

Propuesta de Sistema de alerta de infraestructura vial frente al Cambio Climático. Aplicación Ruta G-98-F, Región Valparaíso

Matias A. Valenzuela¹, Paola Moraga¹, Hernan Pinto¹, Lorena Jorquera¹, Marcelo Marquez²

¹ Pontificia Universidad Católica de Valparaíso / Escuela Ingeniería en Construcción / matias.valenzuela@pucv.cl

² Ministerio de Obras Públicas / Departamento de Puentes / marcelo.marquez@mop.gov.cl

Resumen

El impacto del cambio climático será considerable para los países como Chile que cumple con 7 de los 9 índices de vulnerabilidad. Ante este panorama resulta evidente que se necesitarán acciones planificadas de adaptación para enfrentar el cambio del clima y los eventos climáticos extremos. Los proyectos en convenio realizados por la PUCV y el MOP se han focalizado en la adquisición de data (monitoreo sísmico) y al estudio de las patologías de las estructuras con el desarrollo de metodologías de inspección visual y con ensayos no destructivos utilizando la metodología manual GRDR (Gestión Riesgo Desastre Regional), permitiendo evaluar parámetros medibles de vulnerabilidad y amenaza, desarrollando fichas y Protocolos, manuales de inspección y desarrollando propuestas de algoritmos de optimización. El presente trabajo entrega la primera propuesta de un modelo de gestión de daño de estructuras y su aplicación en fichas de inspección que relaciona la vulnerabilidad de la infraestructura y la amenazas existentes y potenciales como consecuencia de los efectos del cambio climático, considerando para ello al menos cinco modos de desempeño, a saber: flexión, corte, axial, torsión, estabilidad y funcionalidad. Para ello se ejemplifica en el puente Seminario, ruta G-98-F, ubicado en la región de Valparaíso, correspondiente a una estructura de tablero de viga con losa colaborante, 3 cepas/pilas de hormigón armado y presencia de importantes procesos de erosión y socavación.



Figura 1 – Puente Seminario.

Palabras clave

Infraestructura vial, cambio climático, vulnerabilidad, amenaza, puentes, túneles.



Introducción

Actualmente la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) y el Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP) han comenzado un proyecto relativo a la gestión de activos de infraestructura vial, con el objetivo de desarrollar un sistema de alerta y monitoreo de infraestructura de conectividad fija resiliente para la adaptación al cambio climático. Lo anterior, a partir de la integración de un algoritmo dinámico con los actuales sistemas de gestión de infraestructura del MOP, obteniendo el índice de riesgo, a partir de relacionar la vulnerabilidad con las potenciales amenazas, lo que permitirá a la autoridad generar medidas de mitigación y/o prevención de manera oportuna.

Desafíos del análisis de amenazas

En la actualidad, los estudios realizados a nivel mundial acerca de los efectos futuros que tendrá el cambio climático sobre diversos territorios, ha determinado que Chile es y será uno de los territorios que se verá mayormente afectado (Ministerio de Medio Ambiente. 2017). La infraestructura de conectividad fija no es la excepción, lo que hasta el día de hoy ha generado diversos impactos en nuestro país, respecto del impacto presupuestario en el que ha debido incurrir el país, y en especial el Ministerio de Obras Públicas como consecuencia de estos eventos no es menor, a modo de ejemplo entre los años 2008 y 2016, para hacer frente a emergencias producidas por eventos naturales considerando tanto la atención de la emergencia y la reconstrucción se ha traducido en costos totales de 861 mil millones de pesos chilenos

