

Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile

Tomás Echaveguren · Alondra Chamorro



Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile

© Centro de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres
(CIGIDEN, Proyecto 1523A0009 FONDAP 2023).

Derechos reservados.

Primera edición, noviembre 2025.

Autores

Tomás Echaveguren ^{1,2} | techaveg@udec.cl

Alondra Chamorro ^{1,3} | achamorro@uc.cl

¹ CIGIDEN.

² Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil.

³ Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción.

Editora General Serie Policy Papers CIGIDEN

Leila Juzam | leila.juzam@cigiden.cl

Edición y coordinación Serie Policy Papers CIGIDEN

Katherine Campos | katherine.campos@cigiden.cl

Diseño

Sebastián Saldaña A. | hola@sebastiansaldana.cl

Foto de portada

Luis González | lgonzalec@uc.cl

Esta publicación forma parte de la Serie Policy Papers CIGIDEN.

SERIE POLICY PAPERS CIGIDEN

Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile

SERIE POLICY PAPERS CIGIDEN

Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile

Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile

Tomás Echaveguren
Alondra Chamorro

RESUMEN EJECUTIVO

Chile, por su geografía extensa, diversidad de relieves y ubicación en el cinturón de fuego del Pacífico, es uno de los países más expuestos del mundo a amenazas naturales. Esta condición ha impactado de manera recurrente a su infraestructura vial, con eventos que van desde inundaciones y deslizamientos hasta terremotos y erupciones volcánicas, generando daños severos y elevados costos económicos y sociales. La red vial, esencial para la conectividad territorial y el desarrollo económico, enfrenta así un desafío crítico: transitar desde un modelo tradicional de conservación, basado en el desgaste por uso, hacia un sistema integral que incorpore la gestión del riesgo y la resiliencia.

Se identifica como problema central la insuficiencia del paradigma actual de gestión vial, que no considera los efectos de eventos naturales ni sus consecuencias socioeconómicas. A la vez, plantea la oportunidad de integrar la gestión de riesgos como parte sustantiva del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura, con el fin de garantizar continuidad operacional, reducir costos de recuperación y proteger a las comunidades vulnerables.

El propósito del texto es proponer un marco de política pública y técnica que incorpore explícitamente el riesgo y la resiliencia en la planificación, diseño, construcción, operación y conservación de carreteras en Chile. Esto se traduce en las siguientes recomendaciones: a) implementación de un Sistema de Gestión de Riesgo (SGR) integrado a la gestión vial; b) incorporación de la gestión de riesgo en el Manual de Carreteras; c) incorporación de la vulnerabilidad social en la gestión de riesgos en la infraestructura vial; d) incorporación de software de apoyo para la evaluación de riesgo, resiliencia y mitigaciones en la infraestructura vial y e) asociatividad permanente entre la Dirección de Vialidad e instituciones de investigación.

Walter Brüning

Ingeniero Civil Universidad de Chile,
ex Director Nacional de Vialidad

PROLOGO

El documento “Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile” resume y sistematiza un tema que tiene un impulso especial en los últimos años y que es necesario actualizar e incorporar, a tiempo, en todo el espectro del ciclo de vida de los proyectos viales. Especialmente cuando nos enfrentamos a una realidad cambiante producto de la magnitud, frecuencia y ocurrencia de fenómenos naturales que implican la interrupción de la conectividad por colapso total o parcial de ella.

Chile ha sabido enfrentar los desafíos en materia de infraestructura vial que le ha impuesto el crecimiento. Así quedó demostrado cuando se incorporó la asociación público-privada para mejorar el estándar y aumentar la capacidad de las principales rutas interurbanas de la zona centro sur del país o dotar de autopistas al tramado vial urbano de la capital.

El desarrollo del texto concatena todos los elementos que permiten ir entendiendo cada uno de los aspectos, variables, definiciones y proposiciones de la implementación de un Sistema de Gestión de Riesgos (SGR) en el MOP, y particularmente en la Dirección de Vialidad, desplegando los alcances de una política general, los planes que se desprenden de ella y las herramientas que se deban aplicar en los proyectos, en todo su ciclo de vida, para que la gestión de riesgos sea parte de la toma de decisiones técnica, económica y social de cada uno de ellos, e integre explícitamente la priorización de proyectos.

En general, una de las componentes de mayor complejidad cuando se plantea la incorporación de una materia en el ámbito público es su implementación práctica, o expresado de otra manera, los métodos, modelos, herramientas e instructivos para su materialización. Este documento contiene proposiciones de vanguardia y de una perspectiva amplia, y ello queda refrendado en el planteamiento para llevar a cabo la gestión de riesgos y resiliencia en la red vial de Chile, considerando la implementación de un SGR integrado a la gestión vial, su incorporación íntegra en el Manual de Carreteras y muy importante e innovador, la incorporación de la vulnerabilidad social en la gestión de riesgos. Asimismo, el desarrollo y uso del software de apoyo y la asociación con instituciones de investigación. Por lo que estimo que la implementación -por parte de los organismos encargados- de un SGR como el propuesto será enriquecedor, oportuno y exitoso.

Aún quedan por resolver algunos nudos, especialmente presentes en documentos normativos de otras reparticiones públicas que deben aplicarse en el MOP y que aún no están en total sintonía con el argumento expuesto en este documento. A modo de ejemplo: está establecido un porcentaje máximo de monto de inversión cuando se trata de su conservación, y este valor no considera situaciones extremas como las que provienen de los efectos en la red después de la ocurrencia de catástrofes geológicas o hidrometeorológicas de cuantía relevante. Si se supera el umbral de intervención máximo de monto de inversión, los proyectos deben ser evaluados tal como si se tratara de un caso habitual, con la paradoja que podrían resultar no rentables y, por ende, no recomendarse su ejecución.

SERIE POLICY PAPERS CIGIDEN

Propuesta para implementar la gestión del riesgo y resiliencia en la red vial de Chile

I. INTRODUCCIÓN

Históricamente la red vial chilena se ha desarrollado en función del desarrollo económico de los principales centros poblados, adaptándose a lo largo del tiempo a la topografía y clima del país y organizándose para otorgarles conectividad. Actualmente, la red vial de tuición del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP) consta de aproximadamente 88 mil kilómetros de rutas, 6800 puentes de tuición de la Dirección de Vialidad y 23 túneles (DV, 2025), atravesando y conectando diversos ecosistemas y climas¹.

La red vial de Chile, dado su emplazamiento y al emplazamiento del país, se encuentra expuesta a diversas amenazas naturales, tanto de origen geológico (terremotos, tsunamis, volcanismo), como hidrometeorológico (invierno altiplánico, marejadas, precipitaciones intensas, avalanchas, flujos de detritos, deslizamientos de laderas). Desde los primeros registros sistemáticos de daños en la red vial por amenazas naturales en 1990 hasta el 2021, aproximadamente 1200 tramos de la red vial han experimentado cortes debido a eventos hidrometeorológicos, totalizando más de 36 mil kilómetros de caminos afectados por eventos de este tipo (MOP, 2011; Echaveguren et al., 2023), como se ilustra en el Box 1.

En los últimos 25 años, Chile ha sido afectado por unos 68 eventos importantes. Entre ellos, 12 correspondieron a eventos geológicos (terremotos y vulcanismo) y 56 a hidrometeorológicos (inundaciones ribereñas, incendios, tormentas y temperaturas extremas) reportando daños valorados en 41 mil millones de dólares americanos (CRED, 2025). Entre estos eventos se encuentran: los aluviones del año 2015 en la Región de Atacama; terremotos como los de los años 2007 en Tocopilla, 2007 en Aysén, 2010 en el Maule, 2014 en Pisagua, 2015 en Illapel y 2016 en Chiloé; las erupciones del volcán Chaitén y Llaima en el 2008, y de los volcanes Calbuco y Villarrica en el 2015. Particularmente, en el terremoto y tsunami del 2010, el MOP registró daños en 1554 kilómetros de caminos y 212 puentes (OPS, 2010) como se explica en el Box 2.

