



Conservación de puentes: una necesidad impostergable

Ing. Esteban Villalobos Vega, M.Sc.

Coordinador - Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural - LanammeUCR

esteban.villalobos@ucr.ac.cr

Karen Sánchez Badilla

Candidata a Lic. Ingeniería Civil

Universidad de Costa Rica

karen.sanchezbadilla@ucr.ac.cr



Figura 1. Trabajos de conservación del sistema de protección de pintura, puente Golden Gate, San Francisco, EUA.
Tomado de: <https://goldengatebridge14.wordpress.com/2014/12/16/maintenance-of-the-golden-gate-bridge/>

Introducción

Con el transcurso del tiempo las estructuras se deterioran de forma natural, debido en parte a las condiciones del entorno a las que se encuentran expuestas y a su utilización diaria para el transporte de carga.

En puentes donde no se aplican medidas de conservación, la velocidad del deterioro tiende a aumentar paulatinamente, generando una disminución en sus condiciones de servicio.

La aplicación de acciones efectivas y constantes de conservación es esencial por lo tanto para mantener la condición de los puentes en un estado adecuado. A su vez, se minimiza la necesidad de realizar

intervenciones mayores en la estructura en cortos periodos de tiempo, implicando una disminución de la vida objetivo o esperada de servicio, la cual más bien debería ser lo más extendida posible (Mertz & Wasserman, 2017)

Es por lo anterior que el concepto de conservación de puentes es clave para garantizar el uso efectivo y responsable de los fondos públicos que se invierten en infraestructura, lo cual se vuelve aún más importante en un país en desarrollo como Costa Rica.

En el presente documento se explica el cómo recursos invertidos hoy en la conservación de los puentes en condición adecuada, implicarán ahorros en varias veces ese monto a futuro.

Gestión de puentes

La gestión de puentes se puede dividir, en cuanto a las acciones de intervención que se ejecutan, en dos tipos de actividades generales: la conservación y el mejoramiento (MnDOT, 2015).

El mejoramiento incluye la rehabilitación y la sustitución de puentes, y es importante recalcar que estas son medidas aplicadas luego de que los procesos de conservación ya no resultan costo-efectivos seguirlos llevando a cabo debido al estado de la condición o vida remanente de la estructura, y que implican una inversión considerable de costos de ingeniería y construcción.

Un Sistema de Gestión de Puentes exitoso se basa en un enfoque balanceado entre conservación y mejoramiento (FHWA, 2018; Agüero-Barrantes y Villalobos-Vega, 2019).

Conservación de puentes

De acuerdo con AASHTO (2011) y FHWA (2018), la conservación de puentes se puede describir como aquellas acciones o estrategias de bajo costo que previenen, retrasan, o reducen el deterioro de los elementos de puentes, restablecen la función de los

existentes, los mantienen en una condición entre *Satisfactoria* a *Deficiente*, y además extienden su vida de servicio.

Conservación de puentes incluye actividades de mantenimiento tanto cíclico como basado en la condición (FHWA, 2018), según se describe a continuación:

Mantenimiento cíclico: Actividades realizadas en un intervalo preestablecido y que buscan preservar las condiciones existentes de los componentes de un puente. La condición de los componentes no siempre es directamente mejorada como resultado de estas actividades, pero se espera que el deterioro sea retrasado (FHWA, 2018). Limpiar, lavar elementos de la superestructura y recoger material que obstruye las juntas de expansión, son algunas medidas cíclicas realizadas en este tipo de mantenimiento.

Mantenimiento basado en la condición: Actividades realizadas en los componentes de un puente según sea necesario e identificado por medio del proceso de inspección de puentes a partir de las inspecciones realizadas por personal calificado. Este tipo de acciones mejora la condición de esa porción específica de los elementos, pero podría o no resultar en un incremento en el estado de condición del puente (FHWA, 2018).

