

# eBridge: Predicción remota de fallas en puentes

Giannina Ortiz Quesada (\*)  
gortiz@itcr.ac.cr

## Resumen

En el año 2010, un grupo multidisciplinario con presencia de profesionales en las áreas de construcción, computación, electrónica, diseño industrial y forestal, inician el reto de ofrecer a la comunidad herramientas avanzadas de computación para la resolución de problemas de diferente naturaleza. Es así como nace el grupo de investigación eScience en el Tecnológico de Costa Rica (TEC).

Una de las tareas más importantes asignadas para ese año fue la elaboración de propuestas de investigación que reunieran a estos profesionales y que pudieran aportar soluciones para la resolución de algún problema de interés nacional. Nacieron entonces los proyectos conocidos como eBridge, iReal y Teprha. En el presente artículo se describe el proyecto eBridge: Predicción remota de fallas en puentes, las áreas de trabajo, su alcance y el futuro del proyecto.

## eBridge, respuesta a un problema nacional

El país sufre un grave problema de mantenimiento y renovación de su infraestructura, siendo las estructuras de puentes las más afectadas, lo que ha ocasionado varios accidentes con víctimas mortales.

Al no contar con un detalle de cada uno de los puentes de la red vial nacional, se ha hecho un estimado del total de kilómetros de estas estructuras, que se resume a continuación:

Según datos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), la mayoría de estos puentes fueron construidos entre los años 1955 y 1965. Eso implica que alrededor del 40% de las estructuras ya han alcanzado su vida útil, la cual se estima en 50 años y el costo estimado de reposición es de \$ 597 millones. Por otra parte, la red vial cantonal se estima en 143,6 km y su costo de reposición ronda los \$ 1 580 millones.

Clase de ruta	Número de rutas	Total de km de puentes
Primaria	19	20,51
Secundaria	103	9
Terciaria	123	6,83
<b>TOTAL</b>	<b>245</b>	<b>36,39</b>

Cuadro 1. Puentes existentes en la red vial nacional, proporcionado por el MOPT 2011.

Para enfrentar este problema, el MOPT cuenta con un programa nacional de puentes 2010-2014, el cual se divide en tres ejes de acción: puentes menores (de una vía y una longitud menor de 36 metros), puentes medianos (de dos vías y longitud entre 36 y 75 metros) y puentes mayores (de dos vías y longitud mayor de 75 metros) (Ramírez, 2011).

## Objetivos de eBridge

El proyecto eBridge: "Predicción remota de fallas en puentes", surge como un primer proyecto nacional y en este momento cuenta con el aporte económico del TEC y del Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), además de soporte en el suministro de información por parte del MOPT y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

El objetivo de este proyecto es generar capacidad de predicción de fallas en puentes, utilizando para ello el producto de un proyecto anterior liderado por el ingeniero Johan Carvajal, de la Escuela de Ingeniería Electrónica del TEC, el cual consiste en una red inalámbrica de sensores, llamado CR-Mot.

El alcance del objetivo general es muy ambicioso; por lo tanto, en los objetivos específicos se limita a la generación de un proyecto piloto, ya que el comportamiento de las estructuras de puentes no puede extrapolarse de manera tan sencilla.

Se define entonces este proyecto para dos años (2011-2012), como una primera etapa que busca específicamente el establecimiento de una metodología para la evaluación de puentes, no solo desde un punto de vista de inspección visual, sino introduciendo tecnología para verificar su comportamiento.

Se pretende avanzar aún más en el uso del CR-Mot, un proyecto de investigación de adquisición de datos a través de una red inalámbrica de sensores de monitoreo estructural, y se mostrarán los datos a través de un sistema de información geográfica que permita generar recomendaciones a nivel nacional para el uso de esta tecnología.

El producto final que se espera, luego de varios años de investigación y calibración, es un sistema experto que permita la toma de decisiones, basado en un modelo de confiabilidad estructural, que proporcione información para establecer la vida útil de un puente. Esto permitirá planificar el mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de una estructura, antes de su colapso. En esta primera etapa se establecerá este modelo de confiabilidad para un puente piloto que reúna las condiciones típicas requeridas.

Este sistema se basa en la metodología de inspección visual desarrollada por el MOPT (MOPT, 2007). Los datos provenientes de la red de sensores en un inicio permitirán medir deformación, desplazamiento y vibración, aunque se puede ampliar a otros parámetros. Además, se contará con protocolos para la aplicación de pruebas destructivas y pruebas no destructivas.

Posteriormente la visualización de estos datos se hará utilizando un sistema de información geográfica, que permita la superposición de diferentes capas de informes.

El proyecto se ha estructurado bajo el siguiente esquema:

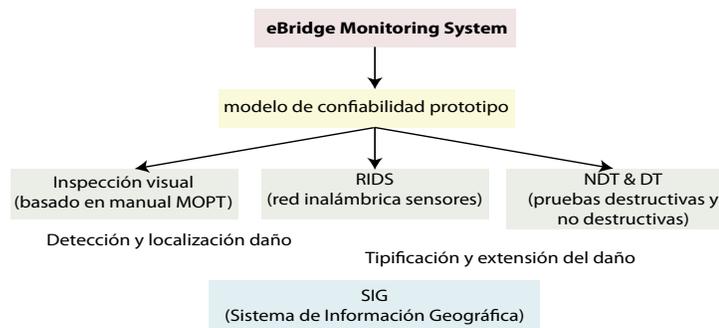


Figura 1. Esquema general de los componentes del proyecto.

