

Metodología Para La Determinación de La Red Vial Crítica. Methodology For Determining the Critical Road Network.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Catalina Riquelme ^{1,*}, Fabiola Mendoza ¹, Ricardo Vilches ¹, Juan José Pool ¹, Rodrigo Lazcano ¹,
Ximena Krause ¹.

¹Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Departamento de Planes de Infraestructura Vial, Santiago, Chile.

Historial del
artículo:

Recibido

14-11-2023

Aceptado

16-04-2024

Publicado

25-08-2024

Palabras Clave:

Puente Metálico

Puente Modular

Puente Mecano

Puente menor

Article history:

Received

14-11-2023

Accepted

16-04-2024

Available

25-08-2024

Keywords:

Road network

Land

connectivity

criticality

Road investment

initiatives

Resilience

Geographic

information

systems.

Resumen

La conectividad vial de un territorio permite su desarrollo y funcionamiento social y económico, por lo que resulta fundamental identificar una red vial que proporcione un nivel de servicio adecuado para el funcionamiento del país y su comunidad, y que bajo este concepto debe permanecer operativa ante cualquier situación. Por lo tanto, dentro de la Subdirección de Desarrollo de la Dirección de Vialidad (DV), surge la necesidad de desarrollar una Metodología para identificar una Red Vial Crítica (RVC), sustentada en las necesidades territoriales de la región. Dichas necesidades se pueden abordar y medir bajo tres grandes dimensiones: características intrínsecas, tránsito medio diario anual y características extrínsecas, lo cual, a través de la construcción de un modelo, permite obtener tramos con distintos niveles de criticidad. A partir de esta identificación de tramos críticos de la red, es posible plantear medidas tanto estructurales como no estructurales para aumentar la resiliencia en la red vial. En efecto, el presente documento propone una Metodología basada en la conciliación de expertos y el enfoque prospectivo para ampliar el análisis previo a la identificación y priorización de las iniciativas de la Cartera de Proyectos Viales que aporten a fortalecer la resiliencia de la red vial, incorporando información relevante para cada región y resaltando las particularidades del territorio como un criterio complementario de decisión.

Abstract

The road connectivity of a territory enables its social and economic development and functioning, making it essential to identify a road network that provides an adequate level of service for the country and its community, and that must remain operational under any circumstances. Therefore, within the Subdirectorate of Development of the Dirección de Vialidad (DV), there is a need to develop a methodology for identifying a Critical Road Network (CRN), based on the territorial needs of the region. These needs can be addressed and measured across three main dimensions: intrinsic characteristics, annual average daily traffic, and extrinsic characteristics. Through the construction of a model, this approach allows for the identification of segments with varying levels of criticality. From this identification of critical segments of the network, both structural and non-structural measures can be proposed to increase the resilience of the road network. Indeed, this document proposes a methodology based on expert consensus and a prospective approach to extend the analysis prior to the identification and prioritization of Road Project Portfolio initiatives that contribute to strengthening the resilience of the road network, incorporating relevant information for each region and highlighting the specific characteristics of the territory as a complementary decision-making criterion.

* Corresponding author at: Catalina Riquelme, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Subdirección de Desarrollo, Departamento de Planes de Infraestructura Vial, Morandé 59, Santiago, Chile. E-mail address: Catalina.riquelme@mop.gov.cl

RIOC

journal homepage: <https://rioc.ufro.cl/index.php/rioc/index>

Vol. 12, no. 02, pp. 1–11, Agosto 2024

1. Introducción.

La Dirección de Vialidad tiene como misión; *“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”*. (Dirección de Vialidad, MOP., 2023)

Una de las variables relevantes para el crecimiento de un país es lograr mantener una inversión sostenida en infraestructura pública, de manera de impulsar el desarrollo territorial equilibrado. En este contexto, la conectividad terrestre en el desarrollo del territorio es fundamental, y si consideramos que la Dirección de Vialidad es la encargada de desarrollar la infraestructura pública vial, resguardando que sus intervenciones en este ámbito sean las de mayor impacto positivo social, económico, cultural y ambiental, es fundamental construir una Cartera de Proyectos que dé cuenta de la planificación de la infraestructura vial del país.

Dicha cartera de proyectos, debe velar para que cada una de las intervenciones en el territorio convoque los mayores beneficios. Las actuales metodologías para evaluar los proyectos de infraestructura vial han llevado a privilegiar fuertemente los mejoramientos en territorios consolidados, en desmedro de nuevas conexiones viales y aumentos de capacidad.

A lo anterior, agregamos que una de las mayores restricciones o condiciones de borde para concretar y hacer real la cartera es el presupuesto anual y acotado que posee el Ministerio de Obras Públicas (MOP), entonces cobra relevancia que las iniciativas que se identifican como parte de esta cartera, representen y recojan las necesidades reales del territorio en el cual se emplazan.

Por lo anterior, la Subdirección de Desarrollo a través de su Departamento de Planes de Infraestructura Vial (DPIV), ha propuesto ampliar el análisis que alimenta la Cartera de Proyectos, incorporando información espacial que permita analizar y evaluar la infraestructura de conectividad de manera integrada con el territorio, a través de herramientas metodológicas de índole territorial. Dichas Metodologías han sido formuladas y desarrolladas por el área metodológica del DPIV.