Puntualmente en el año 2016 significó un 16,5% del presupuesto de la dirección de vialidad, así como el 10,3% del presupuesto total del Ministerio de Obras Públicas. Esta situación que ha vivido el país, se traduce en que el Ministerio encargado de mantener y operar la infraestructura del país, ha debido re-agendar y reformular su ejercicio presupuestario para ir en respuesta de la emergencia lo que implica dejar de hacer o retrasar el desarrollo de nuevos proyectos. A partir de lo anterior, es necesario incorporar los efectos asociados a las posibles amenazas desde un punto que nos permita gestionar nuestro patrimonio vial de la mejor forma posible y así llevar a cabo obras y planes de mitigación y adaptación de esta infraestructura frente a los efectos del cambio climático. Debido a la geografía de nuestro país la red vial de conectividad se vuelve crítica tanto desde un punto de vista comercial, de defensa y de desarrollo social y humano ya que la interrupción de esta red implica el potencial aislamiento de comunidades, lo que se traduce en pérdidas económicas, comerciales, de desarrollo y potencialmente situaciones de crisis social y/o sanitarias. Actualmente el país, posee alrededor de 7000 puentes, los que conectan distintas carreteras permitiendo la continuidad del sistema vial, la interrupción de alguna de estas estructuras resulta crítica para la red vial y generaría una serie de efectos y alteraciones complejas tanto en los sistemas humanos, sociales, comerciales, económicos, de defensa y estratégicos para el país (Marquez et al. 2018).

Ante este panorama resulta evidente que se necesitan acciones planificadas de adaptación para enfrentar el cambio del clima y los eventos climáticos extremos, de manera de preservar los sistemas humanos y naturales. La región se enfrenta a importantes desafíos en términos de sostenibilidad ambiental y capacidad de adaptación debido a las características socio-económicas y agravadas por un déficit significativo en el desarrollo de infraestructura. Frente a este escenario, actualmente, el esfuerzo en gestión ha sido focalizado en las actividades de emergencia, sin embargo, no ha habido dentro de los programas de las entidades públicas programas de prevención automatizadas que permitan reducir o mitigar los costos humanos y económicos asociados a los efectos de amenaza en la infraestructura vulnerable en particular de conectividad fija teniendo distintos grados de madurez las soluciones que se han abordado al respecto.



Los proyectos en convenio realizados por la PUCV y el MOP se han focalizado en la adquisición de data mediante monitoreo sísmico (Fingerhuth et al, 2018) y al estudio de las patologías de las estructuras con el desarrollo de metodologías de inspección visual y con ensayos no destructivos utilizando la metodología manual GRDR (Gestión Riesgo Desastre Regional), permitiendo evaluar parámetros medibles de vulnerabilidad y amenaza (Valenzuela et al, 2018a), desarrollando fichas y Protocolos, manuales de inspección y desarrollando propuestas de algoritmos de optimización para algunas variables sin embargo la gestión preventiva de vulnerabilidad y amenaza de la infraestructura de transporte nacional, a la fecha no está sistematizada en una sola herramienta, ni integrada ni normalizada en cada una de las Direcciones del MOP, a partir de lo que es imposible conocer o analizar el efecto sobre la infraestructura para generar la respuesta preventiva necesaria.

Dentro de la misión de la Dirección de Vialidad del MOP es dotar de una infraestructura vial para mejorar la conectividad interna del territorio chileno mediante el estudio, proyección, construcción, mejoramiento, reparación, conservación y señalización. Por esta razón es relevante entregar una infraestructura de conectividad de alta calidad asegurando su estado de conservación frente a distintas amenazas existentes como potenciales. Por lo que frente a los escenarios de eventos naturales desastrosos y posibles impactos negativos del fenómeno de cambio climático se deben generar las estrategias y herramientas necesarias que permitan adaptar la infraestructura a estas nuevas condiciones incorporando una integración de la información existente en cuanto a catastro de vulnerabilidad de la infraestructura, así como también permita incluir de manera automatizada las nuevas amenazas derivadas de escenarios, de forma de reducir los tiempos de actuación y que además se pueda tener una herramienta de carácter predictivo ante futuros proyectos de vialidad. La siguiente propuesta permite planificar con la adecuada antelación la ejecución presupuestaria de obras de mitigación o de adecuación de la infraestructura que permita enfrentar los distintos escenarios de cambio climático asegurado mantener la conectividad de la red vial.

Metodología de Gestión de Riesgo de Desastre Regional (GRDR)

Descripción de la metodología.

La metodología nace del Consejo Sudamericano de Infraestructura y Planeamiento (COSIPLAN) parte de UNASUR (COSIPLAN, 2016). El propósito es estandarizar la metodología en Sudamérica para optimizar la inversión, siendo una herramienta preventiva y mejorando el plan de mantenimiento actual.:

La metodología consiste en la utilización de fichas técnicas para las inspecciones estructurales (carreteras, puertos, puentes, etc.) con el fin de identificar el índice de daños, el índice de vulnerabilidad (localización de daños) y las recomendaciones de actuación. Esta se divide en dos etapas:

- Etapa A: Evaluación de riesgos.
- Etapa B: Medidas de mitigación.