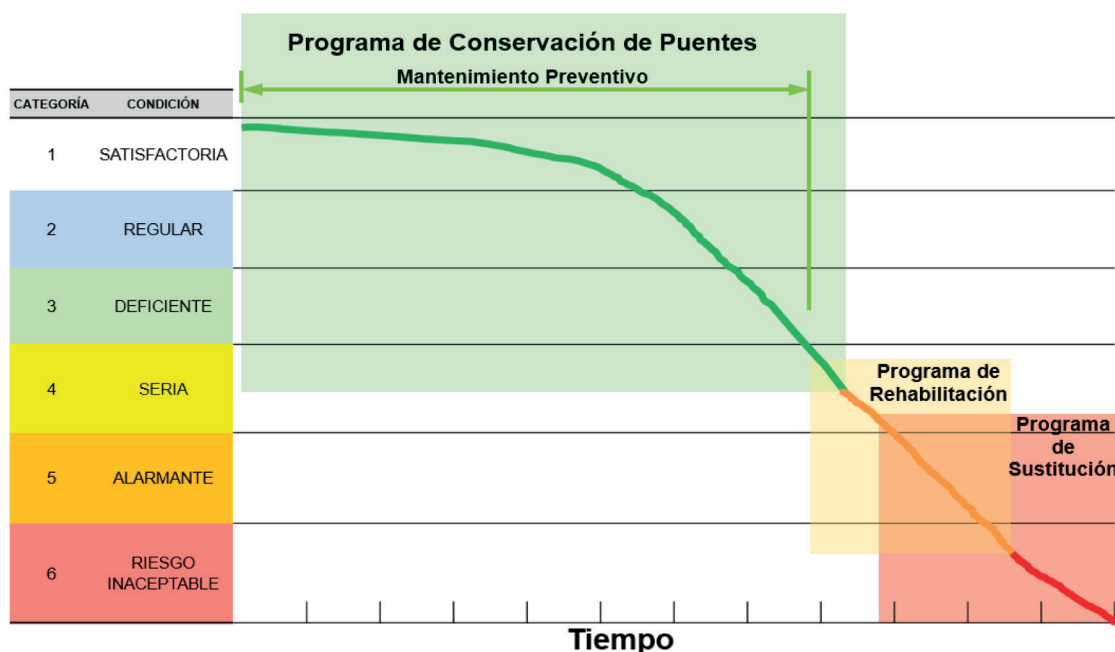


Figura 2. Curva hipotética de la variación del estado de la condición durante la vida de servicio de un puente relacionado con las medidas de intervención respectivas.

Fuente: Adaptado de FHWA (2018)

En la Fig. 2 se representa de forma esquemática la variación de la condición del puente a través del tiempo (ver Muñoz, J. et al., 2017) y su relación con las probables medidas de intervención. Como se observa, la condición de los puentes decae con el tiempo, y con ello, a la vez aumenta la complejidad y por ende el costo de las medidas de intervención necesarias para mantener su nivel de desempeño. Lo anterior evidencia la importancia de realizar actividades de conservación cuando el puente se encuentra en una condición entre *Satisfactoria* y *Deficiente* (ver Fig. 2), con el objetivo de mantener un adecuado nivel de servicio, retrasando la necesidad de grandes inversiones de dinero en programas de rehabilitación o sustitución.

Cuándo exactamente llevar a cabo las tareas de conservación debería ser una decisión basada en la solución más costo-efectiva en el ciclo de vida del puente. El intervalo óptimo es aquel que, de entre varios escenarios, genera el menor costo en el ciclo de vida, a la vez que se genera una mejora aceptable en la condición del elemento (SHRP2, 2019). Una forma de mejorar la efectividad, es combinar la conservación con las tareas de inspección; por ejemplo, se puede programar que el mantenimiento cíclico se realice antes de llevar a cabo las inspecciones bianuales, lo cual ayuda a detectar las deficiencias más fácilmente.

Beneficios de la conservación de puentes

Las consecuencias generadas por la omisión o inexistencia de medidas de conservación en los puentes del país son varias. Pueden clasificarse desde daños en las juntas de expansión, en los sistemas de

drenajes, o acumulación de sedimentos en el tablero, hasta deficiencias mayores que implican un riesgo de falla o colapso de la estructura.

En la Fig. 3, se observa a la izquierda una curva hipotética correspondiente a la variación de la condición durante la vida de servicio de un puente sin intervenciones de conservación. La ausencia de estas actividades generan un desgaste mayor, causado por aspectos como la fatiga, abrasión, componentes químicos, ambientales y el deterioro a través del tiempo (FHWA, 2018).

Por el contrario, la curva hipotética de la derecha representa la vida del puente al que se le realizaron acciones de conservación, de lo cual se pueden desprender dos observaciones. La primera es que al llevar a cabo el mantenimiento cíclico, la pendiente de la curva es menor y por lo tanto, para un mismo periodo de vida de servicio, la estructura tiene un mejor estado de conservación, y en el largo plazo posee además una vida útil de servicio mayor. Luego, cuando se consideró necesario, se llevó a cabo un mantenimiento basado en la condición, y como consecuencia, cambió su estado de *Deficiente* a *Regular*, lo cual extiende aún mas su vida útil de servicio.

Por lo tanto, se puede observar una gran diferencia generada como consecuencia de la correcta aplicación de medidas de conservación realizadas en el tiempo correcto y a los componentes correctos, lo cual incrementa en gran porcentaje la vida de servicio de la estructura (FHWA, 2018) y por lo tanto su rentabilidad.