El equipo experto que participó en la construcción de los índices se conforma de profesionales de distinta formación académica, como Ingenieros Civiles en Geografía, en Obras Civiles, Geógrafos y Arquitectos, con postgrado en Desarrollo Urbano y especialización en Gestión de Riesgo de Desastres y Adaptación al

Cambio Climático. Siendo una de las autoras la Subdirectora de Desarrollo de la Dirección de Vialidad y la jefatura del Departamento de Planes de Infraestructura Vial.

La Metodología presentada en este documento se desarrolla con el fin de identificar los caminos en distintos niveles de criticidad y así poder identificar las potenciales iniciativas de inversión que se podrían implementar en dichos caminos o tramos de éstos, a través de medidas y/o gestiones tales como: rapidez, redundancia, robustez y recursos (4 R de la resiliencia), con el objetivo de mantener la conectividad principal del país operativa en todo momento.

Una revisión de la bibliografía sobre la materia, ha permitido identificar algunas definiciones de resiliencia de infraestructuras que pueden ser adaptadas y aplicadas a la red vial:

- “La infraestructura resiliente no es aquella que nunca falla, más bien es la que, habiendo sufrido un evento de falla natural o antropogénicamente, es capaz de sostener un nivel mínimo de servicio y recuperar su funcionamiento original con tiempo y costo razonables” (Gay Alanís, 2016).
- “Es aquella red con capacidad para mitigar los peligros, contener los efectos de los desastres y rapidez de recuperación para minimizar los efectos de futuros desastres”. Adaptado de (Tierney & Bruneau, 2007).

También se han considerado y adaptado los siguientes conceptos que permiten medir y/o caracterizar la resiliencia, las denominadas 4R:

- Robustez o resistencia: La capacidad de un sistema de no colapsarse totalmente ante una falla, sino conservar un mínimo necesario de funcionamiento (Gay Alanís, 2016). Es decir, las infraestructuras deben ser lo suficientemente resistentes para no colapsar.
- Redundancia: Que el sistema tenga suficientes redundancias, para evitar que haya cuellos de botella o elementos que al fallar causen la falla completa del sistema (Gay Alanís, 2016). En otras palabras, es la existencia de caminos alternativos.
- Recursivo-Ingenio o Recursos: Se refiere no únicamente a tener recursos para atender una emergencia, tales como repuestos y personal, sino también al ingenio para improvisar soluciones temporales que sostengan el funcionamiento del sistema (Gay Alanís, 2016).

- **Rapidez:** Se refiere al tiempo que demora la fase de respuesta a una emergencia. Dicha fase recupera la conectividad de la red y la transitabilidad a un estándar mínimo a través de las modalidades de conservación de redes viales, principalmente Conservación por Administración Directa, Contratos Globales y Globales-Mixtos (Medina Santibañez, 2023).

Esta Metodología trabaja con información - lo más actualizada posible - de diferentes Instituciones Públicas, información que es tabulada y geo-referenciada en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Cabe mencionar que una labor importante en la aplicación de la Metodología es establecer la ponderación de las variables, factores e índices que la componen. Esto se lleva a cabo a través de un proceso analítico jerárquico, el cual proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos y aspectos cualitativos que muchas veces suelen quedar fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos y que, en algunos casos, pueden ser relevantes.

Dichos ponderadores, se trabajan con un equipo multidisciplinario de las Direcciones Regionales de Vialidad, en el entendido que la presente Metodología corresponde a una herramienta interna de análisis. De esta forma, los coeficientes de ponderación de las variables, factores e índices pueden ajustarse de acuerdo a la región con la que se esté trabajando, permitiendo representar las particularidades del territorio.

El desarrollo de los índices y sus resultados, son trabajados a través de un SIG, para que puedan ser visualizados en mapas y de esta manera ser un apoyo para la toma de decisiones respecto a la identificación de iniciativas de inversión vial tendientes a aumentar la resiliencia de la red.

Por lo tanto, esta metodología busca transformarse en una herramienta objetiva de apoyo al proceso de toma de decisión de las Direcciones Regionales de Vialidad, cuyo objetivo es lograr un desarrollo de la infraestructura vial de manera sustentable y resiliente.

Finalmente, tras su primera implementación que está en desarrollo (4 regiones), se indica que esta propuesta metodológica está siendo presentada a las diferentes Direcciones Regionales de Vialidad para su aplicación y además se están recibiendo observaciones y/o ajustes, con el propósito de que en una segunda versión de la Metodología se hagan las correcciones pertinentes y sea una herramienta validada al interior de la DV. Además, se espera que un futuro cercano, se presente al Ministerio de Desarrollo Social y Familia para su validación e

implementación como Metodología alternativa a la evaluación de proyectos.

2. Metodología.

2.1. Metodología para la determinación de la red vial crítica.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, cabe señalar, que la formulación y elaboración de la presente Metodología se llevó a cabo a través de reuniones para el análisis de opiniones de diferentes expertos dentro de la Dirección de Vialidad, además de ensayos prueba y error en la formulación de las ecuaciones que se exponen más adelante, las cuales han sido creadas por los autores de este documento.

El planteamiento de las ecuaciones, corresponde a una suma ponderada, siendo esta una herramienta matemática utilizada para calcular la suma total de un conjunto de valores multiplicados por sus respectivos pesos o ponderaciones. Se utiliza en diversas áreas como estadística, finanzas, ciencias sociales, física, etc., para analizar y tomar decisiones basadas en datos numéricos.