[1] La red vial de Chile se encuentra organizada desde el límite norte del país hasta Pargua, en una ruta longitudinal continua (la Ruta 5), que discurre en parte por el borde costero, por el altiplano y sortea diversas quebradas transversales de gran profundidad. Mas en el centro del país, este tramo longitudinal se emplaza en el valle central, conectado mediante rutas transversales el borde costero, sorteando la cordillera de la costa y la cordillera de los Andes. Desde Puerto Montt al Sur, la red vial se ubica por un terreno desmembrado, caracterizado por zonas montañosas y valles transversales originados por derretimiento de glaciales, agregando complejidades importantes al trazado. La Ruta 7 es continua hasta Puerto Yungay, conectando mediante rutas transversales a las localidades mediterráneas y costeras. Un tercer tramo de la red vial, la Ruta 9, se emplaza de norte a sur en Magallanes desde el paso fronterizo Río Zamora hasta Fuerte Bulnes. Finalmente, la red vial se desarrolla en Tierra del Fuego, conectando de poniente a oriente a Porvenir, localidades, y de norte a sur desde el Estrecho de Magallanes hasta bahía Yendegaia. Existen además, redes viales propias en territorios insulares, como por ejemplo en Isla de Pascua, Isla Navarino, Isla Grande de Chiloé e Isla de Melinka.

Box 1

Eventos hidrometeorológicos que han afectado a la red vial

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) considera Chile como un país altamente vulnerable al cambio climático, lo que puede significar un aumento de temperatura, variación en las precipitaciones, olas de calor y erosión de las costas del país (MMA, 2022). Se proyecta que para finales del siglo 21 y bajo el escenario RCP 8.5², en el invierno austral de Chile la temperatura mínima y máxima aumenten en más de 2°C y 6°C respectivamente (Araya-Osses et al., 2020).

Las precipitaciones presentan una mayor variabilidad espacial, proyectando una disminución de un 40% en la zona centro-sur, mientras que para la zona norte de los Andes se proyecta un aumento superior al 60% (Araya-Osses et al., 2020). Con esta variabilidad climática, el país se enfrentará a nuevos escenarios hidrometeorológicos, los que implicarán mayores esfuerzos para mantener en operación la infraestructura pública, y proteger a la población.

El daño en la infraestructura vial por eventos hidrometeorológicos es variado y recurrente. El 2019 un sistema frontal asociado al invierno altiplánico afectó a la zona norte del país. En tres horas precipitaron 12,5 milímetros de agua en Iquique, lo que es equivalente a las precipitaciones de 10 años. Esto generó cortes de rutas y anegamiento de viviendas (ver Figura 1)

[2] RCP 8.5: *Representative Concentration Pathway*. Es una de las trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero adoptada por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC: Panel Intergubernamental para el Cambio Climático). El RCP 8.5 se utiliza para modelar peores escenarios de cambio climático.



Figura 1: Precipitaciones intensas en Iquique durante el 2019.

Fuente: Agencia Uno.

Según Elnashai et al. (2010) se reportaron un total de 393 caminos y 211 puentes y terraplenes de acceso con daños, mientras que en la infraestructura vial concesionada se reportaron 29 caminos y 16 puentes y terraplenes de acceso con daños. La región del Biobío fue la más afectada con 200 infraestructuras dañadas, seguida de la región del Maule con 193. Estos datos se resumen en la Figura 3 y en la Figura 4.

Box 2

¿Qué ocurrió con la red vial en el terremoto del 2010?

El terremoto y posterior tsunami ocurrido en Chile el 27 de febrero de 2010, generó daños significativos en la red vial entre Valparaíso y la Araucanía. Se registraron daños en 1.554 km de caminos y 212 puentes, lo que generó la interrupción de la conectividad interurbana del país, dificultando la comunicación y oportuna realización de catastros de la emergencia. Los daños a la infraestructura de transporte y comunicaciones fueron de US\$ 523 millones (Gobierno de Chile, 2010) (ver Figura 2).



Figura 2: Puente río Claro luego del terremoto del 2010.

Fuente: Swiss Re.

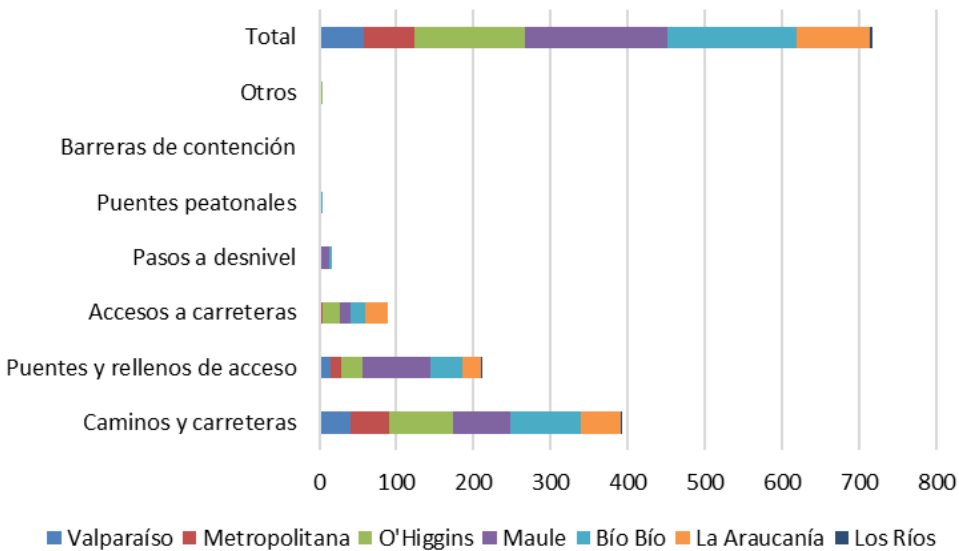


Figura 3: Número de daños en la infraestructura de transporte pública

Fuente: Elnashai et al., 2010

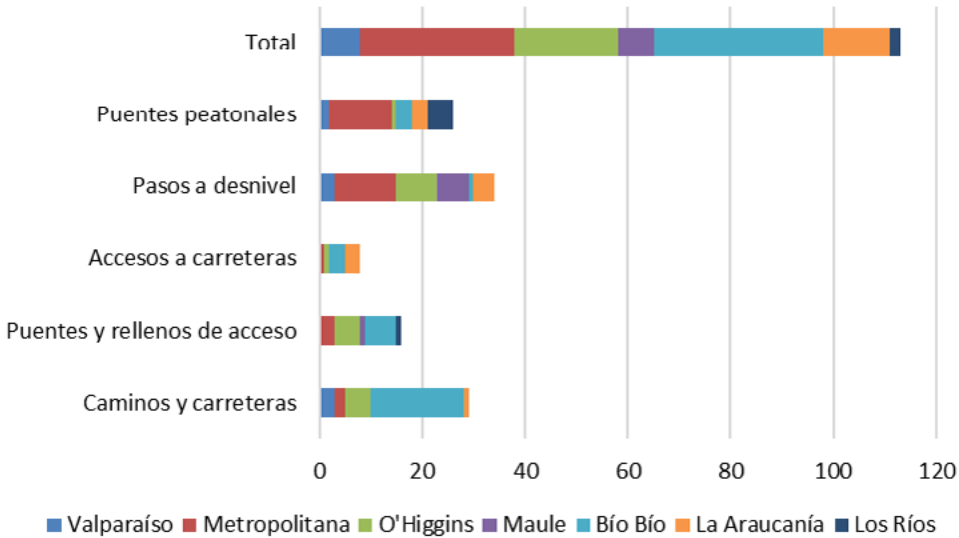


Figura 4: Número de daños en la infraestructura de transporte operada por concesión privada

Fuente: Elnashai et al., 2010

II. ANTECEDENTES SOBRE LA GESTIÓN VIAL Y DE RIESGO ANTE AMENAZAS NATURALES

II. A LA GESTIÓN VIAL TRADICIONAL

Tradicionalmente las redes viales se gestionan considerando un diseño, construcción y operación que transcurre bajo condiciones normales de funcionamiento. Esto es bajo las condiciones de tráfico para el cual fueron diseñadas. Asimismo, los modelos de transporte asignan tráfico a la red vial considerando que todas sus rutas están permanentemente conectadas. Bajo estas consideraciones, la gestión del mantenimiento de la red vial asume que, bajo un supuesto de estacionariedad, la degradación de la infraestructura y sus costos económicos se debe principalmente a su utilización.