En la Fig. 4, se presentan los casos en los cuales se llevaron a cabo actividades de gestión de puentes: en uno solo se aplican medidas de conservación y en el otro medidas de rehabilitación.

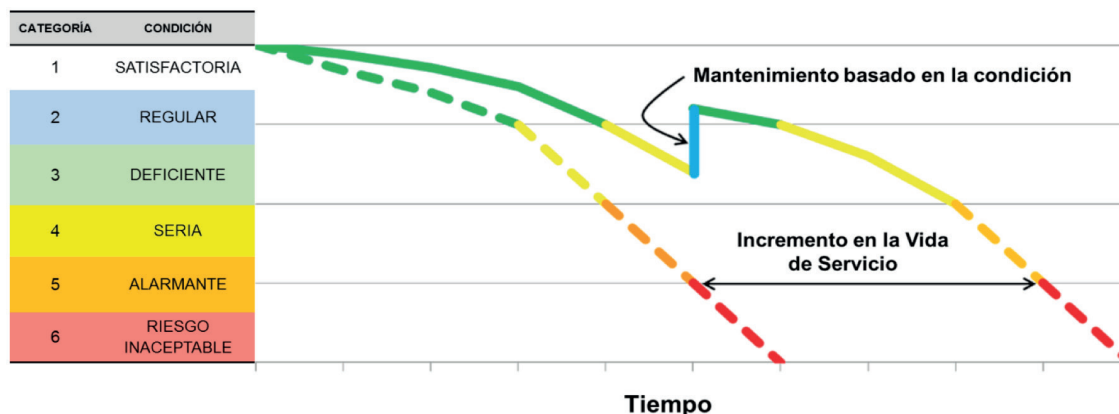


Figura 3. Curvas hipotéticas de la variación del estado de la condición durante la vida de servicio de un puente al que se le aplicaron medidas de conservación en comparación con una estructura sin tales medidas.

Fuente: Adaptado de FHWA (2018)

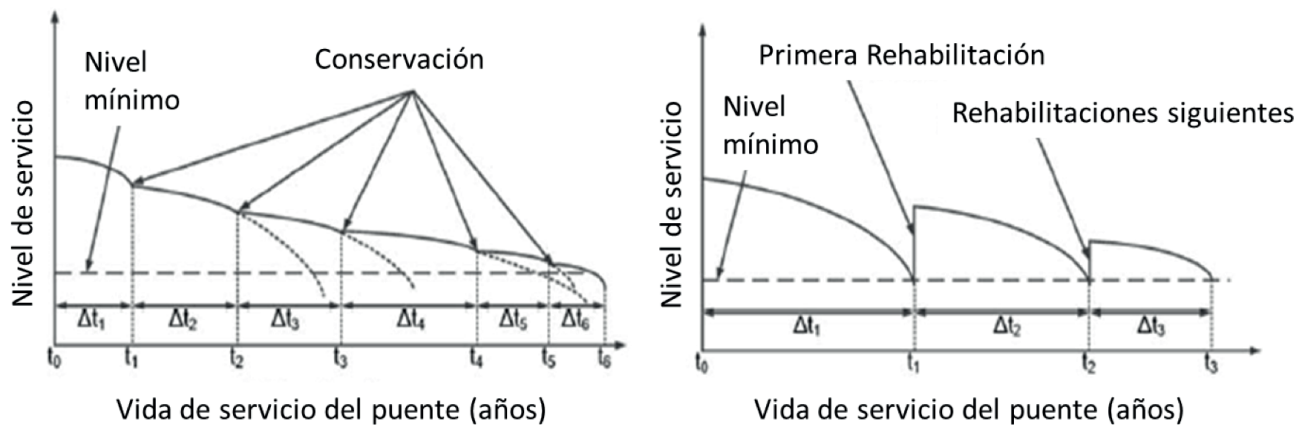


Figura 4. Comparación entre el deterioro de un puente con medidas de conservación y otro con rehabilitaciones o reemplazos mayores.
Fuente: Adaptado de FHWA-NHI (2016-a)

El lado izquierdo ilustra que mediante la conservación rutinaria, el comportamiento de la estructura y el nivel de servicio se mantiene siempre por encima del mínimo establecido durante una vida de servicio más extensa (FHWA-NHI, 2016-a).

Por otra parte, en el lado derecho, se muestra que un programa en el que solamente se utilizan medidas de rehabilitación y sustituciones mayores, requiere mayor esfuerzo e inversión económica para devolver la estructura a un nivel de servicio adecuado, con una vida de servicio aún así menor.