Finalmente, se utilizó el criterio experto para la formulación de las ecuaciones. Esto implica, utilizar el conocimiento y la experiencia de expertos en un campo específico para crear ecuaciones o modelos matemáticos que representan relaciones o fenómenos complejos. Este enfoque puede ser especialmente útil cuando no hay una fórmula preexistente que describa con precisión la situación o cuando se requiere incorporar conocimiento experto para obtener resultados más realistas.

Con respecto a la propuesta metodológica, fue necesario entender qué es infraestructura crítica y cuándo puede ser clasificada como tal. Es decir, es necesario diseñar una estrategia adecuada para determinar el grado de criticidad para cada camino de la red vial.

Para medir el grado de criticidad de la infraestructura vial es necesario precisar el concepto de criticidad. En general, se define infraestructura crítica como: estructuras físicas, instalaciones, redes y otros activos que proporcionan servicios que son esenciales para el funcionamiento social y económico de una comunidad o sociedad y que la interrupción o alteración de su correcto funcionamiento provocaría grandes efectos en ellas.

Si bien esta definición de criticidad en infraestructura entrega una orientación, no es suficiente para los fines aquí buscados, es necesario poder hacerla atingente al caso específico de la infraestructura vial, es decir, traducir el concepto central de estructuras físicas de función o servicio esencial a la comunidad al campo de la infraestructura vial, para posteriormente hacerla operativa.

Para esto, se utiliza el concepto central utilizado en la DV que es el de “conectividad”. El principal objetivo perseguido en la infraestructura vial es el de dar conectividad a la red. Es decir, mantener conectada la red, bajo un cierto estándar que permitirá entregar en todo momento los servicios requeridos por la comunidad.

Por lo tanto, se puede definir que un camino es crítico cuando es identificado como esencial para el funcionamiento social y económico de una comunidad. Dicho de otro modo, siempre debe estar operativo otorgando un mínimo nivel de servicio, ya que la interrupción o alteración de su correcto funcionamiento provocaría efectos adversos al sistema territorial.

A partir de lo anterior, es que la Metodología para la determinación de la Red Vial Crítica (RVC) se construyó en base a tres dimensiones que fueron formuladas y desarrolladas por el equipo metodológico del DPIV, así como también las operaciones matemáticas que se muestran a continuación de 1 a 9:

- **Dimensión “Intrínseca”** de la vía: Corresponde a las características propias del camino, las cuales influyen en el normal funcionamiento de éste.
- **Dimensión “Extrínseca”** de la vía: Corresponde a las propiedades externas del camino; que involucran factores sociales, ambientales y productivos, que por diversos factores pueden colapsar si el camino falla.
- **Tránsito Medio Diario Anual (TMDA):** Por sus características, es posible catalogarlo en ambos factores antes mencionados, por esta misma razón, se trabaja de forma independiente.

Así, el modelo RVC corresponde a la suma ponderada de las dimensiones mencionadas anteriormente:

$$RVC = \alpha * Dcl + \beta * TMDA + \gamma * DcE \quad (1)$$

Donde:

- Dcl : Dimensión características intrínsecas.
TMDA : Dimensión tránsito medio diario anual.
DcE : Dimensión características extrínsecas.
 α, β, γ : Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

Dentro de estas 3 dimensiones se trabajan factores que a su vez contienen los sub factores que se analizaron conforme a una escala entre 0 y 1, donde el 0 representa menos criticidad y 1 representa mayor criticidad. A esta escala se le asocia un nivel dependiendo de la escala posible, esta escala posible está relacionada a la cantidad de información disponible de cada factor o sub factor, como primera opción se utiliza la Escala de la

Tabla 3, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla N°1: Escala 1 (Fuente: Elaboración propia).

Nivel	Calificación
Muy Alto	1
Medio - Moderado	0,5
Nulo	0

Tabla 2. Escala 2 (Fuente: Elaboración propia).

Nivel	Calificación
Muy Alto	1
Medio - Moderado	0,67
Muy Bajo	0,33
Nulo	0

Tabla 3. Escala 3 (Fuente: Elaboración propia).

Nivel	Calificación
Muy Alto	1
Alto	0,8
Medio – Moderado	0,6
Bajo	0,4
Muy Bajo	0,2
Nulo	0

Los sub factores que se utilizan para cada factor de las dimensiones son los siguientes:

2.1.1. Dimensión Intrínseca.

Corresponde a la suma ponderada de los factores relacionados a las características propias del camino:

$$Dcl = \alpha * CFC + \beta * EC \quad (2)$$

Donde:

- Dcl : Dimensión características intrínsecas.
CFC : Características Físicas del Camino.
EC : Exposición del Camino.
 α, β : Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

2.1.1.1. Factor características físicas del camino.

Este factor hace referencia a las propiedades, particularidades o cualidades que se observan del mismo camino, su importancia recae en la necesidad de conocer las variables más críticas que afectan al camino en caso de un evento perjudicial. Para este factor se considera la suma ponderada de 5 variables:

$$CFC = \alpha * LT + \beta * CAV + \gamma * TAV + \delta * TC + \varepsilon * CP \quad (3)$$

Donde:

CFC	: Características Físicas del Camino (UGIT DV-MOP, 2023)
LT	: Longitud del tramo.
CAV	: Cantidad de Activo Vial.
TAV	: Tipo de Activo Vial.
TC	: Tipo de Carpeta.
CP	: Cantidad de Pistas.
$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$	: Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