Este paradigma ha dominado la mantención vial desde la década de los años '70, época en la que se comienzan a desarrollar modelos matemáticos que permitían determinar las necesidades de mantención vial y su costo económico de manera razonablemente precisa. Este paradigma se ha mantenido sostenidamente hasta la actualidad y ante el cual nuestro país no es ajeno. Sin embargo, ¿qué ocurre cuando todas estas condiciones de diseño no se cumplen por efecto de amenazas naturales? la evidencia empírica muestra que los eventos naturales interrumpen temporal o permanentemente la conectividad de la red vial producto de shocks que degradan abruptamente la infraestructura. Estas interrupciones se traducen en desvíos de tráfico, demoras en los viajes, no realización de viajes, mayor riesgo de siniestros viales y eventualmente incremento en la huella de carbono, lo que aumenta los costos sociales de los usuarios, e induce pérdidas económicas directas e indirectas para el país.

Por ello, si bien el paradigma de mantención vial imperante es necesario, no responde adecuadamente en su propósito general que es la definición del gasto óptimo, debido a que no considera el efecto de caída brusca de la condición física de las infraestructuras luego de verse afectadas por eventos naturales. Esta limitación plantea dos preguntas esenciales: ¿es posible predecir en el tiempo la ocurrencia de eventos naturales de magnitud variable?, ¿cómo afectan estos eventos a la infraestructura vial? Si bien el avance científico técnico actual no dispone de herramientas para responder estas preguntas en el plano práctico de la mantención vial, si existen artefactos que contribuyen a reducir la incertidumbre asociada a la falta de respuestas a estas preguntas. Estos son los sistemas de gestión de riesgos y el tratamiento probabilístico de la tríada amenaza natural – consecuencias – costos sociales.

II.B LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (GRD) EN REDES VIALES

Incluir las amenazas naturales y el riesgo en la gestión de infraestructura vial tradicional implica consideraciones que modifican la forma en que se utilizan los componentes de un sistema de gestión. Las amenazas naturales son eventos no continuos y aleatorios, por lo que se requieren cambios sustanciales en el tratamiento del mantenimiento proporcionado por los modelos tradicionales. Por ejemplo, la pérdida de servicio de un pavimento se produce de manera gradual y monótona producto del paso de vehículos pesados dado un escenario climático cuyas oscilaciones dependen de las estaciones del año y que son similares año a año. Al incluir las amenazas naturales, el riesgo que producen y la variabilidad climática, la pérdida de servicio del pavimento puede aumentar su magnitud, invalidando los supuestos de modelación tradicionalmente utilizados.

Por ello, la pregunta subyacente es ¿cómo integrar los sistemas de gestión de mantenimiento con un Sistema de Gestión de Riesgos (SGR)? Un punto de partida es contar con un sistema de gestión vial tradicional, como base para integrar un SGR y resiliencia.

Un SGR es un proceso que permite mantener el nivel de riesgo bajo un umbral aceptable y costo-eficiente para la sociedad, con el fin de reducir sus consecuencias a largo plazo a través del diseño de estrategias adecuadas de preparación y mitigación. Consta de siete etapas (ver la Figura 5): identificación de amenazas, análisis de riesgo, evaluación del riesgo según nivel aceptable, tratamiento del riesgo con medidas de mitigación, definición del nivel aceptación del riesgo para la sociedad, comunicación del riesgo y monitoreo. Usualmente los SGR se implementan en plataformas computacionales, que integran los modelos necesarios de cada etapa dentro de un marco conceptual general.

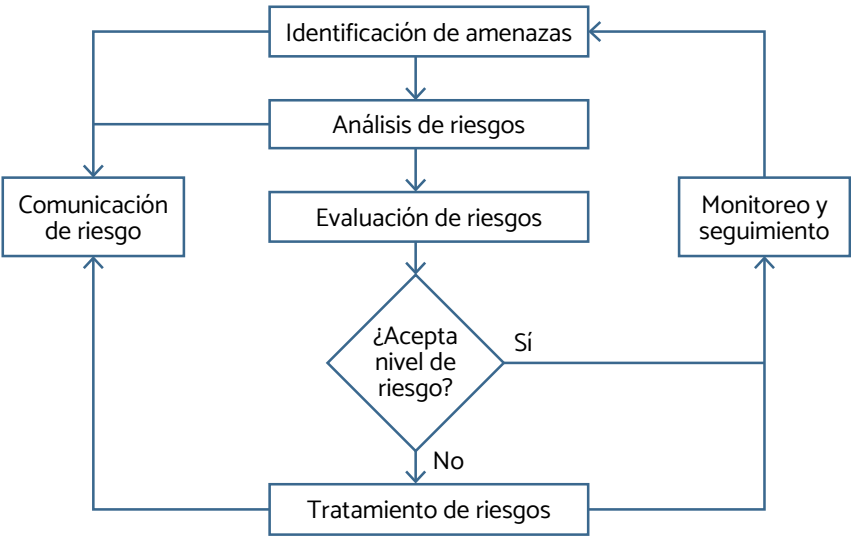


Figura 5: Etapas de un Sistema de Gestión de Riesgos.

Fuente: Adaptado de Free et al., 2006

El núcleo de un SGR vial es la evaluación del riesgo de la red dada su exposición, vulnerabilidad y robustez, considerando la evaluación de los efectos físicos, económicos y sociales de las amenazas naturales que potencialmente afectan a componentes específicos de la red de carreteras como puentes, terraplenes, túneles y plataformas. A través de la evaluación del riesgo se busca estimar las necesidades de mitigación o mejora para lograr una red resiliente.

II.C EXPERIENCIA INTERNACIONAL SOBRE GESTIÓN DE RIESGO EN REDES VIALES

Diversos países han desarrollado herramientas computacionales para la GRD sobre la infraestructura y las personas ante eventos naturales y humanos. Dentro de estas herramientas se encuentran: Hazards United States – Multi Hazards (Hazus-MH), que permite estimar daños frente a amenazas naturales, aunque presenta limitaciones para redes de transporte; El Risk from Earthquake Damage to Roadway Systems (REDARS) que se centra en el riesgo sísmico sobre la red vial; RiskScape para amenazas como inundaciones y ciclones; y Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection (RAMCAP), que plantea un marco integral para infraestructura crítica.

Hazus – MH es un software desarrollado por la Federal Emergency Management Agency (FEMA) en conjunto con el National Institute of Building Sciences (NIBS) de Estados Unidos. Modela amenazas naturales, y cuenta con modelos de vulnerabilidad de diferentes infraestructuras, entre ellas caminos, puentes y túneles (Schneider & Shauer, 2006; Nastev & Todorov, 2013). Además, cuantifica daños físicos, económicos y sociales en una determinada área geográfica (Hasenberg & Rad, 1999; Beckmann & Simpson, 2006).

REDARS es un sistema de análisis de riesgo sísmico sobre la red vial, desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA) y el Multi-Disciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER) en Estados Unidos. Evalúa el impacto de estrategias de mitigación ante amenazas sísmicas en puentes, los cambios en el tránsito inmediatamente después de ocurrido un sismo y pérdidas económicas (Cho et al., 2003; Liao & Yen, 2010).

RiskScape es un sistema de análisis de riesgo desarrollado por National Institute of Water and Atmospheric Research Limited (NIWA) y el Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited (GNS), ambos de Nueva Zelanda. Modela la respuesta de las infraestructuras ante eventos naturales y las pérdidas ocasionadas por eventos naturales. Ha sido utilizado en Nueva Zelanda y el sudeste asiático para cuantificar pérdidas por ciclones e inundaciones y para evaluar acciones de mitigación ante inundaciones (Schmidt et al., 2011).

El sistema RAMCAP, es un proceso de gestión de resiliencia y riesgo en infraestructura crítica desarrollado por la American Society of Military Engineers y forma parte del National Infrastructure Protection Plan (NIPP). Su objetivo es identificar y priorizar las inversiones en la preparación de la infraestructura sometida a 41 de amenazas naturales y de origen humano que puedan afectar a los sistemas de distribución de agua potable, disposición de aguas servidas, energía, transporte y comunicaciones (Brashear & Jones, 2010). Consta de un proceso de siete pasos para evaluar el riesgo: a) caracterización de activos críticos, b) caracterización de amenazas, c) análisis de consecuencias, d) análisis de vulnerabilidad, e) evaluación de amenazas, f) evaluación de riesgo y g), gestión de riesgo. Por la forma en que se estructura RAMCAP constituye en sí mismo un SGR.

