



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Estructural, N° 2, Volumen 4, Año 2019 · ISSN: 2215-4566

Gestión de puentes (Entrega II): Herramientas analíticas

Ing. Pablo Agüero Barrantes, M.Sc. PMP®

Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

pablo.aguerobarrantes@ucr.ac.cr

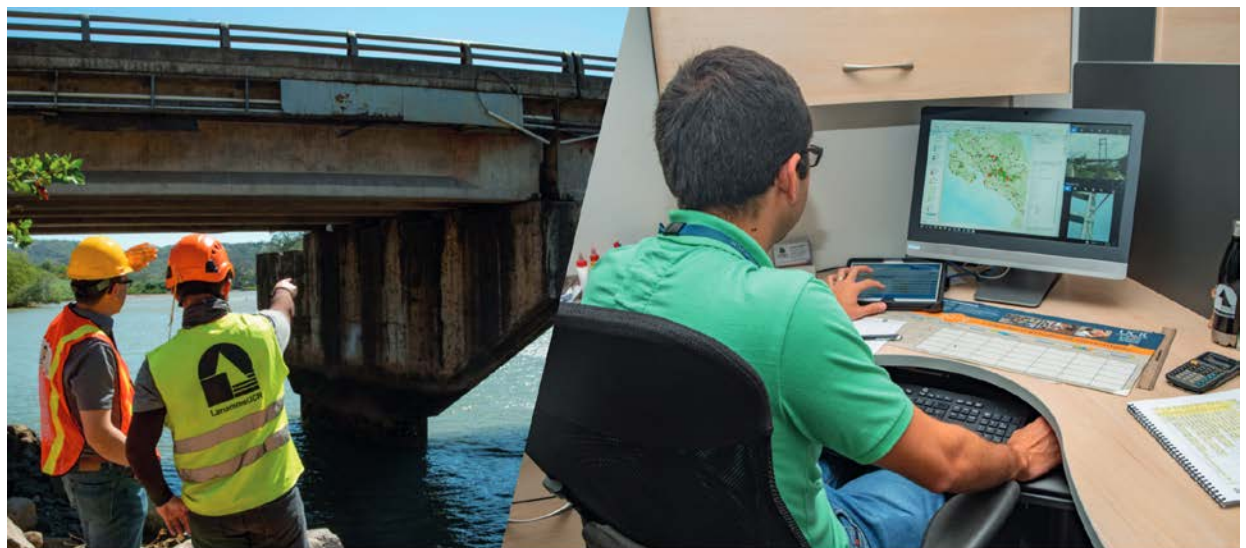
Ing. Esteban Villalobos Vega, M.Sc.

Coordinador

Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

esteban.villalobos@ucr.ac.cr



Comité editorial:

Ing. Esteban Villalobos - Vega, M.Sc.

Coordinador Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

Ing. Rolando Castillo - Barahona, Ph.D.