La etapa A incluye cuatro fases

Las dos primeras (1 y 2) indican Nivel de servicio (patologías de materiales y estructuras) y las dos siguientes Nivel de amenaza 3 y 4 (eventos individuales y combinados, respectivamente). A continuación, se describen en detalle cada una:

- Fase 1: Identificación del elemento con patologías materiales bajo cargas de servicio (índice de daños).



- Fase 2: Análisis patológico sobre el concepto de la estructura global bajo cargas de servicio (conceptos de vulnerabilidad - redundancia) y análisis de los efectos de la ubicación del daño en la estructura.
- Fase 3: El resultado de la fase 2 es analizado por un evento extremo a la vez.
- Fase 4: Se analiza la estructura sobre combinaciones extremas de fuerzas (terremoto y tsunami).

En esta metodología incluye el concepto de descentralización en la recopilación de información con la participación de entidades técnicas comunales, detección temprana de patologías y formación de profesionales locales. (Romo, R. 2017). De esta manera, se usan presupuestos reducidos para la generación de alertas tempranas, identificación y actualización de los daños a las estructuras. Además, incluye el concepto de gestión local y regional de la infraestructura hasta que la vulnerabilidad o la amenaza alcanzan un umbral que los expertos o profesionales altamente calificados en cada campo predefinen.

Este presupuesto reducido de la localidad se utilizará para mantenimiento y análisis de amenaza. La gestión local se define hasta que se produce una determinada alarma, conforme a nivel de vulnerabilidad y amenaza.

Estado Actual de GRDR en Chile

En la actualidad el equipo técnico conformado por PUCV – MOP, han estado trabajando conjuntamente, siendo una de las líneas de desarrollo la adquisición de datos y estudio de patologías de estructuras, a partir de metodologías de inspección visual y con ensayos no destructivos utilizando la metodología manual GRDR en especial lo relacionado con:

- Parámetros medibles de vulnerabilidad y amenaza.
- Fichas, protocolos y manuales de inspección.
- Propuesta de algoritmos de optimización de variables.
- Catastro e inventario de estructuras.

En los trabajos previos se ha abordado lo referente a la vulnerabilidad de la estructura, lo que forma parte fundamental de esta propuesta (Valenzuela et al, 2018b), que se enfocará en el ámbito de las amenazas para así complementar el modelo previamente propuesto, transformando el algoritmo en una herramienta dinámica que utiliza como datos los análisis de vulnerabilidad y amenaza en el tiempo de forma tal de evaluar el efecto del cambio climático en las estructuras de conectividad fija.

En particular, en el presente trabajo se ha realizado un detallado análisis de las distintas patologías que afectan a la estructura incorporándolas en cada una de los modos de falla a los que afecta. A partir de este análisis se ha propuesto una tabla detallada en la que se presentan los distintos modos de fallas y las patologías que afectan a cada uno de éstos.

Como ejemplo se puede indicar que, para el caso de elementos tipo losa, las patologías tendrán una incidencia directa sobre los modos de falla por flexión, y en algunos casos a modos de fallo a la estabilidad y serviciabilidad (función del puente), (Figura 2).



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Elemento	Sub Elemento	Patología	FLEXION	P.F	AXIAL	P.A	CORTE	P.C	TORSION	P.T	ESTABILIDAD	P.E	SERVICIABILIDAD	P.S
Tablero tipo Viga	Losas	Corrosión barras de refuerzo	x											
		Deformación	x											x
		Desconchón con armadura vista	x											
		Desconchón sin armadura a la vista	x											
		Desplazamiento										x		
		Eflorescencias	x											
		Falta de alineación										x		
		Fisuras	x											
		Fisuras en red	x											
		Grietas mayores a 5 mm	x											
		Humedades, filtraciones	x											x
		Lajacion	x											x
		Nido de grava	x											
		Perdida de material en juntas o uniones	x											
		Perdida de pieza	x											x
		Piezas sueltas	x											x
		Presencia de agua	x											
		Presencia de material	x											x
Rotura	x													

Figura 2: incidencia de las patologías sobre los modos de falla en subelemento losa

El resultado del estudio y análisis experto, entrega para puentes tradicionales chilenos un total de 307 modos de fallo por estabilidad y 162 modos de fallo a flexión, siendo los más relevantes. Cabe indicar que estos modos están relacionados con la estructura en general, incluido obras anexas (Figura 4).