Estos sistemas ofrecen perspectivas distintas que pueden apoyar la toma de decisiones en políticas públicas. Hazus-MH, desarrollado por FEMA, permite estimar daños y pérdidas frente a desastres de origen natural, aunque tiene limitaciones para analizar en detalle redes de transporte. REDARS está orientado específicamente a los impactos sísmicos sobre la red vial, incorporando la reasignación de tráfico y la estimación de pérdidas económicas, pero no aborda otros tipos de amenazas. RiskScape, por su parte, es más flexible y ha sido aplicado para modelar riesgos asociados a inundaciones y ciclones, aunque su diseño responde principalmente a la realidad de Nueva Zelanda. RAMCAP, por último, se diferencia de los otros tres al proponer un marco de gestión integral de riesgos y resiliencia en infraestructura crítica, con un alcance que incluye tanto amenazas naturales como de origen humano, pero que demanda altos niveles de información y coordinación institucional.

En conjunto, estas herramientas muestran que no existe una solución única, sino enfoques complementarios que pueden ser utilizados según la prioridad: análisis técnico específico, gestión de redes de transporte o planificación estratégica de infraestructura crítica. Estos sistemas podrían usarse en Chile, pero requerirían calibraciones, ajustes metodológicos y de datos profundos para su adaptación a la realidad chilena, siendo más costo-eficiente desarrollar un sistema propio para la planificación estratégica y desarrollo de políticas públicas para la gestión de redes viales.

III . CONTEXTO NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO EN REDES VIALES

En el 2010 el Ministerio de Obras Públicas mandató el “Estudio básico catastro georreferenciado de riesgos y peligros naturales en la red vial” (MOP, 2011), el que tuvo como objetivo principal identificar las áreas de riesgos por amenazas hidrometeorológicas que afectaron la red vial nacional entre 1999 y 2009. Este fue un avance en el plano técnico que permitió realizar un catastro georreferenciado de las amenazas, desarrollar un índice de riesgo, un modelo de evaluación económica de inversión en abatimiento de riesgos y generar un lineamiento para un plan de adaptación al cambio climático para la Dirección de Vialidad.

[3] SIGER-RV se encuentra en constante evolución, alimentándose de diversas investigaciones entre las que destacan los trabajos de Contreras-Jara et al. (2018) sobre anegamiento de caminos, de Dagá et al. (2018) sobre el efecto de flujos laháricos en los puentes, de Cartes et al. (2021) sobre evaluación costo-beneficio de la resiliencia en carreteras, de Contreras-Jara et al. (2021) sobre socavación en puentes ante crecidas, de Nieto et al. (2021 y 2023) sobre el efecto de flujos de detritos en las carreteras, de Allen et al. (2022 y 2023) sobre la vulnerabilidad de puentes ante terremotos, y de Jiménez-Ramos et al. (2023) sobre la interrupción de tráfico por deslizamiento de taludes.

En el 2012 el Centro Interuniversitario de Ciencias Ambientales, Europa-Latinoamérica, EULA-Chile (EULA) de la Universidad de Concepción, desarrolló un índice de vulnerabilidad social como una componente de valoración del riesgo multidimensional a escala de distrito censal, con el fin de incluir la variable riesgo en la zonificación de uso del borde costero de la región del Bío Bío. El índice de riesgo propuesto por EULA (2012) buscaba contar con un método sencillo, que utilice información existente para calificar y clasificar los riesgos de manera homogénea en todo el territorio costero regional. El índice de riesgo consideraba la probabilidad de ocurrencia de eventos naturales, la importancia estratégica del territorio, la vulnerabilidad y la exposición. Particularmente, se incluyó la vulnerabilidad social considerando la propuesta de Adger (2006), que incluye la etnicidad, los estresores, el nivel de bienestar individual y el bienestar objetivo de las comunidades.

Posteriormente, el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN) desarrolló con el apoyo de la Dirección de Vialidad entre el 2014 y el 2020 un software denominado SIGER-RV, el que considera las principales amenazas naturales que afectan a la infraestructura vial. Este software se desarrolló en una plataforma computacional GIS, en el que se aplican a escala real modelos de riesgo y mitigación (Chamorro et al., 2023). SIGER-RV³ fue presentado y transferido a la Dirección de Vialidad de Chile para su uso, sin embargo, mientras no se incluya de base la aplicación de un SGR en las normativas vigentes, su utilización es de carácter indicativo.

Como parte de la investigación que llevó al desarrollo de SIGER-RV, Guerrero et al. (2023) calibraron para Chile el índice de vulnerabilidad social SOVI® de Cutter et al. (2013). El cual permitió posteriormente a Contreras et al. (2025) analizar las relaciones entre falta de accesibilidad provocada por eventos naturales sobre la red vial y la vulnerabilidad social, reforzando la necesidad de introducir en la toma de decisiones esta variable además de los criterios tradicionales. Paralelamente, Echaveguren et al. (2023) actualizaron el índice de riesgo desarrollado por MOP (2011), incorporando datos de amenazas hidrometeorológicas que afectaron la red vial nacional entre 2010 y 2021, actualizando la georeferenciación de eventos, avanzando también en la evaluación de estrategias de reducción de riesgos.

La gestión de riesgos viales en Chile ha evolucionado desde el catastro de amenazas y su valoración económica (MOP, 2011), hacia la incorporación de vulnerabilidad social y territorial (EULA, 2012), el uso de plataformas GIS aplicadas a escenarios de mitigación (SIGER-RV, 2014–2020), la actualización de un índice de riesgo para redes viales (Echaveguren et al., 2023) y la adaptación de índices internacionales como SOVI® (Guerrero et al., 2023; Contreras et al., 2025). Este progreso consolida un enfoque integral que combina infraestructura, accesibilidad y resiliencia comunitaria, fortaleciendo la planificación preventiva y la adaptación al cambio climático.

IV . MARCO REGULATORIO

IV. A MARCO REGULATORIO NACIONAL PARA LA GRD Y MONITOREO DE AMENAZAS

En 2021, Chile actualizó su marco legal para la GRD mediante la Ley N°21.364 del Ministerio del Interior. Esta normativa estableció el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED), bajo la coordinación del nuevo Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), que reemplazó a la antigua Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI). La ley redefinió la arquitectura institucional, fortaleciendo la coordinación entre niveles nacionales, regionales y locales, y organizando el trabajo en torno a dos grandes etapas: prevención/mitigación y respuesta/recuperación. Tres aportes relevantes de esta legislación es el giro hacia un enfoque preventivo, la incorporación de nuevas herramientas y la institucionalización de mecanismos de coordinación más robustos para una gestión efectiva.

Para avanzar en la implementación de esta ley, en el año 2023 se dictaron dos reglamentos relevantes, el Decreto N°234 y el Decreto N°86. El Decreto N°234 (Ministerio del Interior, 2023) regula el funcionamiento de los Comités de Gestión del Riesgo de Desastres (COGRID), instancias responsables de coordinar acciones a distintos niveles territoriales. Por su parte, el Decreto N°86 (Ministerio del Interior, 2023) establece directrices para los Organismos Técnicos para el Monitoreo de Amenazas (OTMAS) y para los Organismos Técnicos para el Monitoreo Sectorial de Amenazas. También detalla los instrumentos técnicos, incluyendo lineamientos para la elaboración de mapas de amenazas y de riesgo.

El Decreto N°86 reconoce doce OTMAS y ocho Organismos Técnicos para el Monitoreo Sectorial de Amenazas. Estos organismos sectoriales corresponden a todas aquellas entidades que pertenecen al SINAPRED y que cuentan con las com-

petencias técnicas para mantener la supervigilancia sectorial sobre servicios e infraestructura que sean de su competencia, ante las diferentes amenazas y su posible impacto o afectación (Decreto N°86). Dentro de ellos se define que el MOP es el organismo técnico para el monitoreo sectorial responsable de las alteraciones de la infraestructura de conectividad marítima, fluvial y lacustre, aeropuertos y asociadas a la red vial nacional, más otras propias de su competencia. Bajo este marco, el MOP debe tomar las medidas necesarias que le permitan ejercer este rol y contar con información sobre su ámbito de monitoreo para comunicarla a SENAPRED ante cualquier alteración.