Adicionalmente, la estructura alcanza los niveles de condición mínimos en varias ocasiones durante su vida útil, lo cual trae consecuencias indirectas; por ejemplo, la pérdida de confianza por parte de los usuarios, o incluso, los costos económicos elevados ya sea directos o asociados a los usuarios por demoras y desvíos (costos sociales), a causa de las intervenciones mayores que requieren un mayor tiempo de ejecución.

El comportamiento de la condición de deterioro del puente en relación con la variación del costo de mantenimiento se representa de forma esquemática en la Fig. 5. Por ejemplo, el costo asociado cuando se encuentra en la fase de daño inicial es menor al relacionado con acciones de reemplazos necesarios a partir de una condición de *Riesgo Inaceptable* (Springer, 2017).

Al observar la Fig. 5 se puede analizar la variación en costos debido a la aplicación de conservación de manera proactiva en contraste con la reactiva. Las acciones de mantenimiento son idénticas pero iniciadas en distintos periodos del daño. El proactivo

se aplica en la condición de daño catalogada como *Satisfactoria*, *Regular* o *Deficiente*, y genera un costo final adicional marginal. Por otra parte, el reactivo se inicia cuando la condición de la estructura es *Seria* o *Inaceptable*, razón por la cual los costos terminan siendo igualmente altos y se disminuye significativamente la efectividad de la inversión (Springer, 2017).

Adicionalmente, se presenta en la Fig. 5 el comportamiento de las curvas que reflejan la variación del costo de conservación dependiendo de la durabilidad y de la exposición del puente. En este caso, en los puentes que presenten mayor exposición al daño o menor durabilidad, generalmente es necesario incurrir en costos de mantenimiento más elevados (Springer, 2017), por lo que no se pueden efectuar los mismos niveles de conservación a los puentes sin tomar en cuenta sus particularidades (exposición, vulnerabilidad, uso, etc).

A partir de estudios realizados en varios países, en especial EUA, se ha demostrado que los costos de gestión de puentes son menores al aplicar medidas de conservación a estructuras en condición *Satisfactoria* a *Deficiente*, en comparación con las rehabilitaciones o reconstrucciones utilizadas en los puentes con estado entre *Seria* e *Inaceptable*, como consecuencia del enfoque de atención del peor caso primero (FHWA-NHI, 2003).

Una de las mayores razones para aplicar este tipo de enfoque es para preservar la inversión inicial realizada durante la construcción del puente, considerando que el costo del reemplazo es usualmente más alto que el costo inicial de construcción, ya que incluye, entre otras tareas, la demolición.

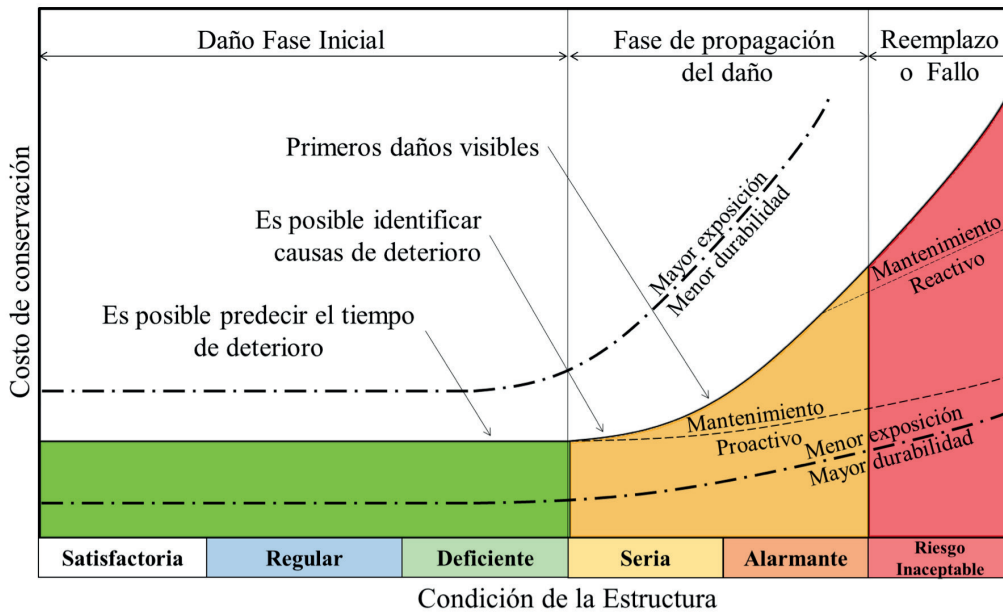


Figura 5. Curva de hipotética de costos de conservación en función de la condición del puente.
Fuente: Adaptado de Springer (2017)

Adicionalmente, cuando el deterioro genera daño en tal grado que necesite de intervenciones mayores, el costo aumenta considerablemente. A partir de un análisis económico realizado para una rehabilitación de un puente en EUA, un estudio concluyó que, con la misma cantidad de dinero invertido, se pudo haber realizado acciones de conservación en aproximadamente unas diez estructuras distintas (FHWA-NHI, 2003).