	FLEXION	P.F	AXIAL	P.A	CORTE	P.C	TORSION	P.T	ESTABILIDAD	P.E	SERVICIABILIDAD	P.S
Numero de Variables por modo de Falla	162		50		124		42		307		98	

Figura 4: Tipo y números de Modos de fallo

Fichas de amenazas existentes en la actualidad.

Para una correcta Gestión de Infraestructura frente a riesgos de desastres, es importante disponer de diversas herramientas técnicas y administrativas, las cuales tienen como objetivo complementar la toma de decisiones por parte de las entidades encargadas de la aplicación de la metodología G.R.D.R (Romo, R. 2017).

Toda acción para reducir los efectos de los diferentes tipos de amenazas requiere de un entendimiento y análisis del estado actual en un momento determinado, el cual se lleva a cabo por medio de la inspección por un profesional experto del área. Esta se fundamenta en la revisión periódica de una estructura, sus elementos y el contexto de emplazamiento de esta.

Las fichas existentes utilizadas por el Ministerio de Obras Públicas para el control y análisis de amenazas de origen volcánico, incendios forestales, sismos, deslizamientos e inundaciones, consideran variables en común para cada tipo de ficha. Estas variables permiten caracterizar al profesional de la inspección y la ubicación de la estructura a analizar, además de una retroalimentación de cada inspector a cargo en relación a los análisis efectuados en terreno.

Un ejemplo de estas fichas se presenta a continuación relacionado con la amenaza de sismo. En este caso, la ficha se divide en categorías, parámetros y criterios de medición, los cuales son utilizados para la aplicación del algoritmo propuesto (Figura 5).



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

FORMULARIO DE AMENAZA SISMICA																	
CARACTERISTICAS DE LA ZONA ESTUDIADA																	
EVALUACIÓN DE LA AMENAZA																	
CATEGORÍA	PARÁMETRO	CRITERIO DE MEDICIÓN	INDICE ASOCIADO	DESCRIPCIÓN	INDICE OBTENIDO												
Grado de exposición según emplazamiento de la estructura (zonificación)	Zonificación sísmica	No aplica	0	Nula exposición													
		Zona 1	1	Baja exposición													
		Zona 2	2	Media exposición													
		Zona 3	3	Alta exposición													
	Cercanía a fallas geológicas	A más de 5 km de la falla	0	Nula exposición													
		A menos de 5 km y a más de 1 km de la falla	1	Baja exposición													
		A menos de 1 km y a más de 300 m de la falla	2	Media exposición													
		A menos de 300 m de la falla	3	Alta exposición													
Efecto de sitio en las características del movimiento sísmico	Clasificación sísmica del suelo	Suelo tipo A: Basamento rocoso	0	Nula exposición													
		Suelo tipo B: Suelo rocoso fracturado y granular (gravas)	1	Baja exposición													
		Suelos tipo C o D: Suelo arenoso o fino, firme o medianamente firme	2	Media exposición													
		Suelos tipo E o F: Suelos blandos y especiales	3	Alta exposición													
	Amplificación topográfica (AT)	No aplica	0	Nula exposición													
		AT entre 0 y 0,5	1	Baja exposición													
		AT entre 0,5 y 1	2	Media exposición													
		AT mayor que 1	3	Alta exposición													
	PUNTAJE TOTAL OTORGADO A LA AMENAZA DE EVENTO SISMICO SEGÚN GRDR																
	<i>Nota: La amplificación topográfica se calcula utilizando: $AT = 1 + 0.8 (i - 0.4)$. Donde i e i son las pendientes del talud inferior y superior del terreno respectivamente.</i>																
El índice de amenaza debe ser determinado en relación a la siguiente tabla																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Índice</th> <th>Factor</th> <th>Evaluación de exposición</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alta exposición</td> <td>2 - 3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Media exposición</td> <td>1 - 2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Baja exposición</td> <td>0 - 1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Índice	Factor	Evaluación de exposición	Alta exposición	2 - 3		Media exposición	1 - 2		Baja exposición	0 - 1	
Índice	Factor	Evaluación de exposición															
Alta exposición	2 - 3																
Media exposición	1 - 2																
Baja exposición	0 - 1																