- **Longitud del tramo:** Esta variable expresa las longitudes del tramo de acuerdo a la Región en análisis. Se entiende que, si un tramo se corta, independiente del motivo, recuperar la operación del tramo requiere mayores recursos al ser más largo y el impacto en el tránsito que genera es más crítico.
- **Cantidad de activo vial:** Esta variable mide la cantidad de activos viales en el tramo. La variable considera como activos viales los: viaductos, túneles, puentes, pasos superiores, enlaces, trincheras, caleteras y cobertizos. Entre más activos viales presenta el tramo más complejo y más recursos se utilizan para retornar su funcionalidad en el caso de que fallen.
- **Tipo activo vial:** Esta variable hace referencia al tipo de activo vial presente en el tramo, cada Dirección Regional jerarquiza los activos viales. Cabe mencionar que si el tramo presenta distinto tipo de activo vial se considera el más desfavorable para el modelo, de igual forma, si presenta más cantidad del mismo tipo de activo vial se considera como una sola calificación. Al igual que el sub factor anterior, dependerá del activo vial la complejidad en poder dar una solución rápida.
- **Tipo de Carpeta:** Los tramos que poseen carpeta tipo pavimento (asfalto u hormigón) son considerados más críticos, debido a que el tiempo de restauración del tramo es más alto, disminuyendo el nivel de servicio de la vía en comparación al ripio y la tierra.
- **Cantidad de pistas:** Variable que considera la cantidad de pistas por tramo. Se entiende que, si un tramo tiene una sola pista, se considera más crítico, por el contrario, un tramo que posee dos o más pistas, es considerado menos crítico, ya que al cortarse una pista, podría quedar habilitada la segunda pista.

2.1.1.2. Factor exposición del camino (relación del tramo con su red).

Este factor hace mención a la exposición del camino en dependencia con su entorno y su red. Es decir, hacer referencia a

la relación del tramo con la característica del terreno o el porcentaje de vehículos pesados que transitan por él. Para determinar la exposición del camino, se realiza una suma ponderada de 4 variables:

$$EC = \alpha * T + \beta * R + \gamma * PVP + \delta * TA \quad (4)$$

Donde:

EC	: Exposición del Camino.
T	: Topografía del Camino. (UGIT DV-MOP, 2023)
R	: Redundancia del Tramo. (UGIT DV-MOP, 2023)
PVP	: Porcentaje de Vehículos Pesados. (Departamento de Gestión Vial. DV-MOP, 2021)
TA	: Cantidad de Accidentes. (CONASET, 2023)
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	: Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

- **Topografía del camino:** Esta variable mide la topografía del terreno donde se emplaza el tramo en estudio. Mediante un SIG se pueden analizar las características del relieve, para así darle una calificación según su descripción, ya que un tramo con una topografía montañosa utiliza más recursos y ve dificultada su rehabilitación, en comparación a una topografía llana. Esta descripción se basa en la definición entregada por el volumen N°3 del Manual de Carreteras, específicamente en el punto 3.103.201 el cual define los parámetros Llanos (la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre $\pm 3\%$), Ondulado (pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3% y 7%) y Montañoso (constituido de 4% a 9%) por cordones montañosos o cuestas la cual presenta pendientes sostenidas.
- **Redundancia del tramo:** Esta variable busca identificar si existen rutas alternativas frente a alguna interrupción en un determinado tramo, y al tiempo aumentado cuando se utiliza una ruta alternativa. Por lo tanto, la criticidad será muy alta cuando no exista alternativa. Conjuntamente con lo anterior, los siguientes niveles, desde el alto al nulo, se medirán de acuerdo a la existencia de la ruta alternativa óptima, en cuanto al aumento de tiempo en comparación a la situación base. Los tramos se considerarán críticos en cuanto a su redundancia al cruzar el umbral de criticidad impuesto por el grado de debilidad del tiempo de viaje. Un tramo es considerado crítico si su grado de debilidad es mayor o igual a 2, es decir, el tiempo de viaje de la ruta alternativa alcanza valores mayores o iguales a 2 veces el tiempo de la ruta en la situación base.
- **Porcentaje de vehículos pesados:** Esta variable refleja el porcentaje de vehículos pesados que transitan por el tramo, considerando que, a mayor porcentaje de vehículos

pesados, más crítico es el tramo ya que la vía tiene un mayor desgaste provocando un potencial deterioro de la calzada. Para esta variable se consideraron los camiones simples, camiones de más de 2 ejes y buses.

- **Cantidad de accidentes:** Esta variable refleja la cantidad de accidentes por año que presenta el tramo en estudio, la fuente de información fue la base de datos de la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET) la cual entrega los siniestros ocurridos en ruta desde el 2015 al 2021, considerando que, a mayor tasa de accidentes, más crítico es el tramo ya que a mayor cantidad de accidentes, mayor será también la probabilidad de que se interrumpa la conectividad.