Como el anterior, se han realizado varios estudios que muestran el valor de aplicar conservación en puentes

en el momento correcto. En la Fig. 6 se muestran los resultados obtenidos para la ciudad de Nueva York. La clasificación de la condición que se plantea en el eje horizontal es creciente: entre mayor sea el número de la clasificación de la condición, el puente se encuentra en mejor estado. Como se puede ver, se gasta una considerable mayor cantidad de dinero conforme se permite que el puente alcance niveles bajos de la condición, pasando de \$3 238 por puente cuando la condición de los mismos es 7, a \$211 496 cuando la condición baja a un valor de 3 o menos.

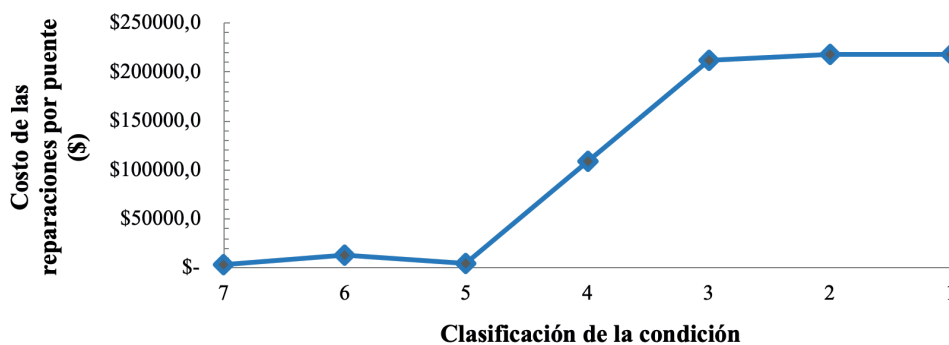


Figura 6. Aumento en los costos de reparaciones en puentes al incrementar el nivel del daño: Caso de Nueva York
(Entre mayor la clasificación de la condición, mejor el estado del puente)
Adaptado de: FHWA-NHI (2003)

En la Fig. 7 se muestra un ejemplo del costo anual referente a la conservación en conjunto con la rehabilitación o sustitución requeridos para el mismo estado de Nueva York. Se observa que conforme menor el nivel de conservación aplicado, el costo total de las intervenciones se incrementa exponencialmente. Del estudio de donde se obtuvieron estos datos, se concluyó que las consecuencias de no adoptar alguna forma de conservación de puentes para el estado de New York "podrían ser catastróficas" (FHWA-NHI, 2003).

¿Qué consecuencias tiene el no retrasar las labores de conservación de puentes? En un estudio hecho para toda la base de datos completa de puentes de los EUA (NCHRP, 2017), se determinó que realizar los trabajos hoy versus postergarlos 10 años, resulta en una razón costo/beneficio de 9,8, y ahorros económicos netos considerables.

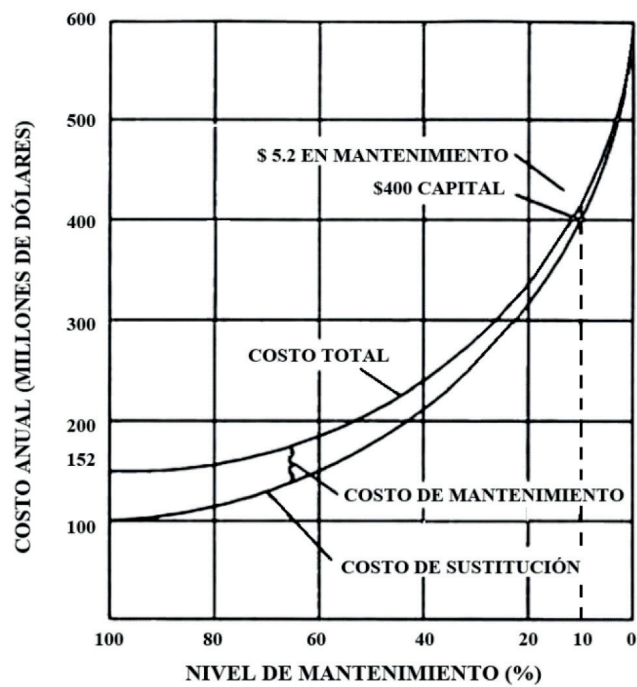


Figura 7. Costos totales en comparación con el nivel de conservación.
Adaptado de: FHWA-NHI (2003)