Figura 5: Ficha o formulario de amenaza sísmica

Algoritmo

La solución propuesta en este proyecto, se diferencia de las alternativas existentes a la fecha de uso mediante optimización dinámica hiperheurístico (Valenzuela et al 2018c). En particular, se utilizarán optimizaciones mediante redes neuronales, al ir incorporando nueva información de cada inspección realizada a cada puente, permitiendo ir actualizando en tiempo real el estado de la infraestructura, generando y entregando el índice de riesgo de la condición actual, para luego proporcionar un índice de cambio climático según registro histórico.

La novedad y diferenciación se basa en la adaptabilidad de los índices, pues el modelo tiene como principio básico la modificación de los factores de influencia para la determinación de los índices a medida que se incorpora nueva data (inspecciones rutinarias del Ministerio de Obras Públicas para la vulnerabilidad de las estructuras junto a las amenazas), lo cual permite, mediante este algoritmo dinámico, robustecer la solución entregada y adaptarla a cada una de las regiones del país (personalizada), toda vez que cada zona o región presentará factores de daño y amenaza distintos en el tiempo (ej. El norte aludes, en el sur volcánicos) los cuales modificarán los ponderadores del algoritmo generando un índice específico por región.

El algoritmo modifica los ponderadores de peso tanto de los índices de vulnerabilidad como de amenaza, permitiendo ajustar los resultados de forma automatizada, lo que permitirá ir avanzando en el tiempo hacia la simulación de los efectos en la infraestructura frente a diversos escenarios de cambio climático, a partir del estado actual de ésta.

Caso de estudio Puente Seminario

El Puente Seminario está ubicado en la ruta costera Algarrobo - San Antonio, en El Quisco, Región de Valparaíso. En planta, el puente es rectilíneo y posee 4 vanos, siendo 2 vanos internos de 22,5m y 2 vanos externos de 18m, totalizando una longitud de 81m, y 10,2m de ancho. (Figura 6)

La superestructura del puente está formada por una losa de hormigón armado con espesor de 23 cm apoyada en dos vigas metálicas tipo I con altura de 1,53 m, (Figura 6). La losa fue ejecutada utilizando paneles de losa prefabricada y precomprimida con espesores de 13 cm, apoyados en los bordes de las vigas metálicas, para servir como formas para moldear el resto de la losa. Las vigas metálicas tienen altura constante, y alas con ancho (entre 250mm y 400mm) y espesor variable (entre 12mm y 30mm). La conexión entre las vigas metálicas y la losa de hormigón se realiza por medio de conectores metálicos circulares. A lo largo de la longitud del puente, las vigas metálicas son arriostradas por las vigas metálicas compuestas por perfiles de doble cantonera.

Las cepas del puente tienen sección circular y son de hormigón armado, siendo las columnas de 1,4m de diámetro, apoyados en zapatas de fundación con 2,6m de diámetro y 1,2 m de altura. La transferencia de la carga de la superestructura a la infraestructura se realiza por medio de placas metálicas, plomadas directamente en la parte superior de las cepas.



Figura 6: Puente seminario Vista lateral y vista inferior con detalle de elementos



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Procedimientos

Para la definición de la línea base de daño de los puentes y conforme al método integral, se estableció como procedimiento la visita técnica y análisis de datos del puente contemplando dos actividades principales:

- Inspección Visual
- Inspección con drones

La inspección visual tiene como actividades el recorrido de los inspectores por la superestructura e infraestructura, con el objeto de determinar posibles daños en elementos estructurales y no estructurales. Una vez realizada esta actividad se complementa con el vuelo de drones obteniendo imágenes de alta resolución que permiten clasificar la carpeta de rodado, específicamente identificando reparaciones o daños en ella. Adicionalmente, se realizan vuelos conforme al protocolo de la superestructura e infraestructura (Marquez et al. 2018). Se entrega en la tabla siguiente los resultados (Figura 7) de la inspección visual con todas las patologías observadas en la inspección visual realizada, siguiendo la clasificación de daño del MOP y los niveles de severidad.