2.1.2. Dimensión TMDA.

2.1.2.1. Factor TMDA en el tramo.

Variable relacionada directamente con el tránsito diario anual del tramo. Para esta variable se obtuvieron los datos de tránsito de la base de datos según la Región, del Departamento de Gestión Vial, perteneciente a la Subdirección de Desarrollo de la DV. (Departamento de Gestión Vial. DV-MOP, 2021)

2.1.3. Dimensión extrínseca.

Corresponde a la suma ponderada de los factores relacionados a las propiedades externas del camino:

$$DcE = \alpha * FS + \beta * FE + \gamma * FAN \quad (5)$$

Donde:

- DcE : Dimensión Características Extrínsecas.
FS : Factor Social.
FE : Factor Económico.
FAN : Factor Ambiental/Natural.
 α, β, γ : Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

2.1.3.1. Factor social.

Este factor busca reflejar las características sociales regionales asociadas a cada tramo. Aunque las características sociales tienen muchos aspectos complejos, para los efectos de este análisis se han seleccionado algunos factores sociales que han sido considerados más relevantes. Para este punto se considera la suma ponderada de 10 variables:

$$FS = \alpha * G + \beta * SAS + \gamma * P + \delta * IDD + \varepsilon * IAM + \epsilon * TP + \theta * CSB + \vartheta * PHH + \mu * ZU + \pi * ADI \quad (6)$$

Donde:

- FS : Factor Social.
G : Grado de Aislamiento. (SUBDERE, 2021)
SAS : Salud, APR y Seguridad (IDE CHILE, 2023)
P : Cantidad de Población. (INE, 2017)
IDD : Índice de Dependencia Demográfica. (INE, 2017)
IAM : Índice de Adulto Mayor. (INE, 2027)
TP : Tasa de pobreza. (INE, 2017)
CSB : Porcentaje de Personas Carentes de Servicios Básicos. (INE, 2017)
PHH : Porcentaje de Hogares Hacinados. (INE, 2017)
ZU : Camino en Zona Urbana. (MINVU, 2023)
ADI : Áreas de Desarrollo Indígena. (CONADI, 2020)
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \epsilon, \theta, \mu, \pi$: Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

- **Grado de aislamiento:** Esta variable determina si un tramo es utilizado para el desplazamiento de población en condición de aislamiento (localidad puntual) hacia la cabecera comunal. Se asume que a mayor cantidad de localidades aisladas que utilicen el tramo para su desplazamiento mayor será su criticidad, dado que al interrumpirse la conectividad del tramo dichas localidades quedan en mayor aislamiento.
- **Salud, Agua Potable Rural (APR) y Seguridad:** Esta variable determina si un tramo es utilizado para el desplazamiento de la población de una localidad hacia un servicio de salud, APR o seguridad. Se asume que a mayor cantidad de población de una localidad que utilicen el tramo para su desplazamiento mayor será su criticidad, dado la importancia para el abastecimiento básico de la población o cuya interrupción en su acceso puede causar grave daño a la salud y seguridad.
- **Cantidad de Población:** Esta variable mide la criticidad en función de la cantidad de población de las comunas de la región en análisis, es decir, a mayor población potencialmente afectada, mayor es la criticidad del tramo.
- **Índice de Dependencia Demográfica (I.D.D):** Variable que busca reflejar cuánta gente dependiente quedaría rezagada o desconectada de algún servicio o actividad o a su vez cuánta gente productora quedaría imposibilitada de realizar sus funciones ante alguna emergencia en el tramo en estudio.
- **Índice de Adulto Mayor (I.A.M):** Variable que busca expresar la cantidad de adultos mayores en la comuna que quedarían en una problemática ante algún corte de un tramo, toma más relevancia esta variable debido a que

este segmento de personas son las más vulnerables ante una emergencia.

- **Tasa de Pobreza:** Variable que busca manifestar que las personas más vulnerables de Chile poseen más dificultades ante algún evento que afecte su conectividad hacia algún servicio esencial, productivo o incluso recreación disminuyendo aún más su calidad de vida, este identifica al conjunto de hogares cuyo ingreso total mensual no supera el valor de la línea de pobreza (es estimada a partir del costo de una canasta de una Canasta Básica de Alimentos (CBA) por persona) y que, por tanto, no cuentan con ingresos suficientes para satisfacer el consumo de un conjunto básico de bienes alimentarios y no alimentarios..
- **Porcentajes de Personas Carentes de Servicios Básicos (P.P.C.S.B):** Variable que refleja la precariedad de las personas en sus hogares, se busca dar a entender que los tramos que unen estas zonas con algún servicio vital no pueden ser afectados de tal modo que no pueden disminuir aún más su calidad de vida. Se señala que el Porcentaje de Personas en hogares carentes de servicios básicos expresa el porcentaje de hogares que residen en viviendas que: no tiene acceso a agua potable tiene llave fuera de la vivienda o no tiene servicio de eliminación de excretas adecuado.
- **Porcentajes de Hogares Hacinados (P.H.H):** Variable al igual que la anterior busca dar importancia a la calidad de vida de las personas, por este motivo cualquier interferencia que afecte el normal desplazamiento tanto autos como ambulancias o bomberos se debe considerar un aspecto crítico. Se señala que el Porcentaje de Hogares Hacinados corresponde al porcentaje de viviendas particulares ocupadas con moradores presentes que tienen igual o más de 2,5 personas por pieza de uso exclusivo como dormitorio. Este cálculo se realiza considerando a las personas censadas en la vivienda y las piezas declaradas exclusivamente como dormitorio.
- **Camino en Zona Urbana:** Esta variable se refiere a la presencia de un camino o tramo de éste en una zona urbana. Esta variable definirá el tipo de respuesta en caso de emergencia o desastre, considerando que en dichas zonas esta respuesta será menos eficaz considerando las fricciones urbanas, en comparación si es que el tramo del camino se encuentra en una zona rural.
- **Área de desarrollo indígena (ADI):** Las ADI son espacios territoriales determinados en los cuales los órganos de la Administración del Estado deben focalizar su acción para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas de

origen indígena que habitan en dichos territorios. Esa variable busca un reconocimiento, fomento y desarrollo de los pueblos indígenas, a la vez que tiene incidencia en la implementación de proyectos debido a los convenios internacionales que ha suscrito Chile.