Dentro de las acciones que ha desplegado el MOP, cabe destacar el desarrollo de su “Política de Sostenibilidad 2024 – 2030”, la cual se estructura en base a cuatro dimensiones: dimensión ambiental con énfasis en la resiliencia climática; dimensión social; dimensión económica financiera y dimensión institucional. En esta política se resalta que: “La planificación y el desarrollo de infraestructura deben fundamentarse en una adecuada prevención, recuperación y adaptación oportuna y eficaz de la infraestructura expuesta a amenazas, debiendo hacerse mediante la gestión colaborativa del riesgo y de la incertidumbre, abarcando su naturaleza sistémica” (MOP, 2025). La política establece el compromiso de desarrollar sistemas de infraestructura y edificación pública que se planifiquen, diseñen, construyan, operen y desmantelen, garantizando su sostenibilidad económico-financiera, social, ambiental e institucional a lo largo de todo su ciclo de vida. En el marco de la crisis climática, la política pone especial énfasis en el desarrollo de una infraestructura resiliente, que contempla la prevención, absorción, recuperación y adaptación oportunas y eficientes de las estructuras y funciones esenciales de la infraestructura nacional, que han estado expuestas a peligros.”

Bajo estas premisas, la Política de Sustentabilidad del Ministerio de Obras Públicas le confiere, entre otras direcciones de la Dirección General de Obras Públicas, a la Dirección de Vialidad la calidad de servicio ejecutor de la política en lo relativo a las infraestructuras viales que tiene a su cargo. De esta forma, se definen las siguientes tareas para esta dirección:

- Impulsar la planificación integral para el desarrollo de la infraestructura vial, logrando mayor participación, inclusividad y perspectiva de género.
- Proveer obras y servicios de infraestructura vial, para mejorar la conectividad en el territorio nacional y con los países limítrofes, consolidando una red vial sostenible para asegurar la movilidad y seguridad de las personas y contribuir a la productividad del país.

- Conservar obras y servicios de infraestructura vial, para mantener el estado adecuado de la infraestructura vial para la circulación y transitabilidad.
- Gestionar eficiente y eficazmente el uso de los recursos de inversión en la provisión de obras y servicios de infraestructura vial.

De este modo, el marco regulatorio de escala nacional y ministerial crea las condiciones necesarias para la armonización con las tareas propias de la Dirección de Vialidad en materia de infraestructura vial.

IV.B MARCO REGULATORIO SOBRE LA PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO VIAL DE CHILE

La planificación y desarrollo vial de Chile está a cargo de la Dirección de Vialidad y de la Dirección General de Concesiones, ambas dependientes del Ministerio de Obras Públicas. En efecto, el D.F.L.⁴ N°850 de 1998 fija el marco de acción de la Dirección de Vialidad. En su Artículo N°18 establece que: “A la Dirección de Vialidad corresponderá la realización del estudio, proyección, construcción, mejoramiento, defensa, reparación, conservación y señalización de los caminos, puentes rurales y sus obras complementarias que se ejecuten con fondos fiscales o con aporte del Estado y que no correspondan a otros Servicios de la Dirección General de Obras Públicas.”

Dicho articulado determina la misión institucional de la Dirección de Vialidad: “Proveer obras y servicios de infraestructura vial a la ciudadanía, que otorguen una mejor calidad de vida y seguridad a las personas, armonizando el desarrollo del territorio y ofreciendo una conectividad sostenible y resiliente, mediante la realización de estudios, proyección, construcción, mejoramiento, rehabilitación y conservación, con eficiencia, eficacia, perspectiva de género, inclusión y participación.”⁵

En esta misión institucional resaltan aspectos clave para los propósitos de este documento: la provisión de una conectividad sostenible y resiliente, por un lado, y la noción de incorporar dicho atributo en todo el ciclo de vida de los proyectos viales, desde los estudios de ingeniería, hasta la operación.

[4] Decreto con Fuerza de Ley

[5] <https://vialidad.mop.gob.cl/direccion-de-vialidad/>

IV.B INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE RIESGOS EN LA RED VIAL DE CHILE

Atendiendo a las funciones que le son propias, la Dirección de Vialidad cuenta con un cuerpo normativo denominado Manual de Carreteras, que proporciona en sus 9 volúmenes herramientas técnicas para el desarrollo vial, desde la planificación (Volumen N°1), diseño (Volúmenes N°2, N°3 y N°4), construcción (Volumen N°5) y operación (Volúmenes N°7 y N°8), además de aspectos transversales a todo el ciclo de vida del desarrollo vial (Volúmenes N°6 y N°9). El objetivo del Manual de Carreteras es ser un apoyo en la misión de la Dirección de Vialidad para asegurar el desempeño de la red vial, en cuanto a conectividad, seguridad vial y sustentabilidad. Este último punto implica desarrollar proyectos viales con un enfoque integral que incluya aspectos económicos, sociales, ambientales, la adaptación y mitigación al cambio climático, y la gestión del riesgo en la red vial. Algunos aspectos técnicos para la gestión de riesgo y resiliencia se encuentran en los Volúmenes N°1, N°2, N°3 y N°7 vigentes.

El Volumen N°1 del Manual de Carreteras “Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial”, incluirá en su próxima actualización criterios para incluir riesgo, resiliencia y adaptación al cambio climático en la formulación de las carteras anuales de proyectos, que involucran iniciativas de inversión que pueden encontrarse en etapas de idea, perfil, prefactibilidad, factibilidad o proyecto definitivo. Esto implica además que, en el futuro, se debiera incorporar en los procesos de evaluación social, estudios de base y simulación y modelación elementos para la valoración socio económica de inclusión de riesgo y resiliencia en iniciativas de inversión integrado con herramientas adicionales en los volúmenes N°2, N°3, N°7 y N°9, no descartándose la posibilidad de crear un volumen específico para el tratamiento de riesgo y resiliencia en redes viales.

En el Volumen N°2 del Manual de Carreteras “Procedimientos de Estudios Viales”, se describen procedimientos para obtener información para el diseño de amenazas hidrometeorológicas en lo relativo a hidrología e hidráulica, lo cual permite modelar potenciales efectos de socavación en puentes. El Volumen N°3 del Manual de Carreteras “Instrucciones y Criterios de Diseño”, cubre los aspectos relativos al diseño de infraestructura vial. Los criterios de diseño contemplan principalmente cargas recurrentes, pero en el caso de puentes considera solicitaciones sísmicas y crecidas como criterios de diseño. El capítulo “Riesgo y protección de avalanchas de nieve”, trata la cuantificación del riesgo ante avalanchas

y el diseño de medidas de mitigación de riesgo, siendo una aproximación importante a la gestión del riesgo.

El Volumen N°7 del Manual de Carreteras “Mantenimiento Vial”, presenta una sección completa denominada “atención de emergencias”, que describe la organización para afrontar emergencias, además de un Plan Nacional de Prevención de Desastres y Acción ante Emergencias resaltando el rol de la Dirección de Vialidad y su interacción con otros organismos del Estado. Dentro de las tareas de la Dirección de Vialidad resaltan las siguientes:

- La mantención de un catastro priorizado de puntos críticos de la red vial.
- Postular soluciones a los puntos críticos en los programas normales y especiales de inversión, considerando duración y costos de las obras. Es decir, medidas de mitigación.
- Efectuar seguimiento de puntos críticos
- Mantener actualizados planos de todos los caminos de la red vial, incluyendo obras de arte, alcantarillas, puentes y defensas fluviales. Es decir, mantener catastro actualizado.
- Tener previstas, y en buenas condiciones de uso, alternativas viales, especialmente en aquellos puntos críticos en los que comúnmente existen interrupciones de tránsito, y además, mejorar su trazado. Es decir, proveer de una redundancia mínima en la red.
- Atendiendo a su misión institucional, la Dirección de Vialidad cuenta con una organización para afrontar emergencias que afectan la conectividad de la red vial. Esta establece una coordinación a través del Plan de Enlace de la Dirección de Vialidad, el que organiza el flujo de información de la emergencia desde su ocurrencia hacia niveles jerárquicos superiores. Actualmente, se usa el visor de emergencias y operatividad (GEOMOP) que se integra la información registrada en el Sistema de Información de Emergencias (SIEMOP) para ofrecer una visualización geográfica de los registros de emergencia activos.

En definitiva, la infraestructura vial está en el corazón de la conectividad nacional y por eso la Dirección de Vialidad tiene un rol clave. Su misión va más allá de construir caminos:

busca asegurar que las obras ofrezcan seguridad, calidad de vida y resiliencia frente a amenazas naturales. Este enfoque incorpora principios de sostenibilidad y participación ciudadana, reconociendo que las carreteras son un bien social estratégico. Así, el desarrollo vial se convierte en un pilar para la cohesión territorial.