Coordinador General

Programa de Ingeniería Estructural

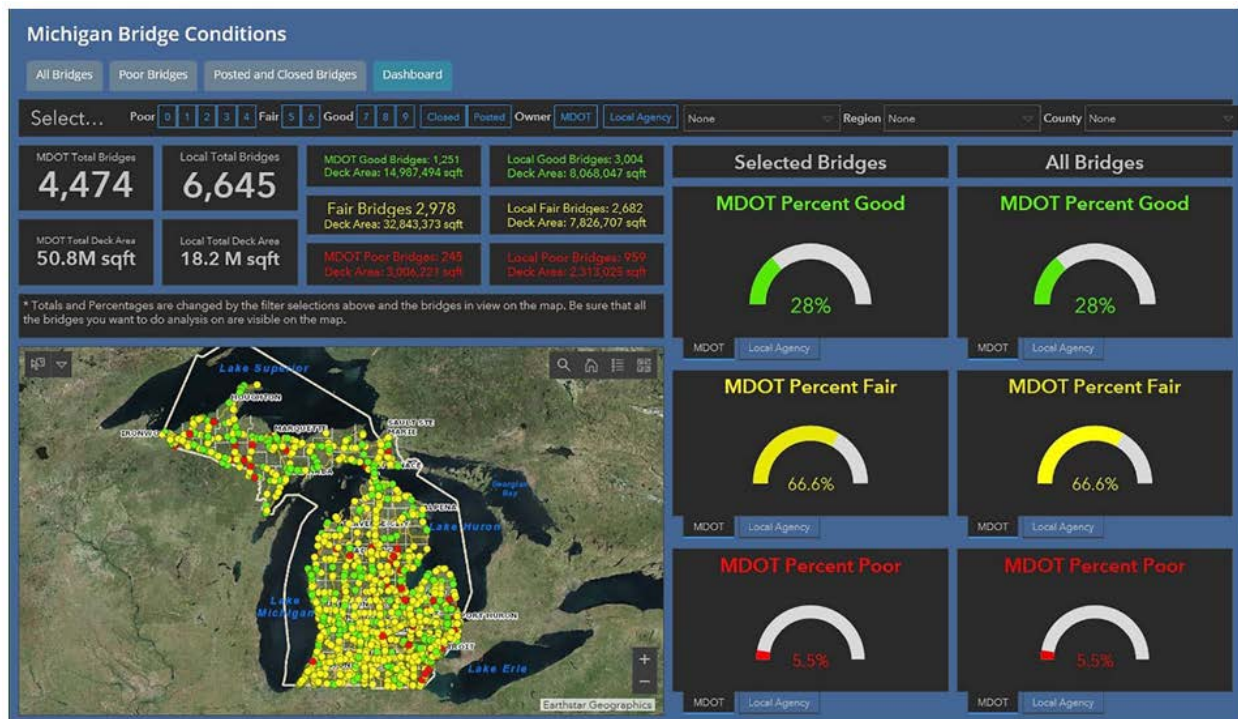


Figura 1. Los tableros de control son herramientas que se utilizan para resumir y comunicar de forma fácil y transparente a los usuarios e involucrados, el estado de los puentes del inventario del sistema de gestión, incluyendo la condición histórica real de los puentes y su predicción a futuro, de acuerdo a los resultados de los datos de la herramienta informática.
(Fuente: Michigan.gov, <https://mdot.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=fb70725b2be04d7b01703d0b6c91bb6>)

En el boletín anterior, se presentó la definición, los componentes y pasos necesarios para implementar un sistema de gestión de puentes (SGP). En esta segunda parte, se presentan los requisitos ideales de una herramienta analítica moderna de apoyo para la gestión de puentes.

Alcance de un sistema informático “moderno” de apoyo a la gestión de puentes

Como se ha mencionado anteriormente, la escogencia del sistema informático a utilizar es una de las últimas tareas en la implementación de un SGP, y se debe recalcar que lo recomendable es que dicha herramienta esté acorde con las políticas, objetivos, tamaño y posibilidades de la organización. Sin embargo, es importante tener claro en el proceso cuál es el alcance recomendable para que una herramienta se pueda considerar “moderna”, en el sentido de que integre los mecanismos necesarios para poder cumplir eficiente y adecuadamente las metas de un SGP.

Según AASHTO (1993), los SGP incluyen como parte de su componente informático una base de datos y una herramienta informática que, en general, apoye las siguientes labores:

- Proveer análisis y resúmenes de los datos,
- Utilizar modelos y algoritmos para hacer predicciones y recomendaciones,
- Proveer los medios para considerar eficientemente políticas y programas alternativos, y
- Facilitar la recolección, el procesamiento y la actualización de los datos requeridos.

Los requisitos mínimos de la base de datos y de la herramienta de apoyo se describen a continuación (AASHTO, 1993). Se debe tener claro de que cada uno de estos requisitos mínimos está asociado con una tarea específica dentro del SGP.

- **Base de datos.** La base de datos requiere de la siguiente información:
 - **Inventario de puentes:** Esta parte de la base de datos identifica cada estructura, su localización y sus características físicas incluyendo configuración, material, geometría y otros.