Cómo establecer un programa de conservación de puentes

Un programa de conservación de puentes consiste en la aplicación de medidas costo-efectivas tanto cíclicas como basadas en la condición, que buscan prolongar la vida de servicio de los puentes y retrasar la necesidad de rehabilitaciones o reemplazos. En el

documento elaborado por el FHWA-NHI (2016-b) y FHWA (2018), se recomiendan 11 pasos para lograr establecer un sistema eficiente de conservación. Los 11 pasos son un proceso cíclico evidentemente basado en la condición, cuyas actividades deben estar insertas e interconectadas con el Sistema de Gestión de la organización. A continuación, se presentan los mismos (FHWA-NHI, 2016-b; FHWA, 2018):

1. Establecer metas y objetivos.
2. Identificar los puentes con necesidades de medidas de conservación.
3. Desarrollar la lista de acciones de conservación.
4. Establecer las reglas de la organización.
5. Desarrollar análisis de ciclo de vida usando las acciones.
6. Desarrollar mediciones del desempeño de la efectividad de las acciones en relación al cumplimiento de las metas y objetivos
7. Desarrollar métodos de evaluación de los beneficios de las acciones de conservación.
8. Determinar la disponibilidad de fondos dedicados a las actividades de preservación.
9. Implementar y evaluar los proyectos.
10. Monitorear y medir el desempeño del programa de conservación.
11. Reportar y mejorar el programa de conservación.

Comunicando estrategias de conservación de puentes.

Una de las claves para un programa de conservación de puentes exitoso es comunicar a la población y a los diferentes sectores interesados ("stakeholders" como se les conoce en inglés), sobre las labores realizadas y los beneficios económicos de estas acciones (FHWA-NHI, 2016-c).

Para que la comunicación sea asertiva, es importante identificar a qué parte de la población va dirigido el mensaje. Los mensajes emitidos deben de ser cortos y claros pero explicados en forma que impacten al lector. Esta comunicación se puede efectuar mediante folletos, conferencias, videos, páginas web, redes sociales o boletines (FHWA-NHI, 2016-c).

Una de las formas más efectivas que se ha implementado en los últimos años es el uso de

tableros de información (o “dashboards” como se les conoce en inglés), similares a los que se usan en los automóviles para indicar parámetros claves como la velocidad, con el objetivo de, por ejemplo, indicar la condición de los puentes y sus componentes por medio de una forma visual, sencilla y resumida, que además permita identificar el cambio de la condición con el tiempo y por lo tanto los beneficios de los programas de conservación. Mucho mejor si esto se puede asociar a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La comunicación de los informes acerca del estado de la condición de los puentes tanto buenos como malos, da a conocer la importancia y necesidad de aplicar medidas de conservación a los puentes del sistema vial de Costa Rica.

Una población informada implica mayor compromiso de parte de las organizaciones dueñas de los activos, pero a la vez una mejora sustancial de la percepción cuando los programas son efectivos. De todas formas, los contribuyentes tienen todo el derecho de conocer la forma en que sus impuestos están siendo invertidos en el tema de infraestructura.

Conservación de puentes en Costa Rica

En 1998 en Costa Rica se creó la Ley 7798 correspondiente a la creación del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). En esta se establece el CONAVI como la institución encargada de planear, programar, administrar, financiar, ejecutar y controlar las medidas de conservación y de construcción de la Red Vial Nacional en concordancia con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). En este documento se definen varios términos importantes en cuanto a conservación de la infraestructura vial.

En el Artículo 1, define la conservación vial como: *“Un conjunto de actividades destinadas a preservar, en forma continua y sostenida, el buen estado de las vías, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario. La conservación comprende actividades tales (...) como el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de puentes.”*

La diferencia de conceptos entre el AASHTO-FHWA y el CONAVI, es en los términos que utilizan para referirse a las medidas de conservación, y al hecho de que incluye rehabilitación como parte de la conservación, al menos en el papel, porque en la práctica si es vista como una tarea de mejoramiento al igual que

la sustitución. A pesar de esto, el significado general de los términos es equivalente: las medidas cíclicas son las rutinarias del CONAVI, y las del mantenimiento basado en la condición las definen en la Ley como mantenimiento periódico.

En conformidad con lo establecido en el Artículo 22 de la Ley 7798, las prioridades de asignación de recursos económicos son las siguientes:

1. Conservación
2. Mantenimiento rutinario
3. Mantenimiento periódico
4. Rehabilitación
5. Construcción de obras viales nuevas

En la anterior lista, se presenta una herramienta conceptual acertada ya que la prioridad es dada para la conservación por sobre las intervenciones mayores. Falta establecer que estas acciones realmente se efectúen y que además se realicen cuando los puentes se encuentren en buen estado.

