atención como elemento de referencia en el paisaje (y muchas veces empleando además una deliberada asimetría, figura 7). La popularidad de los puentes colgantes, los cuales combinan ambas características (catenarias curvas y torres afiladas), puede estar relacionado con la respuesta a estos principios.

Durante un periodo significativo de la historia de los puentes, la ambición por minimizar los materiales necesarios en su construcción significó que su expresión formal coincidía en gran medida con su funcionamiento estructural, resultando, con algunas excepciones, en apariencias claras y legi-

bles. Hoy en día, la desaparición de las barreras técnicas en el diseño y construcción de puentes lleva a veces a soluciones que resultan, desde un punto de vista estético, excesivas o innecesarias.

El grupo de casos de estudio va desde diseños elegantes de una máxima simplicidad (Stari Most o puente Kintai), que siguen el principio de la navaja de Ockham (“el más simple de los diseños equivalentes será el preferible” [4,5], figura 8), a soluciones más extravagantes (puente de la Torre de Londres, puente Octavio Frias de Oliveira o Helix Bridge), más en línea con el principio del efecto Von Restorff (“los diseños únicos o distintivos son más fáciles de recordar que los comunes” [4,5], figura 9). Esto muestra que no hay una única aproximación al diseño para satisfacer al público no especializado. Sin embargo, los diseños basados en elegancia, simplicidad, armonía o proporciones adecuadas, tienen una mayor probabilidad de convertirse en duraderos desde un punto de vista estético, siendo menos dependientes del gusto. El gusto varía con el momento histórico, los antecedentes culturales, o la realidad geográfica, y está influenciado por una serie de determinantes individuales.

El diseño de puentes debería ser contextual. Una misma solución, aún si tiene un gran atractivo como objeto aislado,

no será apropiada para cualquier localización. Comprender los principios que influyen en la calidad del diseño y en la respuesta positiva del usuario o perceptor, y saber cuándo utilizarlos en distintos escenarios, proveerá al diseñador de las herramientas necesarias para concebir buenos puentes, incluso para que sigan siendo merecedores de tal consideración siglos después de su construcción.

3. CONCLUSIONES GENERALES

Los puentes cruzan barreras físicas, culturales y espirituales, a menudo convirtiéndose en elementos fundamentales del paisaje o incluso iconos. Cada puente es único y relevante. En sus centenarias vidas, serán cruzados o percibidos por infinidad de personas cuya experiencia será dependiente de su calidad.

El valor percibido en su diseño depende notablemente de la calidad de sus detalles y de la experiencia de cruce proporcionada, en especial en el caso de los puentes que serán cruzados a baja velocidad.

La durabilidad estética está, en cierta medida, relacionada con el uso de materiales a su vez durables y diseños que envejecen adecuadamente, asegurando que la apariencia se mantiene, con un régimen de mantenimiento conveniente, suficientemente inalterada durante la vida útil de la estructura. Los buenos diseños deberían, por ejemplo, evitar desde su concepción la necesidad de añadidos posteriores que, para facilitar el mantenimiento, comprometan la intención del diseño.

“Lo bello es la consecuencia de lo correcto” dicta un aforismo japonés [7].

El puente ideal no solo debe ser funcional, estructuralmente coherente, construible, durable y sostenible, sino también estéticamente agradable, adecuado al entorno en el que se localiza, respetuoso con la historia, cultura y sociedad del lugar y con una escala adecuada al problema a resolver. Debe también responder correctamente a sus condicionantes específicos. Llegar a una solución que dé respuesta a todos los parámetros de diseño de una manera satisfactoria, mediante la resolución de múltiples subproblemas de modo simultáneo, incluso a la solución óptima, no debería ser una quimera. Llegar a este rango de soluciones es, en gran medida, la responsabilidad del diseñador de puentes. Y esta responsabilidad crece proporcionalmente a la vida útil de la estructura diseñada.

Referencias

- [1] Dupré, J. (1997) *Bridge: A history of the world's most spectacular spans*, EEUU: Black Dog & Leventhal Publishers.
- [2] Graf, B. (2002) *Bridges that changed the World*, EEUU: Prestel Publishing.
- [3] Mock, E.B. (1949) *The Architecture of Bridges*, EEUU: MoMA.
- [4] Beade Pereda, H. (2017) Principios universales de diseño aplicados a la concepción de puentes, en *VII Congreso de ACHE*, A Coruña, España.
- [5] Beade-Pereda, H. (2017) How to make use of universal principles of design in the bridge design process, in *IABSE Conference: Creativity and Collaboration*, Bath, Reino Unido.
- [6] Koffka, K. (1935) *Principles of Gestalt psychology*, Reino Unido: Lund Humphries.
- [7] Munari, B. (1981) *Da cosa nasce cosa: Appunti per una metodologia progettuale*, Italia: Laterza.