- **Datos de daño y evaluación de la condición:** describe la condición de cada elemento del inventario, expresada en términos de tipo, extensión y severidad del deterioro. Dichos datos se utilizan para calificar la estructura.
- **Datos históricos:** se almacenan datos de la condición, de trabajos de mantenimiento y mejoras, así como los costos asociados a cada estructura. La información debería ser la suficiente para estimar y actualizar costos de ciclo de vida y modelos de deterioro.
- **Datos de inspecciones detalladas, complementarias o extraordinarias:** dichos datos son importantes para el sistema de gestión de puentes y pueden incluir reportes, fotografías, etc.
- **Modelos de deterioro.** Los modelos de deterioro dan proyecciones a futuro de la condición estructural y otros elementos claves de cada tipo de puente. Considerando o sin considerar intervenciones, los modelos de deterioro deben dar proyecciones de la naturaleza, extensión y severidad del deterioro en cada elemento, reflejando las condiciones ambientales a las que está expuesto el puente.
- **Identificación de acciones factibles.** Con base en la condición de los elementos de los puentes del inventario, la herramienta de apoyo debería tener la capacidad de identificar estrategias de intervención para estos elementos, siendo consistente con el mantenimiento que requiere el puente y la preservación del patrimonio. Adicionalmente, la herramienta debería identificar trabajos adicionales a los de mantenimiento, como la aplicación de sistemas de protección para los diferentes elementos, reforzamiento, aumento de carriles, reemplazo, cierre, etc.
- **Criterios con base en niveles de servicio.** Una característica importante que la herramienta debe incluir son criterios con base en niveles de servicio, para definir necesidades y asignación de recursos. Lo anterior implica cuantificar y calificar a los puentes que dan servicio a usuarios esenciales, como por ejemplo vehículos de atención de emergencias y transporte de estudiantes. El modelo debe ser capaz de evaluar los cambios en objetivos y normas para capacidad de carga, ancho del tablero, distancias libres verticales u otras características de servicio de los puentes que sean consideradas de importancia.
- **Estimación de costos para el propietario.** La herramienta debe incluir procedimientos de cálculo de costos, desde el costo de mantenimiento de un elemento individual hasta el costo de reemplazar todo el puente.
- **Estimación de costos para el usuario.** Las deficiencias estructurales y funcionales tienen influencia en el número de accidentes, tiempos de viaje y costos operativos de los vehículos. La herramienta debe tener la capacidad para calcular el costo para el usuario asociado con cambios en la capacidad de carga, ancho del tablero, distancias libres verticales, etc.
- **Incorporación de restricciones presupuestarias, entre otras restricciones.** Un requerimiento básico es la inclusión de restricciones presupuestarias, para cada periodo presupuestario en el horizonte de planificación. Adicionalmente, la herramienta de apoyo del sistema de gestión de puentes debe ser capaz de aceptar otras restricciones significativas.
- **Minimizar el costo de mantenimiento durante el ciclo de vida.** La herramienta debe ser capaz de determinar el costo mínimo de mantenimiento de los elementos y de todo el puente a través del ciclo de vida esperado de la estructura. La herramienta debería también incluir el costo de utilizar sistemas de protección para los elementos, en la identificación de una estrategia de mantenimiento que reduzca los costos de dichas labores.
- **Procedimiento de optimización multi-periodo.** La capacidad de establecer proyectos prioritarios y asignar fondos optimizados entre acciones alternativas a través de un horizonte predefinido de planificación, tanto a corto como a largo plazo, es una parte fundamental de una herramienta de apoyo. Un procedimiento de optimización multi-periodo provee la capacidad de dar proyecciones de necesidades considerando o no restricciones. El procedimiento debe dar resultados si se analiza todo el inventario de puentes o si se analiza solo un grupo. Se requiere que sea considerado el deterioro de la estructura, crecimiento del tránsito, costos para el propietario, costos para el usuario, utilizando tasas de interés para tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Además, se requiere la optimización de la eficiencia y la efectividad de los gastos del Administrador en el cumplimiento de sus objetivos.