El Manual de Carreteras es una herramienta técnica para que la gestión vial incorpore la seguridad, la sostenibilidad y la reducción de riesgos. Sus distintos volúmenes guían desde la planificación hasta la operación de los caminos, incluyendo criterios para enfrentar amenazas naturales como aluviones, sismos o avalanchas. La inclusión progresiva de aspectos de resiliencia y adaptación al cambio climático en el manual asegura que los proyectos futuros se diseñen con un enfoque integral.

El principal desafío de la Dirección de Vialidad es consolidar una red vial sostenible, resiliente y segura frente a desastres y cambio climático. Para ello es necesario mantener y modernizar la infraestructura existente, incorporando criterios de riesgo y adaptación en todas las etapas de los proyectos. Al mismo tiempo, requiere optimizar el uso de los recursos públicos en un contexto de limitaciones presupuestarias. Esto requiere equilibrar inversión, conservación y capacidad de respuesta rápida ante emergencias.

V. RECOMENDACIONES

Considerando los antecedentes revisados en las secciones anteriores, se presentan a continuación cinco recomendaciones para implementar la GRD y resiliencia en la red vial de Chile.

1. IMPLEMENTACIÓN DE UN SGR INTEGRADO A LA GESTIÓN VIAL

La infraestructura vial constituye un activo estratégico para Chile, al garantizar la conectividad territorial, el acceso a servicios esenciales y el soporte a la actividad económica. La alta exposición del país a amenazas naturales pone de manifiesto las limitaciones del modelo de gestión vial tradicional, centrado principalmente en el deterioro por uso y factores climáticos normales. La incorporación de un SGR integrado a la gestión vial permitirá anticipar, mitigar y responder de manera más eficiente a los impactos de desastres, asegurando la continuidad operativa de la red y reduciendo sus costos sociales y económicos. Los principios generales de implementación son: articulación con los sistemas de gestión vial existentes, incorporación en todo el ciclo de vida de un proyecto, fortalecimiento normativo y técnico, enfoque territorial, y coordinación intersectorial.

En cuanto a la articulación con los sistemas de gestión existentes, el SGR debe implementarse como un complemento y no un reemplazo de los sistemas actuales de gestión de pavimentos y de mantenimiento vial. La integración técnica permitirá compartir datos, modelar escenarios de riesgo en tiempo real y tomar decisiones coherentes respecto a conservación y mitigación. Esto requiere interoperabilidad informática, protocolos de comunicación claros y la inclusión del riesgo como un criterio sistemático en la programación de intervenciones y en el catastro de puntos críticos.

El riesgo debe abordarse en todas las fases de un proyecto vial, desde los estudios de base y diseño hasta la operación y conservación. Esto implica ajustar metodologías de evaluación para considerar la vulnerabilidad estructural, la exposición social y la resiliencia esperada frente a eventos extremos. Asimismo, se deben incluir medidas de redundancia vial y planes de restauración en los diseños, de modo que la recuperación del servicio no dependa exclusivamente de acciones reactivas.

La diversidad climática y geográfica de Chile requiere que el SGR incorpore criterios regionalizados. Amenazas prioritarias como aluviones en el norte, inundaciones en el centro o deslizamientos en el sur, exigen soluciones técnicas diferenciadas. Se propone la creación de comités regionales del Manual de Carreteras, encargados de identificar amenazas locales, definir medidas de mitigación pertinentes y generar planes de acción que respondan a la realidad de cada zona, garantizando así pertinencia y efectividad.

La implementación de un SGR vial demanda colaboración con otros sectores estratégicos: SENAPRED como organismo articulador, OTMAS en cuanto a seguimiento de amenazas, universidades en investigación y desarrollo, gobiernos regionales en planificación y privados en provisión de infraestructura. A su vez, es imprescindible desarrollar capacidades técnicas mediante formación especializada en riesgo y resiliencia para funcionarios del MOP y actores vinculados. Esta coordinación asegura que las decisiones se basen en información científica actualizada, que las medidas de mitigación sean costo-eficientes y que la institucionalidad disponga de personal capacitado para sostener el sistema en el largo plazo.

2. INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MANUAL DE CARRETERAS

La incorporación de la gestión de riesgo y resiliencia en el Manual de Carreteras se plantea desde los siguientes ejes: creación de un volumen específico sobre gestión de riesgos, actualización de volúmenes existentes, integración con la evaluación social de proyectos y Relación con el Volumen Nº9 (Sostenibilidad).

Por ello, se propone crear un nuevo volumen dedicado exclusivamente a gestión de riesgos, además de actualizaciones en los volúmenes N°1, N°2, N°3 y N°7. Esta propuesta permitirá transversalizar el riesgo en la planificación, diseño y conservación, asegurando criterios técnicos homogéneos en todo el país. La inclusión normativa otorgará respaldo institucional y obligará a que la gestión del riesgo sea parte de la práctica diaria de los equipos técnicos.

En cuanto a la creación de un volumen específico sobre gestión de riesgos, se recomienda la elaboración de un volumen nuevo y exclusivo en el Manual de Carreteras que aborde la gestión de riesgos y resiliencia en toda su amplitud. Este volumen debe contener los principios generales del SGR, así como la metodología para identificar, evaluar, tratar y monitorear riesgos en la red vial. También debe incluir lineamientos claros sobre cómo incorporar indicadores de vulnerabilidad, robustez y resiliencia en los proyectos, de modo que exista un estándar único y homogéneo para toda la Dirección de Vialidad y las concesionarias. La existencia de un volumen específico otorgará rango técnico y normativo a la gestión del riesgo, asegurando que deje de ser un criterio opcional para transformarse en una práctica obligatoria y transversal.

En cuanto a la actualización de los volúmenes existentes, lo que se persigue es armonizar en todo el Manual de Carreteras el tratamiento del riesgo. En este sentido, se propone integrar en los volúmenes que ya forman parte del Manual de Carreteras. En el Volumen 1 se deben incorporar criterios de riesgo y resiliencia en la planificación y evaluación socioeconómica de proyectos. En el Volumen 2, los procedimientos de estudios viales deben actualizarse para mejorar la recolección de datos de amenazas y vulnerabilidad, incluyendo metodologías probabilísticas de fragilidad estructural. El Volumen 3 requiere ampliar los criterios de diseño para considerar solicitaciones extremas y medidas de redundancia vial, mientras que en el Volumen 7 deben fortalecerse los protocolos de emergencia, recuperación rápida y catastro de puntos críticos. Estas modificaciones asegurarán que el SGR no se limite a un documento aislado, sino que esté articulado con todas las fases del ciclo de vida de la infraestructura vial.

En cuanto a la integración con la evaluación social de proyectos, la gestión de riesgos debe incorporarse también en el análisis socioeconómico de los proyectos viales, reconociendo que los costos de interrupción de tráfico y las afectaciones sociales pueden ser tan relevantes como los costos de construcción. El Manual de Carreteras debe establecer lineamientos que permitan valorar de manera explícita el costo esperado de la pérdida de conectividad, el impacto sobre las comunidades vulnerables y el beneficio social de las medidas de mitigación.

Para ello, se deben utilizar indicadores de resiliencia —como el tiempo de recuperación o la disponibilidad de rutas alternativas— en el análisis costo-beneficio. De esta forma, los proyectos que reduzcan significativamente el riesgo y mejoren la resiliencia de la red podrán ser priorizados en la cartera de inversiones del Estado. Estos aspectos son tareas esenciales de desarrollar en el volumen N°1 sobre planificación, evaluación y desarrollo vial.

El Volumen 9 del Manual de Carreteras establece criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica en el desarrollo de proyectos viales. La gestión de riesgos y resiliencia debe vincularse a este volumen, pero con identidad propia. Se propone que el nuevo volumen de riesgos actúe como un cuerpo normativo especializado y que, a la vez, dialogue de manera explícita con el Volumen 9, de modo que resiliencia y sostenibilidad se refuercen mutuamente. Mientras la sostenibilidad aborda la permanencia y eficiencia de la infraestructura a lo largo de su ciclo de vida, la resiliencia se enfoca en su capacidad para resistir y recuperarse frente a desastres. Dejar estos conceptos conectados, pero diferenciados, permitirá que la Dirección de Vialidad avance hacia un modelo de infraestructura más robusto, segura y preparada para el cambio climático.

3. INCORPORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN LA GESTIÓN DE RIESGOS EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Estas recomendaciones se articulan en torno a: inclusión de índices de vulnerabilidad social en la evaluación de riesgos y fortalecimiento de capacidades técnicas en el análisis de vulnerabilidad social. Se propone integrar la vulnerabilidad como componente constitutivo del análisis de riesgo en la infraestructura vial, distinguiendo entre vulnerabilidad física y social. Los hallazgos de Guerrero et al. (2023) muestran que el índice SOVI® adaptado a Chile permite identificar desigualdades territoriales que amplifican los impactos de un corte vial. Por tanto, se recomienda que las evaluaciones de riesgo vial incluyan explícitamente un índice de vulnerabilidad social, a escala comunal o distrital, para priorizar aquellas zonas donde la infraestructura dañada afecte más gravemente a las comunidades.

La experiencia de Guerrero et al. (2023) evidencia también la complejidad de adaptar índices internacionales a la realidad chilena. Se recomienda formar equipos técnicos en la Dirección de Vialidad y en gobiernos regionales con competencias en análisis social y territorial del riesgo, complementando la formación ingenieril tradicional. De este modo, las decisiones de inversión serán técnicamente robustas, y sensibles a inequidades sociales.

4. INCORPORACIÓN DE SOFTWARE DE APOYO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS, RESILIENCIA Y MITIGACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

El uso de software en la gestión de riesgos viales proporcionaría un marco robusto para evaluar riesgos multi amenaza, incluyendo sismos, inundaciones, aluviones y deslizamientos. Estas herramientas permiten simular los impactos físicos, económicos y sociales de la pérdida de conectividad, cuantificar la vulnerabilidad y resiliencia de distintos componentes de la red (puentes, terraplenes, túneles y plataformas), y comparar medidas de mitigación bajo criterios de costo-beneficio y tiempos de recuperación. Además, apoyan la priorización de proyectos de inversión con base en la reducción de riesgos y la mejora de la equidad territorial, otorgando evidencia cuantitativa que fortalece la toma de decisiones.

En el caso chileno, la experiencia con el software SINGER-RV constituye una referencia importante para avanzar en un sistema propio de gestión de riesgos viales. Esta herramienta, basada en plataforma GIS, modela amenazas y medidas de mitigación a escala real, aunque aún se requiere fortalecerla con módulos adicionales que incorporen vulnerabilidad social y criterios de resiliencia comunitaria. Asimismo, resulta prioritario integrar SINGER-RV con plataformas institucionales como GEOMOP y SIEMOP, de manera de contar con un visor único de riesgo vial. A partir de la transferencia tecnológica de experiencias internacionales, Chile puede mejorar su capacidad de modelación probabilística, simulación de tráfico post-evento y construcción de curvas de fragilidad específicas para sus condiciones territoriales.

Así, la implementación de software permitirá evaluaciones más completas, objetivas y transparentes del riesgo en la red vial, contribuyendo a la toma de decisiones basada en evidencia. También se podrá optimizar las inversiones públicas en infraestructura, al priorizar aquellas soluciones que reduzcan de manera significativa la vulnerabilidad y aumenten la resiliencia de los activos críticos. El resultado esperado es avanzar hacia una red vial nacional más robusta y costo-eficiente, capaz de mantener la continuidad de la conectividad frente a desastres naturales y de proteger a las comunidades más expuestas, reforzando así el compromiso del país con una infraestructura pública resiliente y sostenible.

5. ASOCIATIVIDAD PERMANENTE ENTRE LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD E INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN

La implementación práctica de la gestión de riesgos y resiliencia en la red vial requiere no solo de marcos normativos y técnicos, sino también de investigación aplicada y generación continua de conocimiento. Instituciones como universidades, centros de investigación y organismos técnicos poseen la capacidad de desarrollar metodologías avanzadas (modelos de fragilidad, análisis de vulnerabilidad social, simulaciones de tráfico post-evento natural, entre otros) que pueden transferirse directamente a la Dirección de Vialidad. Esta colaboración asegura que las decisiones de inversión y mitigación se basen en evidencia científica actualizada y en soluciones adaptadas a la realidad nacional.

La asociatividad entre la Dirección de Vialidad y las instituciones de investigación debe orientarse a generar proyectos conjuntos que permitan transformar el conocimiento científico en soluciones aplicadas para la gestión vial. Esto incluye el desarrollo de modelos predictivos de riesgo y resiliencia, la validación de software especializado como SIGER-RV, la adaptación de metodologías internacionales a las condiciones locales y la incorporación de variables de vulnerabilidad social en la planificación. Asimismo, esta cooperación debe contribuir a la formación de recursos humanos con competencias en gestión de riesgos y resiliencia, asegurando la transferencia continua de resultados de investigación hacia normas técnicas y decisiones de inversión pública.

La colaboración práctica puede materializarse a través de convenios entre la Dirección de Vialidad y universidades o centros de investigación, que establezcan objetivos claros y

plazos definidos. Se recomienda la creación de laboratorios conjuntos de riesgo vial que permitan probar metodologías y modelos en escenarios piloto antes de su aplicación a escala nacional. Además, los programas de formación dual facilitarán el intercambio de capacidades: funcionarios de la Dirección podrán participar en proyectos de investigación, mientras que académicos e investigadores colaborarán en la elaboración de normas técnicas y protocolos de gestión. Complementariamente, la construcción de bases de datos compartidas sobre amenazas, vulnerabilidad y daños históricos garantizará la interoperabilidad entre la academia y la gestión pública.

El establecimiento de una red de cooperación entre la Dirección de Vialidad y las instituciones de investigación permitirá acelerar la implementación práctica de la gestión de riesgos, reduciendo la brecha entre el desarrollo científico y su aplicación en políticas públicas. Esta asociatividad potenciará la innovación tecnológica en áreas críticas como la modelación probabilística, la resiliencia de puentes y terraplenes, o la integración de la vulnerabilidad social en la planificación de la infraestructura. Al mismo tiempo, permitirá disminuir la incertidumbre en los estudios de inversión, optimizar la asignación de recursos y fortalecer la capacidad técnica del MOP. Como resultado, se consolidará un ecosistema de conocimiento aplicado que contribuirá a una red vial más resiliente, segura y equitativa para las comunidades del país.

VI . CONCLUSIONES

La red vial chilena enfrenta una exposición extrema a amenazas naturales y a las consecuencias de la variabilidad climática, que pueden intensificar tales amenazas; por ello, la resiliencia vial no es opcional, sino una condición indispensable para garantizar la conectividad territorial y la seguridad socioeconómica del país.

Chile cuenta con un marco normativo sólido que sienta las bases de la gestión del riesgo, pero el verdadero desafío es operativizar estas políticas en la práctica vial, asegurando que la planificación y conservación de caminos se alineen con la resiliencia y la sostenibilidad. La gestión de riesgos en redes viales exige pasar de un paradigma de conservación bajo condiciones normales a un enfoque integral que incorpore vulnerabilidad, resiliencia y redundancia, equilibrando criterios técnicos con los costos sociales de la pérdida de conectividad. Las experiencias internacionales muestran que no existe una herramienta única, pero sí enfoques complementarios que Chile puede adaptar; la clave es avanzar hacia un sistema propio de gestión de riesgos viales calibrado a su realidad territorial y climática.

La trayectoria nacional —desde catastros de riesgos hasta el desarrollo del SIGER-RV y la incorporación de la vulnerabilidad social— demuestra avances significativos. Por esta razón, la propuesta de implementar un SGR integrado en el Manual de Carreteras, con un adecuado soporte tecnológico, constituye un paso decisivo para orientar la gestión vial en Chile hacia un enfoque resiliente, sostenible y equitativo.

Finalmente, la gestión de riesgos y resiliencia en la red vial chilena debe proyectarse como un sistema integrado, normado y sostenido en el tiempo, capaz de anticipar y mitigar los efectos de amenazas naturales y la variabilidad climática. En el futuro, la infraestructura vial debe concebirse no solo como soporte físico de movilidad, sino como un activo estratégico de cohesión territorial y desarrollo económico. La incorporación de vulnerabilidad social en la planificación permitirá reducir inequidades y priorizar territorios más frágiles, mientras que el uso de software y bases de datos integradas garantizará decisiones más objetivas y transparentes. La asociatividad con instituciones de investigación permitiría fortalecer la innovación y la transferencia de conocimiento.