2.1.3.2. Factor económico.

característica que busca representar el sistema económico presente en las vías con el objetivo de conocer la criticidad en cuanto a pérdidas económicas como pérdidas productivas, tomando en consideración a las empresas como a los trabajadores si se llega a cortar la vía. Para este punto se considera la suma ponderada de 2 variables:

$$FE = \alpha * SP + \beta * ST \quad (7)$$

Donde:

- FE : Factor Económico.
- SP : Sistemas Productivos. (SII, 2023)
- ST : Sistema de Transporte No Carreteo. (MOP, 2023)
- α, β, γ : Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

- **Sistemas Productivos (Grande, Mediana y PYME):** Esta variable está relacionada al factor económico, y busca establecer el nivel de importancia que posee una comuna respecto al tamaño y cantidad de empresas presentes en ella de esta forma darle importancia al tramo presente en la comuna como también al tamaño de esta. Para esto se busca la cantidad y tamaño de empresas (categorizadas en micros y pequeñas, medianas y grandes), cabe mencionar que el tamaño de la empresa depende de las ventas realizadas al año, que están dentro una comuna. Es por esto que, por cada categorización de tamaño de empresa, se considerará más crítico un tramo de un camino que esté dentro de una comuna que tenga la mayor presencia de empresas según corresponda. Para este punto se considera la suma ponderada de las 3 variables:

$$SP = \alpha * GE + \beta * ME + \gamma * PYME \quad (7)$$

Donde:

- SP : Sistemas Productivos.
- GE : Grande Empresa.
- ME : Mediana Empresa.
- PYME : Pequeña y Micro Empresa.
- α, β, γ : Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

- **Sistema de Transporte No Carretero:** Esta variable determina si un tramo es utilizado para el desplazamiento desde la cabecera comunal hacia a un sistema de transporte no carretero, tales como: puertos marítimos, aeropuertos, estaciones de carga de la red ferroviaria y pasos fronterizos. Se asume que a mayor cantidad de uso del tramo para su desplazamiento mayor será su criticidad, dada la importancia que poseen dichos tramos para el funcionamiento de la actividad económica.

2.1.3.3. Factor ambiental/natural.

Característica que busca relacionar las áreas protegidas y las amenazas naturales con las vías. Mientras el tramo pase por una o más áreas protegidas o está expuesto a una o más amenazas, más crítico es. Para este punto se considera la suma ponderada de 2 variables:

$$FAN = \alpha * AP + \beta * AN \quad (7)$$

Donde:

- FAN : Factor Ambiental/Natural.
AP : Áreas Protegidas. (Ministerio del Medio Ambiente, 2023)
AN : Amenazas Naturales. (DV-MOP, 2023) (SENAPRED, 2023) (SHOA, 2023)
 α, β : Valores de ponderación determinados en talleres multicriterios regionales.

- **Áreas Protegidas:** La finalidad de esta variable es tener en consideración de que exista o no un tramo o camino que pase por un área protegida. Será más crítico si pasa por

dicha zona, ya que ésta es un área medioambientalmente más frágil.

- **Amenazas Naturales:** Variable que busca analizar la presencia o no de amenazas naturales del tramo que pase por éstas, con el objetivo de identificar la exposición de los caminos a éstas. A mayores amenazas naturales cercanas o presentes en el camino, más crítica se torna el tramo.

Para la determinación de los coeficientes de ponderación, se desarrollan talleres multicriterios regionales, en donde participan el Director Regional de Vialidad junto con sus equipos regionales.

En dicho taller, se consulta a cada participante el orden de importancia de las dimensiones, factores y sub factores, con el objetivo de generar espacios de discusión entre los participantes respecto a cómo visualizan su territorio en relación a las variables que determinan la RVC.

En este documento se muestra el caso de la región del Maule, mostrando el resultado final obtenido. Sin embargo, se menciona que la implementación de esta Metodología partió a finales del año 2022 con la realización de 4 talleres regionales y que este primer semestre se han calculado los resultados de esas regiones, las cuales son: Tarapacá, Valparaíso, Los Lagos y Maule. Comentar también que este desarrollo metodológico está en su primera implementación piloto, por lo tanto, para una segunda versión se podría ajustar en la medida que se requiera de acuerdo a observaciones y recomendaciones tanto internas como externas.

Finalmente, en la Figura 1 se puede visualizar como queda compuesto el Modelo de la Red Vial Crítica junto a sus dimensiones, factores y sub factores.