- **Capacidad de editar parámetros y ecuaciones.** El usuario de la herramienta tiene la posibilidad de hacer cambios en el modelo analítico, mediante modificaciones en parámetros y fórmulas, permitiendo la revisión periódica y la actualización del modelo de deterioro, los procedimientos de estimación de costos, etc. Así se incorpora el criterio experto, se desarrolla “sensibilidad” en el uso de la herramienta por medio de conocer cuáles parámetros son los que más afectan los resultados, y se realizan análisis de escenarios (“what if” analysis).
- **Capacidad de hacer informes.** La herramienta analítica debe ser capaz de producir variedad de informes para dar soporte a un gran rango de decisiones que involucran los puentes de una red de carreteras. Los informes incluyen tablas y gráficos con el fin de presentar resultados de la forma más efectiva posible a diferentes usuarios de diferentes niveles del sistema de gestión de puentes.
- **Incorporación de datos de mantenimiento.** La herramienta debe tener disponible información actualizada de los trabajos de mantenimiento que se realizan en los puentes, así como su costo y fecha de culminación.
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG).** En los últimos años se ha empezado a ver la necesidad de incorporar componentes SIG, que permitan llevar a cabo de forma fácil y directa, análisis espaciales y la visualización geográfica de la información (Zhao y Tonias, 2012) (Ver Figura 1).

Análisis de datos para generar información para la toma de decisiones

La integración de datos identifica acciones y estrategias con base en análisis de estos, para optimizar el uso de recursos limitados. La decisión óptima es la que minimiza el costo y el riesgo a largo plazo, mientras se provee el nivel de servicio y seguridad deseado.

Dado que las decisiones de hoy afectarán la condición a futuro del inventario de puentes, una herramienta analítica debe incluir mecanismos para predecir los efectos de las decisiones de hoy. Dos importantes herramientas de predicción son los modelos de deterioro y los modelos de costos, ambas mencionadas anteriormente. En la figura 2 se presenta un ejemplo del estado del inventario de los puentes del Estado de Michigan entre los años 2005 y 2018 y su predicción entre los años 2019 a 2027.

La integración está compuesta por los siguientes cinco componentes (AASHTO, 2018):

- **Análisis de datos:** Los datos de inventario y condición son utilizados para identificar labores de mantenimiento preventivo, rehabilitación o reposición. Además, con modelos de deterioro y modelos de efectividad de las acciones, se predice la condición del puente después de una intervención.
- **Cuantificación del riesgo:** Se analiza la probabilidad y consecuencias de eventos adversos que puedan afectar el nivel de servicio esperado. Un sistema de transporte está mejor preparado para reducir las consecuencias de un evento extremo cuando incluye redundancia, robustez y resiliencia. Un sistema de gestión basado en riesgo puede contribuir con estos tres atributos.

