

# Integrando Información Estratégica para Monitoreo de Puentes Nacionales

Cesar Garita  
*Escuela de Ingeniería en Computación*  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica*  
Cartago, Costa Rica  
cesar@itcr.ac.cr

Giannina Ortiz  
*Escuela de Ingeniería en Construcción*  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica*  
Cartago, Costa Rica  
gortiz@itcr.ac.cr

**Resumen**—En Costa Rica, la infraestructura vial representa una de las debilidades más grandes en términos de desarrollo socio-económico del país. En este contexto, los puentes son estructuras fundamentales de la infraestructura vial. Para apoyar la toma de decisiones gubernamentales en este sector, es necesario en particular contar con información detallada sobre los puentes nacionales y su condición. Este artículo presenta el enfoque general y algunos resultados preliminares del proyecto de investigación e-Bridge 3.0, que busca desarrollar un prototipo de un Sistema de Monitoreo de Puentes aplicando herramientas de inteligencia de negocios para integrar información estratégica.

**Palabras clave**—Puentes, monitoreo de salud de estructuras, inteligencia de negocios, integración de información.

## I. INTRODUCCIÓN

La condición de la infraestructura de vías de tránsito vehicular y en particular de los puentes, es una gran debilidad socio-económica de nuestro país. De hecho, la infraestructura vial es una de las 3 debilidades más fuertes que el país viene arrastrando desde hace más de 10 años [1]. Por otro lado, esta infraestructura es de gran importancia para la economía nacional, debido a que constituye uno de los medios para promover actividades económicas clave [2].

En el caso de infraestructura de puentes nacionales, según evaluaciones realizadas por el grupo de investigación de e-Bridge del TEC, un porcentaje significativo de los puentes analizados presenta una condición regular o crítica en cuanto a partes de su estructura.

En este contexto, en un país en desarrollo como Costa Rica, la priorización de los proyectos de infraestructura vial es esencial para las instituciones de gobierno correspondientes. Sin embargo, para poder priorizar las inversiones de recursos, antes es necesario conocer de forma precisa la condición de vías y puentes.

El proyecto e-Bridge 3.0 propone el diseño de un prototipo de un sistema de monitoreo de estructuras de puentes que permita integrar la información de las estructuras existentes y su caracterización, para una mejor toma de decisiones. Con la información generada por este sistema de monitoreo se podrá tener de forma integrada la información necesaria para la generación de planes de mantenimiento e intervención de la infraestructura de puentes y de esta manera optimizar los recursos disponibles para tal fin a nivel nacional.

Este artículo presenta el enfoque general seguido en el proyecto e-Bridge 3.0 así como algunos resultados preliminares relacionados con la aplicación de técnicas de inteligencia de negocios para apoyo a la toma de decisiones en el área de monitoreo de salud de puentes en Costa Rica.

## II. METODOLOGÍA

e-Bridge 3.0 es la tercera etapa de un proyecto macro denominado e-Bridge, cuyo fin último es generar herramientas que permitan la predicción de fallas en puentes y de esta forma poder planificar el mantenimiento requerido a lo largo de su vida útil. El proyecto es inherentemente multidisciplinario y cuenta con la participación de científicos, ingenieros y estudiantes de disciplinas tales como: construcción, computación, electrónica, producción industrial, forestal y ciencias de materiales. Etapas anteriores se han enfocado en desarrollo de capacidades de investigación y en protocolos para integración de información generada por sistemas heterogéneos para monitoreo de puentes [3, 4]. Con base en esta experiencia y la hoja de ruta trazada inicialmente y validada a través de las etapas anteriores, es que se plantea una tercera fase de este proyecto, cuyo objetivo es la conformación de un sistema de monitoreo de puentes, que permita a través de la integración de información, apoyar la evaluación periódica y el monitoreo de estructuras así como la toma de decisiones oportunas basadas en información estratégica [5].

### A. Estructura general del sistema

En la Fig. 1 se muestra la propuesta inicial del sistema de monitoreo de puentes. Básicamente, como se muestra en la figura, el sistema tomará la información de las siguientes fuentes:

- Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).
- Evaluaciones técnicas detalladas llevadas a cabo por el equipo de e-Bridge como parte de un contrato con el Consejo Nacional de Seguridad Vial (CONAVI).
- Datos de confiabilidad estructural obtenidos a través de pruebas de carga para evaluar el desempeño real del puente con respecto a modelos teóricos que sugieren cómo debería comportarse (ver [6]).



Fig. 1. Estructura general del Sistema de Monitoreo de Puentes.

- Sistemas de sensores de monitoreo electrónico, entre los que se pueden mencionar sensores de fibra óptica que monitorean variables como aceleración, deformación, deflexión, temperatura (ver [7]).
- Instituciones interesadas que estén dispuestas a colaborar con el proyecto tales como municipalidades y proveedores de información geográfica (e.g. Atlas Digital de Costa Rica).