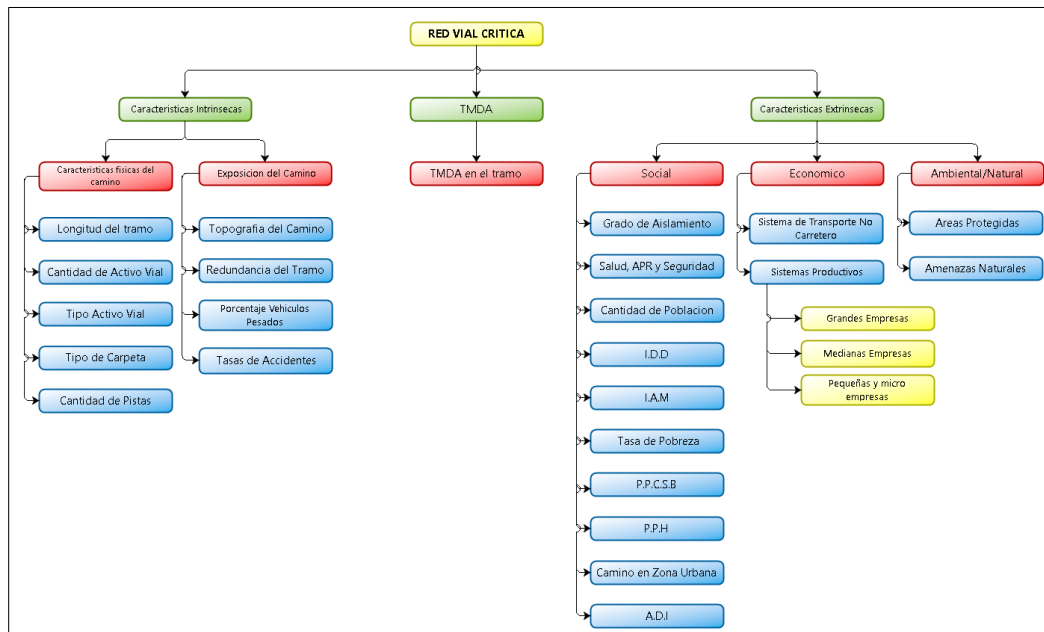


Figura 1. Modelo RVC (Fuente: Elaboración propia).

3. Análisis de resultados.

3.1. Resultados.

Se debe mencionar que el modelo desarrollado se puede utilizar para toda la red vial de una región, sin embargo, como es un desarrollo piloto, se determinó que en principio iba a ser aplicado a la Red Vial Estructurante. Ésta, corresponde a una estructura mallada que se construye a partir de la base de Caminos Nacionales e incorpora caminos de acuerdo a una investigación de temas territoriales e identificación de criterios específicos de cada región, rescatando la particularidad de cada territorio, principalmente identifica caminos que dan conectividad a los principales centros poblados y sistemas productivos, además de

potenciar el desarrollo económico y territorial. Esta RVE ya se encuentra desarrollada para todas las regiones del país, a través de un desarrollo interno.

En la Figura 2 se muestra el resultado final, el cual corresponde a un mapa de la Red Vial Estructurante (RVE) con sus distintos niveles de criticidad, correspondiente a la región del Maule

El resultado es un Índice de Criticidad, que va desde 0 a 1, en donde se definieron 5 niveles, los cuales se visualizan en distintos colores dependiendo del grado de criticidad, así el color rojo representa los niveles altamente críticos y el color verde claro menores niveles de criticidad.

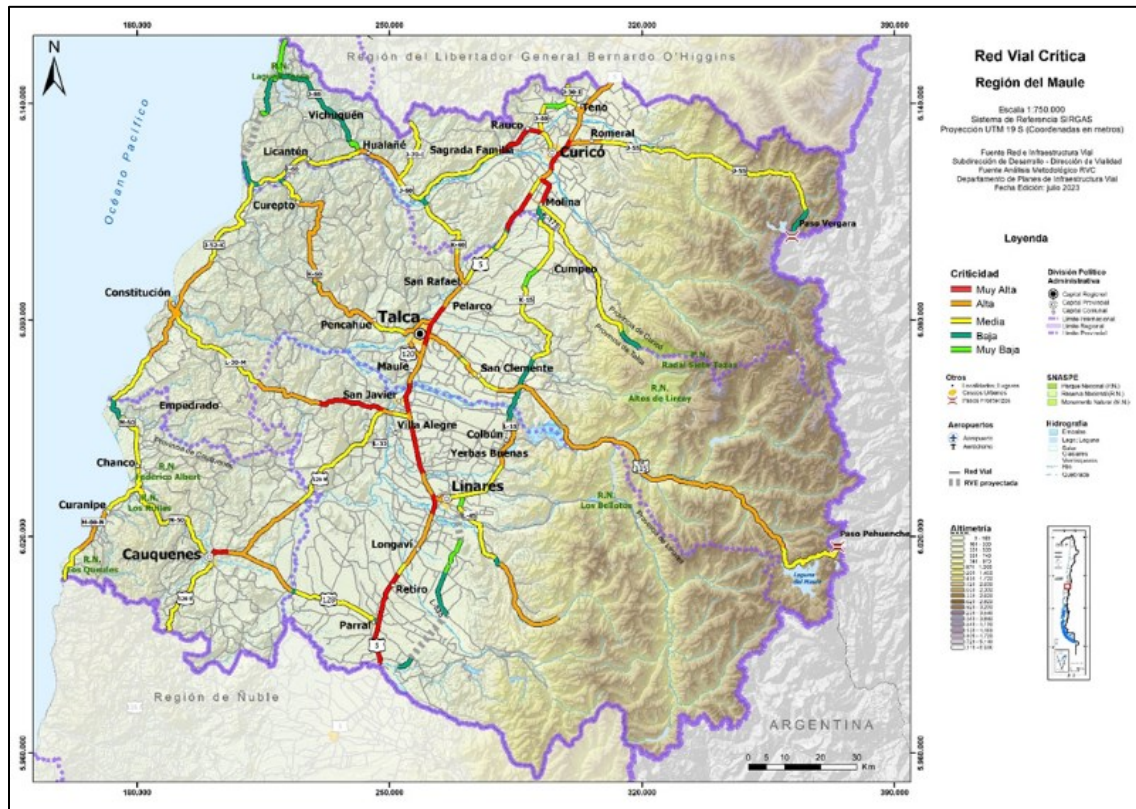


Figura 2. Mapa RVC (Fuente: Elaboración propia).