Elemento	Ubicación	Patología	Nivel de severidad	Nivel de daño MOP
Señalización Horizontal	Calzada	Falta de demarcación	Moderado	3
	Calzada	Perdida de tachas	Leve	2
Pasillos	Ambos pasillos	Perdida de material	Moderado	3
Barreras metálicas	Ambos costados	Apoyo nivelador pilares	Moderado	3
Pavimento	Acceso norte	Agrietamiento en acceso	Moderado	3
	Toda la calzada	Agrietamiento general	Severo	4
Juntas de dilatación	Junta acceso norte	Falta de cubierta	Leve	2
	Junta acceso sur	Falta de junta	Severo	4
	Junta en pasillos	Falta de juntas	Moderado	3
Arriostramientos transversales	General	Corrosion	Severo	4
Columna cepa	Cepa sur columna oriente	Perdida de material	Leve	2
Losa	General	Agrietamiento	Moderado	3
	Bordes de losa	Armadura a la vista y corrosion	leve	2
Vigas	Zona superior general	Corrosion	Severo	4
	Atiesadores	Pandeo	Moderado	3
Placas de apoyo de vigas	General	Corrosion	Critico	5
Muro frontal	Muro lateral	Rotura de muro	Critico	5
Mesa de apoyo	General	Falta de elementos	Critico	5

Figura 7: inspección visual con las patologías observadas en la inspección visual

Los índices de desempeño son obtenidos por inspección visual, además de en el caso de drone: Señalización horizontal, pasillo, barreras metálicas, pavimento, viga Respecto a Imagen Satelital 10x10 permite obtener características de amenaza respecto a condición de erosión y eventuales socavaciones. Eventualmente, la inclusión del método INSAR permitiría corroborar condiciones de Desplazamiento, local se analizó mediante inspección instrumentada mediante carga dinámica, obteniéndose condición de daño en pavimento, descenso de acceso, y condición dinámica. Respecto al análisis de resultados de inspección Drone: permite una clasificación de la carpeta que presenta daños, con un porcentaje para la resolución definida de 8,54 %. Respecto a la inspección visual se puede comentar que las patologías detectadas tienen como causante principal el deterioro en el tiempo del puente y la falta de mantenimiento preventivo que lleva a presentar el puente en las condiciones que está.

Por otra parte, se observa un manejo inadecuado de las aguas, tanto de lluvia como de encauce del río, lo cual ha generado procesos de erosión y socavación importantes. Esta situación se ve agravada por el deterioro asociados a la falta de junta de expansión en ambos extremos del puente, ya que de manera natural se forma una grieta sobre el muro espaldar, a través de la cual se filtra el agua y genera erosión del material de relleno provocando desniveles en los accesos (Figura 8).



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



Figura 8: Daño en estribo y viga metálica

En términos generales las patologías se concentran en el tablero del puente. Cabe notar que la antigüedad del puente genera la necesidad de una actualización en cuanto a la acción sísmica de este país y las condiciones de tránsito de la actualidad, toda vez que se ve sobre-exigido. Además, los elementos metálicos del puente, en ciertas zonas, sufren de corrosión crítica que puede generar pérdidas de material y eventualmente la vulnerabilidad de la estructura.

Caso de estudio amenaza Puente Seminario

Para el estudio de la amenaza en el puente Seminario, se siguieron los protocolos definidos por el GRDR, estableciendo inicialmente una monografía de inspección

A partir de la monografía generada, se logra identificar que existen al menos 4 amenazas de tipo natural que pueden ser inspeccionadas y evaluadas, a saber: incendio forestal, tsunamis (debido a la ubicación cercano a cota de mar del puente), deslizamiento y evento sísmico. La amenaza de erupción volcánica no está contemplada. Para el caso de amenaza sísmica, utilizando la Ficha de inspección se puede detectar que:

Conforme a la categoría: Grado de exposición según emplazamiento, se obtiene un índice de zonificación sísmica de 3, y de cercanía a fallas geológicas de 1. En relación a la categoría de efecto de sitio, el índice de clasificación sísmica de suelo entrega un índice 2 y de amplificación de 1. Lo anterior, en una evaluación preliminar otorga una media exposición del puente.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha propuesto un modelo de gestión de infraestructura a partir del cual es posible determinar el índice de riesgo de la infraestructura frente a las distintas amenazas definidas. Se ha aplicado el modelo de gestión a una estructura en particular para la cual se han definido las amenazas existentes.