Con base en estos datos, la información de apoyo a la toma de decisiones que se planea generar el sistema incluye: lista de priorización para intervenciones, generación de curvas de vida útil e intervenciones, planes de mantenimiento, índices o indicadores de riesgo, desempeño o deterioro, entre otros.

La información generada será de gran utilidad para el CONAVI, el MOPT y Municipalidades, ya que colabora con uno de los mayores problemas que presenta el desarrollo de puentes en cuanto a planificación y gestión.

### B. Aplicación de técnicas de inteligencia de negocios

En e-Bridge 3.0, se pretende apoyar la integración de información que requiere el Sistema de Monitoreo de Puentes con la aplicación de técnicas de inteligencia de negocio tales como paneles de indicadores de rendimiento clave asociados a variables estructurales de puentes. La idea es poder diseñar modelos y protocolos computacionales que permitan contar con paneles de control de indicadores estratégicos asociados al rendimiento global de puentes en el país. La aplicación de técnicas computacionales inteligencia de negocios, es uno de los aspectos innovadores que aportaría esta investigación en el contexto de revisiones de trabajos relacionados que se han realizado [8], [9], [10].

Con el objetivo de aplicar estas técnicas en e-Bridge, se siguieron los siguientes pasos principales:

#### 1) Evaluación y selección de herramientas de inteligencia de negocios

Para evaluar y seleccionar las herramientas que se utilizarían en e-Bridge, se realizaron estas acciones:

- Revisión bibliográfica sobre herramientas de inteligencia de negocios. Se consultaron muchas fuentes que a su vez hacían evaluaciones de herramientas relacionadas y se analizó la forma en que realizaron la evaluación.
- Definición de criterios de evaluación. Con base en la información que se recopiló en las fuentes revisadas, se identificaron muchos criterios importantes. Se seleccionó un conjunto de criterios a utilizar y se agruparon en áreas para facilitar análisis.
- Selección de herramientas a evaluar. A partir de la revisión bibliográfica se identificó una serie de herramientas de inteligencia de negocios que son candidatas a cumplir con la mayoría de los criterios explicados anteriormente.
- Comparación de herramientas. Una vez que se definieron los criterios y herramientas que se van a comparar, se procede a evaluar las herramientas mediante una tabla comparativa. En la evaluación se ponen en evidencia fortalezas y debilidades de las herramientas. A partir del análisis de estos resultados se obtuvo un ranking de las herramientas.

En resumen, las herramientas seleccionadas para aplicación en e-Bridge fueron: Pentaho y PowerBI. En las siguientes subsecciones se describen las tareas realizadas con Pentaho.

#### 2) Definición del modelo de datos

La información disponible fue estructurada en modelos relacional y dimensional.

El modelo relacional es basado en fuentes como archivos Excel y la base de datos del SAEP. Con base en estos datos se hizo un modelo que puede integrar los datos generados y documentados en el proyecto e integrarlos con una base de datos transaccional.

El modelo dimensional responde a las consultas de los usuarios finales de e-Bridge integrando información de la base de datos transaccional. El modelo se definió siguiendo un esquema de estrella. Este modelo está compuesto de dimensiones que tienen los atributos o medidas que se consideran importantes para el negocio.

#### 3) Limpieza de datos

La meta de este punto es establecer y aplicar un formato estándar para tratar los datos provistos para el proyecto eBridge 3.0, con el fin de agilizar el proceso para iniciar el modelo relacional a trabajar durante la fase de creación del repositorio y posteriores transformaciones para la generación de reportes sobre dichos datos. Esta tarea requirió p.ej. uniformar la forma en que se identifican y denominaban los puentes, uso de tildes y mayúsculas, abreviaturas, etc.