3.2. Análisis.

A partir de los resultados se puede desprender que los tramos con mayor criticidad se **concentran en la zona central** de la región, concretamente en la Ruta 5. Se observa en el mapa que los valores más críticos corresponden en su mayoría a tramos de la Ruta 5, esto debido a su alto TMDA y sus características intrínsecas. También se observa que la Ruta Internacional que es transversal presenta un valor alto de criticidad. Por el contrario, los tramos con baja o muy baja criticidad se presentan en rutas interiores en los valles cercanos a la precordillera.

Los distintos niveles de criticidad obtenidos, permiten orientar la definición de la tipología de intervenciones a adoptar. En consecuencia, se recomienda definir medidas y acciones a corto y mediano plazo en aquellos tramos con los mayores niveles de criticidad.

En general, lo que se le sugiere a cada Dirección Regional de Vialidad es que, a partir de sus resultados, definan la "R" (Robustez, Redundancia, Rapidez y Recursos) con la que debiesen actuar en sus tramos críticos, es decir: ¿cuánta resiliencia es necesaria?, ¿en cuál "R" es más efectivo actuar? y ¿cuánto de cada R?

4. Conclusiones.

Esta Metodología ha sido formulada y desarrollada por el equipo metodológico del Departamento de Planes de Infraestructura Vial, con el objetivo de apoyar a los equipos regionales en la toma de decisiones, incorporando información territorial atinente para la identificación de la criticidad de la red vial.

Cabe mencionar que la aplicación de la Metodología está implementándose de **manera piloto** durante este año 2023 en 4 regiones del país. Los resultados fueron enviados a las respectivas regiones, encontrándose en estos momentos en un proceso de análisis interno que les permita definir acciones específicas destinadas a responder a los distintos grados de criticidad identificados con la Metodología. Luego, una vez que se hayan realizado los análisis internos en las regiones y haya habido una retroalimentación con el equipo metodológico, es posible realizar mejoras en la formulación del modelo, así como también en la medida que se vaya implementando la Metodología.

Finalmente, esta Metodología se transforma en una herramienta de apoyo en la identificación de iniciativas de inversión, específicamente en lo referente a proyectos que aporten a fortalecer la resiliencia de la red vial.

5. Referencias.

- UGIT DV-MOP. (2023). Visor de la Red Vial Nacional. Obtenido de Base de Datos Georeferenciada: <http://www.mapas.mop.cl/>

- CONADI. (2020). Sistema de Información Territorial Indígena. Obtenido de <https://siic.conadi.cl/>
- CONASET. (2023). Portal de Información Geoespacial. Obtenido de Siniestros en Ruta: <https://mapas-conaset.opendata.arcgis.com/search?groupId=6a83a82d3a454901a0db148fa959d5e6>
- Departamento de Gestión Vial. DV-MOP . (2021). Base de datos Sectorización. Santiago: Dirección de Vialidad.
- Dirección de Vialidad, MOP. (2023). Dirección de Vialidad. Obtenido de <https://vialidad.mop.gob.cl>
- DV - MOP. (2023). FEMN. Obtenido de SIEMOP: <https://sgm.mop.gov.cl/maximo/webclient/login/login.jsp?appservauth=true>
- Gay Alanís, L. (2016). Infraestructura Resiliente: Desempeño Sostenido en un Mundo Siempre Cambiante. *Entretextos*, 8(24), 1-10. doi:<https://doi.org/10.59057/iberoleon.20075316.201624347>
- IDE CHILE. (2023). Geoportal de Chile - Visor de Mapas. Obtenido de <http://www.geoportal.cl/visorgeoportal/>
- INE. (2017). Censo de Población y Vivienda. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/censo-de-poblacion-y-vivienda>
- Medina Santibañez, M. (19 de 07 de 2023). Gestión de Desastres. (C. Riquelme Reyes, Entrevistador) Santiago, Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Registro Nacional de Áreas Protegidas. Obtenido de <https://areasprotegidas.mma.gob.cl/>
- MINVU. (2023). IDE MINVU. Obtenido de <https://ide.minvu.cl/>
- MOP. (2023). IDE MOP. Obtenido de <https://ide.mop.gob.cl/geomop/>
- SENAPRED. (2023). Visor Chile Preparado. Obtenido de <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5062b40cc3e347c8b11fd8b20a639a88>
- SHOA. (2023). Cartas de Inundación por Tsunami. Obtenido de <http://www.shoa.cl/php/citsu.php>
- SII. (2023). Estadísticas de Empresas. Obtenido de https://www.sii.cl/sobre_el_sii/estadisticas_de_empresas.html
- SUBDERE. (2021). Estudio Identificación de Localidades en Condición de Aislamiento. Santiago.
- Tierney, K., & Bruneau, M. (2007). Conceptualizing and Measuring Resilience: A Key to Disaster Loss Reduction. *TR News*, 14-17. Obtenido de <http://worldcat.org/issn/07386826>