Se han definido seis modos de falla de un puente: flexión, axial, corte, torsión, estabilidad y serviciabilidad. Dentro del proceso se ha logrado analizar todas las patologías existentes para un puente (definidas por trabajos previos y TU COST) logrando asignar cada una de las posibles patologías a los distintos métodos de falla, obtenido finalmente un total de 162 patologías que afectan el modo de falla de flexión, 50 asociadas a falla axial, 124 relacionadas con la falla por corte, 42 con torsión, 307 directamente relacionadas a la falla de estabilidad y 98 que afectan la serviciabilidad de la estructura. El resultado del estudio de modo de fallo para el puente Seminario, entrega vulnerabilidad por estabilidad (cárcavas en estribos y socavación), flexión y corte (corrosión en vigas), además de torsión (efectos de baja redundancia del sistema viga-losa).



Finalmente, el modo de fallo de funcionalidad o serviciabilidad se ve afectado por el tema de drenaje y pavimento. Por ende, la condición de vulnerabilidad es severo. Este índice sumado a la mediana exposición sísmica, ha requerido por parte del Ministerio de Obras Públicas de un programa de monitoreo específico e inspecciones detalladas a la estructura durante el año 2019.

Agradecimiento: Esta investigación ha sido apoyada financieramente por CORFO Bien Público adaptación al Cambio Climático – Proyecto 19BP-117335.

Referencias

- MÁRQUEZ, M.; VALENZUELA M.A.; ARIAS G. & PERTIERRA M; SEPULVEDA C. Management Systems for Inspection and Maintenance of Chilean Road Bridges IABMAS, Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-73045-8, Melbourne, Australia, 2018
- FINGERHUTH, S.; LOPEZ, A.; YUNGE, D; VALENZUELA, M.A.; PEÑA-FRITZ, A.; ALFARO, J.; ALCAÍNO, P.; FUENTES, R.; NIKITAS, N.; MCLERNON, D.; KNAPPETT, J.; ANASTASOPOULOS, I. Sistema de Monitoreo Estructural para la Evaluación del Comportamiento Sísmico de Túneles en Chile, X Congreso SOCHIGE, Valparaíso, Chile, 2018
- COSIPLAN, La gestión de Riesgos de Desastres en COSIPLAN: Metodología y Aplicación en Infraestructura de Chile y Perú, 2016
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022, Santiago, Chile, 2017
- VALENZUELA, M.A., VALENZUELA, N., PEÑA-FRITZ, A., ROMO, R. Management System for Natural Risk Disaster on Infrastructure: A Regional Approach. IABMAS, Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-73045-8, Melbourne, Australia, 2018a
- VALENZUELA, M.A, VALENZUELA, N., MORAGA, P., ROMO, R., PINEDA, F., MARQUEZ, M. Management of Risk Disasters: Application in Aysén and Valparaiso, Chile. IABMAS, Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-73045-8, Melbourne, Australia, 2018b
- VALENZUELA, M.A.; PEÑA-FRITZ, A.; CONTRERAS, C.; VALENZUELA, N.; PINEDA, F.; ROMO, R.; PINTO, H. Management of Risk Disasters at Local level: Proposal of Hyper-heuristic approach on start-up in Valparaíso. Proceedings of the joint ICVRAM ISUMA UNCERTAINTIES conference Florianópolis, SC, Brazil, April 8-11, 2018c
- ROMO, R. Implementación De La Metodología De Gestión De Riesgo De Desastre Regional. “Estudio de Amenazas en Puentes y Caminos de la Ruta 7, Regiones de Los Lagos y Aysén, Chile” Tesis de Grado Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017