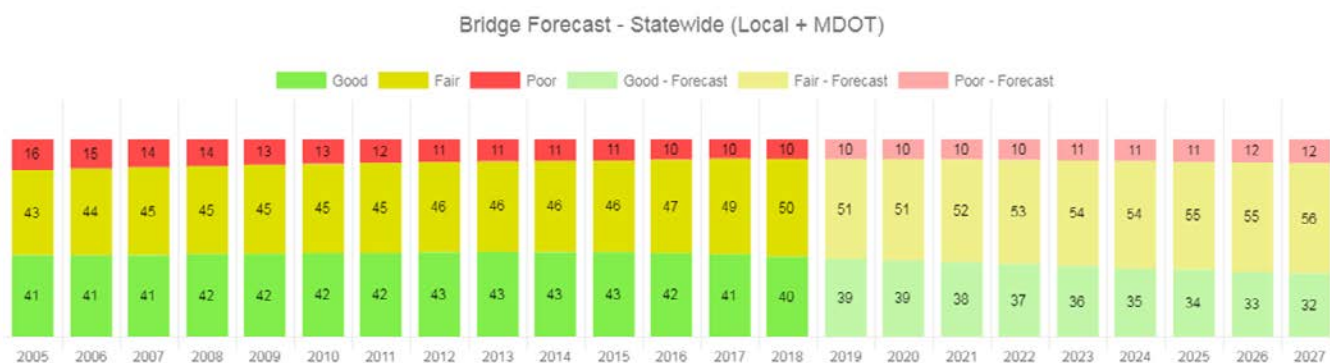


Figura 2. Resumen del estado del inventario de puentes del estado de Michigan entre los años 2005 a 2018 y su predicción entre los años 2019 y 2027. (Fuente: Michigan.gov, <https://www.mcgi.state.mi.us/mitrp/tamcDashboards>)

- **Criterios del administrador:** Para que las decisiones determinadas por la herramienta analítica sean consistentes con las prácticas del administrador, éste debe definir sus reglas en la programación de la herramienta. Dichas reglas pueden ser aplicadas a nivel de puente (operativo/proyecto), programa (estratégico) o de red (estratégico/portafolio).
- **Análisis costo-beneficio:** Con la disponibilidad de recursos limitados se requiere análisis costo-beneficio para determinar las medidas de intervención a implementar. El análisis costo-beneficio puede ser basado en la condición, en mejoras o en costos del ciclo de vida.
- **Priorización y optimización:** El propósito de la optimización a nivel de red es seleccionar un grupo de proyectos de puentes de tal forma que el beneficio derivado de la implementación de los proyectos seleccionados sea maximizado, o sea, minimizar costos y riesgo. Existen dos enfoques: el de arriba abajo o el de abajo arriba; en el primero las directrices las define el grupo ejecutivo y en el segundo las decisiones se toman con base en los datos recolectados. Por lo general, se utiliza el enfoque de arriba abajo para minimizar el tiempo de optimización del modelo.

Herramientas modernas de gestión de puentes

La Asociación Internacional para Mantenimiento y Seguridad de Puentes (IABMAS, por sus siglas en inglés) ha realizado tres encuestas a diversos administradores de puentes sobre las características de sus herramientas de apoyo para gestión de puentes. Los resultados de las encuestas se publicaron los años 2010, 2012 y 2014.

A continuación, se comentan algunos de los resultados de la última encuesta publicada (IABMAS, 2014) en la que participaron administradores de 25 herramientas de apoyo para la gestión de puentes y otras estructuras alrededor del mundo, en su gran mayoría en países desarrollados, que son los que cuentan con este tipo de sistemas implementados. En los cuadros 1 a 5 se describen las características de las herramientas que sondea la encuesta y el porcentaje de herramientas que los toman en cuenta.

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de la información de inventario de la encuesta del IABMAS. Puede observarse que las herramientas analizadas en algunos casos son utilizadas para gestionar otro tipo de estructuras, como alcantarillas y túneles. Además, los datos históricos de intervención (92 %) y la determinación de la capacidad de carga de elementos (92 %) son aspectos fundamentales en los datos de inventario.

Cuadro 1. Información de inventario de la encuesta del IABMAS (2014)

Descripción	Porcentaje (%)
¿Incluye puentes?	96
¿Incluye alcantarillas?	68
¿Incluye túneles?	36
¿Incluye estructuras de retención?	24
¿Incluye otros objetos? (estructuras marinas, estructuras de protección, señalización, barreras y guardavías)	40
Datos de inspección	100
Historial de intervenciones	92
Datos de localización	100
Datos de diseño (carga, año, código), capacidad de carga actual.	92
Tránsito Promedio Diario	84

En el Cuadro 2 se puede observar que se pueden obtener datos de la condición de elementos y de la estructura. Además, es una práctica común incluir los conceptos de riesgo y probabilidad de falla.

Cuadro 2. Información de inspección de la encuesta del IABMAS (2014)

	Descripción	Porcentaje (%)
Inspección a nivel de elementos	• Condición	100
	• Capacidad de carga de elementos	60
	• Probabilidad de falla	80
	• Riesgo	80
Inspección a nivel de estructura	• Condición	96
	• Capacidad de carga para cargas legales y restricciones	80
	• Probabilidad de falla	76
	• Riesgo	72



En el Cuadro 3 se puede observar que la mayoría de las herramientas incluyen datos de intervenciones y datos de costos. En el caso de los costos, el más común es el costo de intervención; sin embargo, algunas herramientas consideran costos para el usuario, costos por retrasos, entre otros.