VII . REFERENCIAS

- Adger, W.N. (2006). *Vulnerability*. Global Environmental Change, 16(3), 268–281.
- Allen, E., Amaya, T., Chamorro, A., Santa María, H., Baratta, F., de Solminihac, H. & Echaveguren, T. (2023). *Development and comparison of seismic fragility curves for bridges based on empirical and analytical approaches*, Structure and Infrastructure Engineering, 19(7), 949 – 963.
- Allen, E., Chamorro, A., Poulus, A., Castro, S., de la Llera, J.C., & Echaveguren, T. (2022). *Sensitivity analysis and uncertainty quantification of a seismic risk model for road networks*. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 37, 516 – 530.
- Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J.M. y Paneque, M. (2020). *Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling*. Climate Dynamics, 54, 4309–4330.
- Beckmann, H. & Simpson, D.M. (2006). *Risk assessment and GIS in natural hazards: issues in the application of HAZUS*, International Journal of Risk Assessment and Management, Vol. 6, N° 4/5/6, 408– 422.
- Brashear, J. and Jones, W. (2010). *Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection (RAMCAP Plus)*. Wiley Handbook of Science and Technology for Homeland Security. Part 2: Cross-Cutting Themes and Technologies. Risk Modeling and Vulnerability Assessment.
- Cartes, P., Echaveguren, T., Chamorro, A. & Allen, E. (2021). *A prioritization index based on resilience and cost savings to select recovery strategies of roads affected by natural disasters*. International Journal of Disaster Risk Reduction. 53(2021), 102014.
- Cho, S. Huyck, C., Ghosh S. & Eguchi R. (2003). *A Validation Study of the REDARS Earthquake Loss Estimation Software Program*. Advancing Mitigation Technologies and Disaster Response for Lifeline Systems.
- Contreras-Jara, M., Echaveguren, T., Chamorro, A. & Vargas, J. (2021). *Estimation of the exceedance probability of scour on bridges using reliability principles*. Journal of Hydrologic Engineering, 26(8), 0402109.
- Contreras-Jara, M., Echaveguren, T., Vargas, J., Chamorro, A. & de Solminihac, H. (2018). *Reliability-based estimation of traffic interruption probability due to road waterlogging*. Journal of Advanced Transportation, 2018, 2850546.
- Cutter, S. L., Emrich, C. T., Morath, D. P. & Dunning, C. M. (2013). *Integrating social vulnerability into federal flood risk management planning*. Journal of Flood Risk Management, 6, 332–344.
- Dagá, J., Chamorro, A., de Solminihac, H. & Echaveguren, T. (2018). *Development of bridge failure model and fragility curves for infrastructure overturning and deck sliding due to labars*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 18, 2111 – 2125.
- Dirección de Vialidad (DV). (2011). *Estudio Básico Catastro Georeferenciado de Riesgos y Peligros Naturales en la Red Vial*. Chile.
- Dirección de Vialidad (DV). (2025). *Red Vial Nacional. Dimensionamiento y Características*. Chile.
- Echaveguren, T., Fernández, M.P. & Muñoz, G. (2023). *Actualización del método de evaluación rápida de riesgos hidrometeorológicos en la red vial*. 14º Congreso internacional PROVIAL. 6 -10 de Octubre de 2023, Pucón, Chile.
- EULA. (2012). *Análisis de riesgos de desastres y zonificación costera región del Bío Bío*. Informe Final. Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (2025). *EM-DAT: The International Disaster Database*. <https://public.emdat.be/data>.
- Free, M., Anderson, S., Milloy, C. & Mian, J. (2006). *Geohazards risk management for infrastructure projects*. Proceedings of the ICE – Civil Engineering, 159, 28 – 34.
- Guerrero, N., Contreras, M., Chamorro, A., Martínez, C., & Echaveguren, T. (2023). *Social vulnerability in Chile: Challenges for multi-scale analysis and disaster risk reduction*. Natural Hazards, 117(3), 3067–3102.
- Gobierno de Chile. (2010). *Plan de Reconstrucción Terremoto y Maremoto del 27 de Febrero de 2010*. <http://www.desarrollsocialyfamilia.gob.cl/pdf/plan-reconstruccion-resumen-ejecutivo.pdf>

- Hasenberg, C.S. & Rad, F.N. (1999). Lessons learned in a level two analysis for buildings and lifelines in the Portland, Oregon, metropolitan region. En W.M. Elliot and P. McDonough, (Eds.) *Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability: Proceedings of the fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, August 12–14, 1999, Seattle, WA.
- Jiménez-Ramos, G., Echaveguren, T. y Chamorro, A. & Vargas, J. (2023) *Traffic Interruption Risk induced by cut-slope failure: the rainfall effect*. *Transportation Geotechnics*, 412(2023), 100993.
- Liao, D & Yen, P. (2010). *A linkage tool for analyzing earthquake traffic impact in micro level based on seismic risk assessment and traffic simulation*. Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Computing for Geospatial Research & Application. Artículo No. 43.
- Elnashai, A.S., Gencturk, B., Kwon, O.S., Al-Qadi, Imad L., Hashash, Y., Roesler, J., Kim, S.J., Jeong, S.-H.; Dukes, J. & Valdivia, A. (2010). *The Maule (Chile) Earthquake of February 27, 2010: Consequence Assessment and Case Studies*. Report No. 10-04. Mid-America Earthquake Center. Universidad de Illinois Urbana-Champaign. Estados Unidos.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (1998). *D.F.L. N°850. "Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N°15.840, de 1964 y del DFL. N°206, de 1960"*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=97993>.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2011). *Estudio básico catastro georreferenciado de riesgos y peligros naturales en la red vial*. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2017). *Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático*. 2017 – 2022. Ministerio de Obras Públicas. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2025). *Política de Sostenibilidad*. Ministerio de Obras Públicas. 2024/2030. Chile.
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MINSEP). (2021). *Ley N°21.364. "Establece el sistema nacional de prevención y respuesta ante desastres, sustituye la oficina nacional de emergencia por el servicio nacional de prevención y respuesta ante desastres, y adecúa normas que indica"*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1163423>.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático*. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2022). *Ley N°21.455. "Ley Marco de Cambio Climático"*. Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>.
- Nastev, M. & Todorov, N. (2013) *Hazus: A standardized methodology for flood risk assessment in Canada*, Canadian Water Resources Journal, 38(3), 223 - 231.
- Nieto, N., Chamorro, A., Echaveguren, T. & Escarriaza, C. (2023). *Fragility curves for road embankments exposed to adjacent debris flow*. *Progress in Physical Geography*, 47(1), 105-122.
- Nieto, N., Chamorro, A., Echaveguren, T., González, A. & Sáez, E. (2021). *Development of fragility curves for road embankments exposed to perpendicular debris flows*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 21(1), 1560 – 1583.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2010). *El terremoto y tsunami del 27 de febrero en Chile*. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/10037?show=full&locale=attribute=es>.
- Schneider, P.J. & Schauer, B. (2006). *HAZUS—Its Development and Its Future*. *Natural Hazards Review*. 7(2), 40 – 44.
- Schmidt, J., Matchman, I., Reese, S., King, A., Bell, R., Henderson, R., Smart, G., Cousins, J., Smith, W. & Heron, D. (2011). *Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modeling*. *Natural Hazards*. 58,1169-1192.



Este documento fue elaborado por el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres, CIGIDEN (Proyecto 1523A0009 FONDAP 2023).

SOBRE CIGIDEN

CIGIDEN es un centro de excelencia FONDAP-ANID creado en 2011 e integrado por cuatro universidades de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad Andrés Bello y Universidad Católica de Norte, más la colaboración de investigadores de otras instituciones académicas y gubernamentales tanto nacionales como internacionales.

Investigadores de diferentes disciplinas –ciencias de la tierra, ingenierías, ciencias sociales, geografía, economía, diseño, arquitectura, urbanismo y comunicaciones–, trabajan en CIGIDEN para generar conocimiento que permita evitar que los eventos extremos de la naturaleza se transformen en desastres.

Esta mirada interdisciplinaria ha promovido una profunda transformación académica, avanzando desde el estudio de las amenazas naturales y la respuesta de emergencia, hacia una perspectiva integral centrada en la reducción del riesgo de desastres y la construcción de resiliencia.



CIGIDEN, es una institución de excelencia FONDAP-ANID creada en 2011 e integrada por cuatro universidades chilenas. La Serie Policy Papers CIGIDEN tiene como objetivo traducir la investigación que se realiza en el centro, en documentos cortos y direccionados estratégicamente a la política pública, para así posicionar la temática de gestión del riesgo en el mundo de los tomadores de decisiones.



www.cigiden.cl