El proyecto eBridge se conforma entonces con participación de las escuelas de Ingeniería en Construcción, Electrónica, Forestal y Matemática y el soporte técnico de estudiantes de ingeniería en computación.

#### Participantes en el proyecto

**Giannina Ortiz Quesada**, M.Sc., investigadora, Escuela de Ingeniería en Construcción.

**Johan Carvajal Godínez**, M.Sc., investigador, Escuela de Ingeniería Electrónica.

**Ing. Casia Soto**, investigadora Escuela de Ingeniería Forestal.

**Geovanni Figueroa**, M.Sc., investigador Escuela de Matemática.

**Luis Ernesto Carrera**, M.Sc., investigador Escuela de Matemática.

**Ing. Hugo Navarro**, M.Sc., investigador, Escuela de Ingeniería en Construcción.

**Ing. Mauricio Carranza**, investigador, Escuela de Ingeniería en Construcción.

#### Organización del trabajo

Para lograr los objetivos, se ha establecido un esquema de trabajo basado en las áreas de conocimiento técnico, que se definen a continuación:

El área de ingeniería civil y de construcción tiene como propósito definir el modelo de confiabilidad estructural para el puente piloto y establecer los parámetros mínimos que se requieren para predecir el comportamiento de una estructura y estimar de esta manera su vida útil, para que los planes de intervención puedan ser generados en tiempo.

En el área de herramientas de predicción y visualización, se analizan desde el punto de vista matemático los modelos de confiabilidad aplicables y las formas de presentar dicha

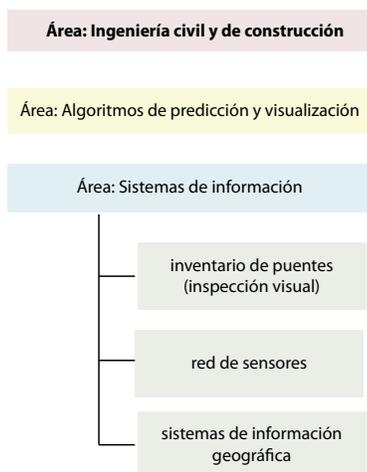


Figura 2. Áreas técnicas de trabajo del proyecto eBridge.

información a los diversos usuarios.

El área de sistemas de información, que se divide a su vez en tres subáreas muy importantes, tiene a su cargo la generación de una base de datos que permita almacenar la información proveniente de las inspecciones visuales, la red inalámbrica de sensores y la aplicación de pruebas no destructivas y destructivas sobre los materiales, con el fin de que sean la base para el sistema de toma de decisiones y que permitan predecir su comportamiento.

Por su parte, el área de sistemas de información geográfica pretende organizar y mostrar esta información en el mapa de Costa Rica de una forma amigable e integrada. Ambos productos se están desarrollando mediante el uso de herramientas de software libre.

Finalmente, y considerada la subárea de mayor innovación, se encuentra el desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores que permita la adquisición de datos de comportamiento del puente en tiempo real, que pueda alimentar el modelo de confiabilidad estructural. Actualmente, la forma de realizar este monitoreo implica la instalación de cableado, lo cual no solo incrementa el costo de instalación sino la factibilidad de realizar este trabajo de una forma más ágil y segura para los equipos por instalar.

#### Problemas encontrados

El principal problema encontrado para iniciar este proyecto es la falta de información y documentación sobre las estructuras de puentes, ya que no se tienen planos completos, ni registros de construcción ni de reparación para un número importante de estructuras. La Red Vial Nacional podría presentar mayor información y análisis, pero la red cantonal se estima posee un mayor número de estructuras.

Se cuenta a nivel nacional con un estudio realizado por la Cooperación Japonesa JICA en el año 2007, el cual es un diagnóstico importante de partida para este proyecto. El MOPT cuenta, además, con un sistema de información sobre estructuras de puentes denominado SAEP; sin embargo, a la fecha no se ha utilizado por diversos problemas de tipo técnico. Finalmente, uno de los mayores problemas considerados es la falta de capacitación de los profesionales en ingeniería sobre el mantenimiento de las estructuras de puentes y su administración, unido al sistema burocrático



El proyecto eBridge se desarrolla en el puente que se ubica sobre el río Purires, en la carretera Interamericana Sur, antes de San Isidro de Tejar. El equipo de trabajo está constituido por un grupo multidisciplinario de profesionales en construcción, electrónica, forestal y matemática, además de estudiantes de construcción, electrónica, forestal y computación.

costarricense que hace difícil la toma de decisiones de carácter técnico.

#### Futuro del proyecto

La etapa inicial de este proyecto, como se mencionó anteriormente, cuenta con dos años para establecer una metodología de referencia que permita posteriormente aplicarse a otras estructuras de puentes para predecir su comportamiento.

Como toda herramienta basada en probabilidades de ocurrencia, requiere de su aplicación y verificación; por ello, este proyecto se visualiza como una primera etapa, que abra las puertas para la generación de un programa nacional de monitoreo de la vida útil de las estructuras de puentes, el cual cuente con apoyo de las universidades, el MOPT y el CONAVI, la empresa privada y ojalá actores internacionales con experiencia en el tema.

#### Bibliografía

Ramírez, María. Ministerio de Obras Públicas y Transportes: Departamento de Puentes. (2011). Resumen para el Seminario de Estructuras de Puentes, realizado en el TEC. Costa Rica.  
Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2007). Manual de Inspección de Puentes. Costa Rica.

(\*) Giannina Ortiz Quesada es investigadora de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Tiene una maestría en ciencias de la computación del TEC y se ha especializado en el uso e implementación de tecnologías novedosas en la construcción. ■