Cuadro 3. Información de intervenciones de la encuesta del IABMAS (2014)

Descripción	Porcentaje (%)
Intervención a nivel de elementos	100
Intervención a nivel de estructura	92
Intervenciones para múltiples estructuras	96
Costos de inspección	24
Costos de intervención	96
Costos en el ciclo de vida	44
Costo por retrasos en viajes	28
Costos indirectos al usuario	32

En el Cuadro 4 se evidencia que la mayoría de las herramientas tienen capacidad de cálculo para predicciones de deterioro, efectos de intervenciones, optimización de estrategias de intervención y definición de programas. Dichas capacidades de predicción están disponibles en al menos 70 % de las herramientas que participaron en la encuesta del IABMAS.

Cuadro 4. Información de predicciones de la encuesta del IABMAS (2014)

Descripción	Porcentaje (%)
Modelos de deterioro	76
Efectos de intervenciones	72
Optimización de estrategias de intervención	76
Programas	84

En el Cuadro 5 se presenta la capacidad de realizar predicciones. En este caso, la mayoría de herramientas tienen métodos para calcular presupuestos. Además, cerca de la mitad de las herramientas pueden predecir otros parámetros como estándares de desempeño, asignar fondos y gestionar permisos de carga.

Cuadro 5. Uso de la información de predicciones según la encuesta del IABMAS (2014)

Descripción	Porcentaje (%)
Preparación de presupuestos	92
Para establecer estándares de desempeño	60
Para asignación de fondos	52
Para la gestión de permisos especiales de carga	60

Conclusiones

Las herramientas analíticas de soporte para la gestión de puentes deben apoyar los tres niveles de gestión (estratégico, táctico y operativo). Debido a lo anterior, su función va más allá de sólo realizar una priorización con base en datos de daños de los puentes del inventario.

En el estado del arte, estas herramientas optimizan escenarios, minimizando riesgo y costo y permiten hacer predicciones del estado de conservación del inventario de acuerdo a las acciones que se tomen (ver figura 2).

Referencias bibliográficas

- AASHTO (1993). *Guidelines for Bridge Management Systems*. American Association of the State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- AASHTO (2002). *Transportation Asset Management Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Project 20-24(11). Washington, D.C., USA.
- AASHTO (2011). *Transportation Asset Management Guide: A focus on Implementation*. American Association of the State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- AASHTO (2018). *The Manual for Bridge Evaluation*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- FHWA (2016). *FHWA-NHI-130109A Bridge Management Fundamentals*. On line course.
- FHWA (2016). *FHWA-NHI-130106B Establishing a Bridge Preservation Program*. On line course.
- FHWA (2016). *FHWA-NHI-130109B Performance-Based Management of Bridges*. On line course.
- IABMAS (2014). *Overview of Existing Bridge Management Systems*. The IABMAS Bridge Management Committee. International Association for Bridge Management and Safety.
- Zhao, J. y Tonias, D. (2012). *Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges*. (3.^a ed.). EUA: Mc Graw-Hill





LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PIE Programa de
Ingeniería Estructural

Ing. Pablo Agüero Barrantes, M.Sc, PMP®

Ing. Sergio Álvarez González

Ing. Mauricio Araya Con

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

Ing. Hellen Garita Durán

Ing. Yi Cheng Liu Kuan, M.Sc

Ing. Sergio Lobo Aguilar, Ph.D

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

Gestión de puentes (Entrega II): Herramientas analíticas / Setiembre, 2019

Palabras clave: gestión, puentes, herramientas analíticas.

 (506) 2511-2500

 direccion.lanamme@ucr.ac.cr

 Código Postal 11501-2060

 www.lanamme.ucr.ac.cr