El problema a la fecha ha sido que, a pesar de tener las herramientas legales básicas para poder establecer programas de conservación de puentes, estos no se han llevado a cabo, y como consecuencia, el inventario de puentes tiene décadas en los que la conservación ha sido muy poca o nula. Se agrega a este problema el hecho de que los contratos de conservación vigentes incluyen tareas para el caso de puentes, pero son muy básicas y no se llevan a cabo de forma sistemática y dando énfasis a los puentes en mejor estado. El enfoque actual es tratar el peor caso primero por medio de rehabilitación o sustitución, lo cual no es un enfoque económicamente sostenible.

Ya en el 2007, un estudio de cooperación en el área de puentes entre JICA y el MOPT (2007), concluía que el presupuesto para la conservación de puentes era insuficiente en comparación con la construcción y mantenimientos de vías, y recomendaba al respecto: “El enfoque básico de mantenimiento de puentes debe ser cambiado de mantenimiento básico reaccionario a mantenimiento preventivo, el cual se deriva del concepto de gestión de puentes. Dado que el presupuesto actual es mínimo, el concepto de análisis de costos de ciclo de vida bien planificados debe ser incorporado en el planeamiento y definición presupuestaria de la conservación de puentes. Un fuerte compromiso político para la distribución óptima de recursos para



la conservación de puentes, es crítico con el objetivo de asegurar el presupuesto requerido basado en el concepto de mantenimiento preventivo”.

En el año 2009 el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) realizó un comunicado en el que indicaba en uno de sus puntos: “4. Que la situación de la falta de mantenimiento de los principales puentes de nuestras vías, es insostenible, generándose la urgente necesidad de intervenir de manera inmediata en una importante cantidad de ellos”. Una de las recomendaciones de dicho comunicado fue: “1. Hacer un llamado al gobierno de la República y autoridades superiores, para que el mantenimiento de los puentes de nuestras principales rutas nacionales, se decrete como una situación de emergencia nacional”.

Sin embargo, en el informe de auditoría realizado por la Contraloría General de la República en el 2015, en cuanto a la gestión de puentes de la Red Vial Nacional, se observa que pese a haberse reconocido esta urgente necesidad, la ausencia de planificación y de una adecuada gestión de puentes, generó que para los años 2011, 2012 y 2013, del programa presupuestario asignado a conservación vial únicamente en promedio el 7,12% haya sido destinado a estructuras de puentes (CGR, 2015).

De acuerdo con AmeliaRueda.com (2019), del Informe de Ejecución de Presupuesto del primer semestre del 2019 del CONAVI, se desprende que del 100 % del presupuesto de conservación, tan sólo un 0,09 % se destinó a puentes, lo cuál es el reflejo de que a la fecha no se ha podido implementar un Sistema de Gestión de Puentes adecuado que permita remediar el rezago en materia de conservación que tiene el país.

Comentarios finales

Como cita Collins (2001) que Sexto Julio Frontino, *curator aquarum* o supervisor de los acueductos, escribió hace casi 2 000 años cuando este se desempeñó como Cónsul del emperador romano Trajano, es decir, segundo al mando del Imperio Romano en su época de mayor esplendor: la conservación de las obras públicas “es digno de especial cuidado, dado que esto da el mejor testimonio de la grandeza del Imperio Romano. Estas numerosas y extensivas obras tienen la tendencia natural a caer en el deterioro, y deben por lo tanto ser atendidas antes de que necesiten grandes inversiones”.

Billington (1983) en su libro sobre el arte estructural, indica al respecto haciendo un paralelismo entre las estructuras y la vida política en una democracia: “El público debe continuamente inspeccionar sus obras; el mantenimiento constante y la renovación periódica son esenciales para sus estructuras expuestas. De forma paralela, los políticos no tienen una permanencia vitalicia; ellos deben ser inspeccionados, juzgados y llamados a la corrección regularmente, y reemplazados cuando sean encontrados culpables de actos de corrupción o de ineptitud. Así es también el caso con las obras de arte estructural. Ellas, también, son sujetas al deterioro y fatiga del uso público. Ellas nos recuerdan que nuestras instituciones nos pertenecen y no a algún tipo de élite. Si nosotros dejamos que se deterioren (edificios, puentes, domos, etc), así como de forma flagrante hacemos con nuestras viejas ciudades y redes de sistemas de transporte, entonces, eso evidencia una corrupción interiorizada de la vida cotidiana en una sociedad democrática libre”.

La forma en cómo se permite que las obras construidas con impuestos de los costarricenses se degraden a niveles inaceptables, podría ser un reflejo negativo de un camino que como sociedad en general hemos tomado y aceptado. Estamos a tiempo, sin embargo, de cambiar esa ruta, y la falta de recursos no debería ser una excusa: es necesario llevar a cabo las acciones de conservación costo-efectivas en el momento indicado y en el componente indicado. La conservación de puentes es una tarea impostergable.