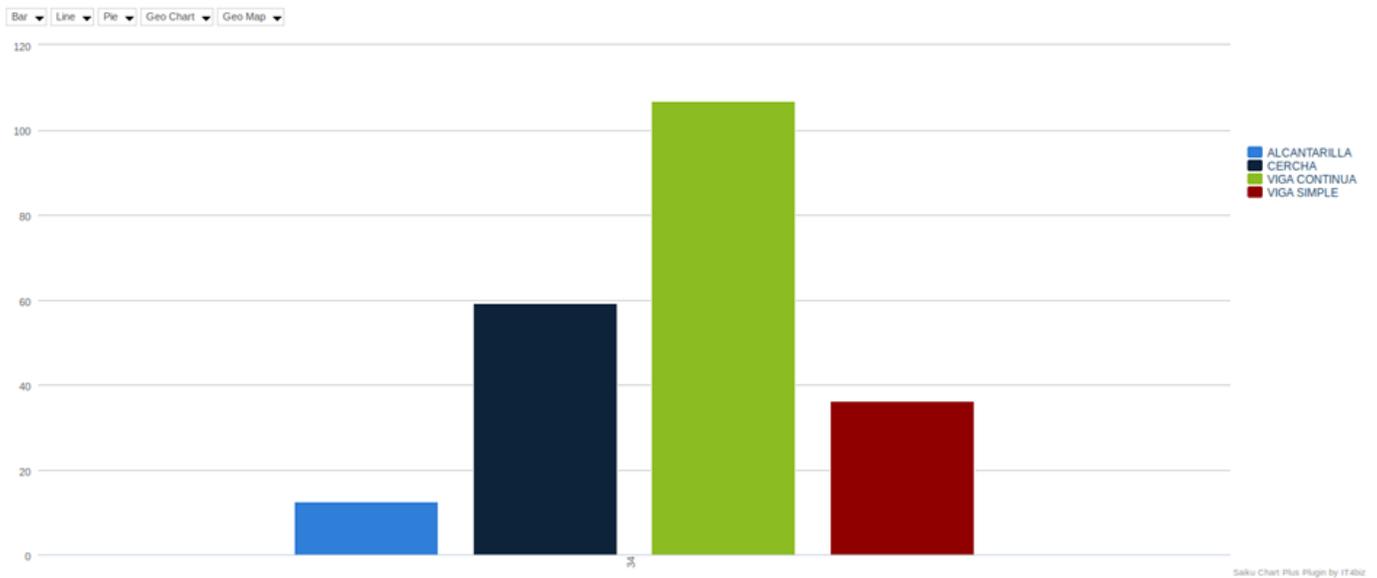


Fig. 2. Consulta sobre longitud promedio por tipo de estructura.

#### 4) Proceso de ETL

ETL (Extraer, Transformar y Cargar, por sus siglas en inglés), es el proceso que orquesta el flujo de los datos entre diferentes sistemas en una organización; provee las herramientas necesarias para formatear, limpiar y cargar datos de diferentes fuentes. Para la realización de este proceso, se utilizó la herramienta de Pentaho Data Integration llamada Spoon-Kettle. Las transformaciones realizadas incluyen la carga de datos de archivo Excel a modelo relacional y luego la carga de datos al modelo dimensional.

Luego de este paso, se puede proceder con la creación de un cubo para análisis de información que permite generar los reportes y visualizaciones requeridos. Para esto se usó la herramienta Saiku Analytics.

### III. RESULTADOS

En esta sección se describen los principales resultados obtenidos con respecto a análisis y visualización de información. Para el análisis de información se identificaron

consultas importantes para los ingenieros tales como:

- ¿Cuál es la longitud promedio por provincia y tipo de estructura?
- ¿Cuál es la longitud promedio por provincia y tipo de estructura en la ruta 34?
- ¿Cuál es la longitud promedio por provincia y superestructura?
- ¿Cuál es la cantidad de puentes por ruta?
- ¿Cuál es la cantidad de puentes por provincia?
- ¿Cuál es la cantidad de puentes por tipo de estructura en cada provincia?

Cada consulta se resolvió a través de un panel que permite al usuario manipular datos asociados a las dimensiones y medidas del cubo. En la Fig.2 y Fig. 3 se incluyen algunos ejemplos ilustrativos de las visualizaciones obtenidas del análisis de datos. Actualmente se cuenta con datos de más de 400 puentes de rutas nacionales en todo el país.

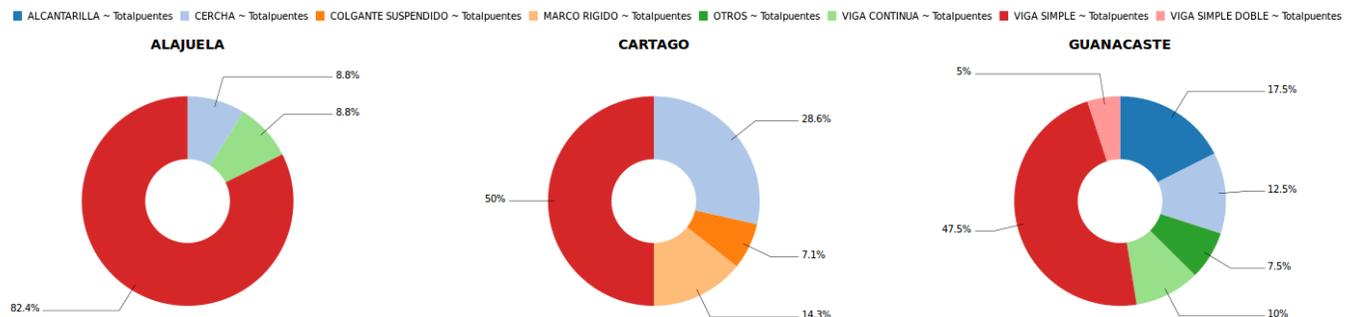


Fig. 3. Consulta sobre porcentaje/total de tipo de puente según estructura por provincias.

#### IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El proyecto e-Bridge 3.0 ha sido posible gracias a una fuerte colaboración multidisciplinaria a largo plazo en áreas relacionadas con monitoreo de salud de estructuras incluyendo construcción, computación, electrónica y producción industrial.

El prototipo del sistema de monitoreo con indicadores estratégicos propios para el contexto nacional apoyará la toma de decisiones en un sector crucial para el desarrollo socio-económico del país.

El uso de técnicas y sistemas de inteligencia de negocios p.ej. Pentaho, PowerBI, en el área específica de monitoreo de salud de puentes representa un elemento diferenciador con respecto a otros proyectos e iniciativas internacionales. Además, los indicadores y paneles diseñados permitirán apoyar mejor las actividades relacionadas con planeación y mantenimiento de infraestructura de puentes que realizan entidades gubernamentales y municipales en el país.

Por otro lado, el uso de una herramienta de inteligencia de negocios es útil para entregar información de manera rápida y eficaz relacionada con consultas sobre puentes que tradicionalmente a los ingenieros les toma mucho tiempo resolver mediante otros medios. También se facilita el proceso de realizar consultas repetitivas y detalladas mediante la manipulación de filtros, parámetros y otras funcionalidades.

La utilización de visualizaciones gráficas de los datos ayuda al usuario a comprender mejor la naturaleza de la consulta, además el diseño de visualizaciones más dinámicas que se pueden manipular, puede potenciar la entrega y comprensión de información a los observadores.

El trabajo futuro a corto y mediano plazo en e-Bridge incluye seguir extendiendo la base de datos con información de más puentes, más variables técnicas y más consultas y paneles que contribuyan a un mejor entendimiento de la condición de los puentes nacionales y su importancia para la red vial. También se está desarrollando una propuesta de un proyecto de extensión en el que se busca colaborar con una municipalidad local para validar los indicadores y su utilización real por parte de encargados de mantenimiento de puentes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los miembros del equipo de e-Bridge por sus valiosas contribuciones a este trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] G. González. (2015, 1 de Marzo 2015) La burocracia, infraestructura y acceso a financiamiento son tareas pendientes para Costa Rica desde hace 11 años. *El Financiero*.
- [2] MIDEPLAN, "Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018," Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Noviembre 2014 2014.
- [3] G. Ortiz and C. Garita, "The e-Bridge 2.0 Approach for SHM of Bridges in Costa Rica," in *Structural Health Monitoring 2015 - System Reliability for Verification and Implementation, Proceedings of the Tenth International Workshop on Structural Health Monitoring, University of Stanford, September 1-3, 2015*. vol. 1, F.-K. Chang and F. Kopsaftopoulos, Eds., ed Pennsylvania, USA: DEStech Publications, Inc., 2015.
- [4] C. Garita and G. Ortiz, "Towards a Workflow Management Approach for Health Monitoring of Bridges," in *Collaborative Systems for Smart Networked Environments: 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, October 6-8, 2014, Proceedings*. vol. 434, L. M. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh, Eds., ed Berlin Heidelberg: Springer, 2014, pp. 489-497.
- [5] C. Garita and G. Ortiz, "e-Bridge 3.0: A Strategic Approach to Structural Health Monitoring of Bridges in Costa Rica," presented at the 6th IFIP World Information Technology Forum, WITFOR 2016, San Jose, Costa Rica, 2016.
- [6] F. Picado and G. Ortiz, "Desarrollo de un modelo de confiabilidad para el análisis del desempeño de puentes. Un caso de estudio en Costa Rica," *Tecnología en Marcha*, vol. 30, Enero-Marzo 2017.
- [7] F. Navarro-Henríquez, "Sensores de fibra óptica FBG para el monitoreo de la salud estructural de los puentes," *Tecnología en Marcha*, vol. 27, 2014.
- [8] C. Garita, "Enfoques de Integración de Información para Sistemas de Monitoreo de Salud Estructural de Puentes," *Tecnología en Marcha*, vol. 29, Enero-Marzo 2016.
- [9] H. Wenzel, P. Furtner, and R. Clifton, "The Role of Structural Health Monitoring in the Life-Cycle-Management of Bridges," presented at the 8th International Cable Supported Bridge Operators Conference - ICSBOC 2013, Edinburgh, Scotland, 2013.
- [10] C. Farrar and K. Worden, *Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective*: Wiley, 2012.