Referencias bibliográficas

- AASHTO (2011). "Board of Directors, Policy Resolution PR-3-11", *American Association of State Highway and Transportation Officials*, EUA.
- Agüero-Barrantes, P y Villalobos-Vega, E. (2019). "Gestión de puentes (Entrega I): Componentes básicos e implementación". *Boletín Estructuras*, Vol. 4 (1), Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.
- AmeliaRueda.com (2019). "Dos empresas constructoras se reparten el 80 % del presupuesto del CONAVI para conservación de vías". Recuperado de: <https://www.ameliarueda.com/nota/dos-em-presas-constructoras-se-reparten-el-80-del-presu-puesto-del-conavi>
- Billington, David P. (1983). "The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering". *Princeton University Press*, EUA.
- CFIA (2009). "Pronunciamento del CFIA sobre los puentes". *Revista Ingenieros y Arquitectos*, Setiembre-Diciembre, p. 5, *Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos*, ed. 239, Costa Rica.
- CGR (2015). "Informe de la auditoria especial sobre la gestión relacionada con puentes de la Red Vial Nacional". *Contraloría General de la República*, San José, Costa Rica.
- Collins, Michael P. (2001). "In Search of Elegance: The Evolution of the Art of Structural Engineering in the Western World". *Revista Concrete International*, Julio, p. 57-72, *American Concrete Institute*, EUA.
- CONAVI (1998). "Ley No. 7798: Creación del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)". Recuperado de: <https://www.conavi.go.cr/wps/portal/CONAVI>.
- FHWA-NHI (2003). "Bridge Maintenance Training: Reference Manual". *Federal Highway Association - National Highway Institute*, EUA.
- FHWA-NHI (2016-a). "FHWA-NHI-130106A - Bridge Preservation Fundamentals". *Federal Highway Association - National Highway Institute*, EUA.
- FHWA-NHI (2016-b). "FHWA-NHI-130106B - Establishing a Bridge Preservation Program". *Federal Highway Association - National Highway Institute*, EUA.
- FHWA-NHI (2016-c). "FHWA-NHI-130106C - Communication Strategies for Bridge Preservation". *Federal Highway Association - National Highway Institute*, EUA.
- FHWA (2018). "Bridge Preservation Guide: Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility". *Federal Highway Association*, EUA.
- JICA-MOPT (2007). "El estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica". *Japan International Cooperation Agency - Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica*, San José, Costa Rica.
- Mertz, Dennis R. y Wasserman, E. (2017). "Defining the Service Life of Bridges". *Revista ASPIRE*, Invierno, p. 10-11, EUA.
- Minnesota Department of Transportation (2015). "Fiscal Year 2016 through 2020 Bridge Preservation and Improvement Guidelines". *Bridge Office - MnDOT*. EUA.
- Muñoz, J. et al. (2017). "Guía para la determinación de la condición en puentes mediante la inspección visual". *Unidad de Puentes, LanammeUCR*, San José, Costa Rica.
- NCHRP (2017). "Consequences of Delayed Maintenance of Highway Assets", *Reporte de Investigación 859 - NCHRP*, EUA.
- SHRP2 Solutions (2019). "A Briefing on Life-Cycle Cost Analysis of New Bridge Design Alternatives", *FHWA-AASHTO*, EUA.
- Springer, Todd (2017). "Deterioration Modeling, Bridge Management System Modeling, 2017 Bridge Management User Group Meeting". *Virginia Department of Transportation*, EUA.
- WordPress.com (2014). "Maintenance of the Golden Gate Bridge", EUA. Recuperado de: <https://goldengatebridge14.files.wordpress.com/2014/12/image.jpg>





LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PIE

Programa de
Ingeniería Estructural

Ing. Sergio Álvarez González

Ing. Mauricio Araya Con

Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph.D, Coordinador General

Ing. Yi Cheng Liu Kuan, M.Sc

Ing. María José Rodríguez Roblero, Ph.D

Ing. Guillermo Santana Barboza, Ph.D, Asesor

Ing. Luis Guillermo Vargas Alas

Ing. Esteban Villalobos Vega, M.Sc, Coordinador Unidad de Puentes

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Licda. Daniela Martínez Ortiz / Óscar Rodríguez Quintana

CONSERVACIÓN DE PUENTES: UNA NECESIDAD IMPOSTERGABLE / Diciembre, 2020

Palabras clave:

 **(506) 2511-2500**

 **direccion.lanamme@ucr.ac.cr**

 **Código Postal 11501-2060**

 **www.lanamme.ucr.ac.cr**