

Consideración de la incerteza y de multi-disciplinas en la determinación de criterios sostenibles de caminos rurales usando la lógica neutrosófica

LEONARDO SIERRA

Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile, leonardo.sierra@ufrontera.cl

FELIPE ARAYA

Profesor Instructor, Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María, Avda. España 1680, Valparaiso, Chile, felipe.araya@usm.cl

VICTOR YEPES

Catedrático, ICITECH, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain, vyepesp@cst.upv.es

En Latinoamérica, es posible encontrar una gran brecha entre los kilómetros de caminos pavimentados y aquellos sin ningún tipo de protección. Esta condición se agrava en zonas rurales limitando las oportunidades de desarrollo y la calidad de vida de sus habitantes. En Chile existen programas estatales que buscan reducir la brecha territorial a través de soluciones de pavimentación básicas de bajo costo; sin embargo, los criterios de priorización de caminos rurales no son claros. Múltiples actores influyen en el territorio rural y la inexistencia de patrones de referencia aumenta la subjetividad en la toma de decisión de infraestructura. Este estudio busca determinar criterios que influyan en la selección de caminos rurales en el Sur de Chile para promover un desarrollo territorial sostenible; en consideración de los múltiples actores y la incertidumbre del proceso de selección. Para ello una revisión documental y 12 entrevistas semiestructuradas fueron realizadas. Los criterios son validados a través de un panel de expertos multidisciplinar y la aplicación de números neutrosóficos para tratar la incertidumbre derivada de la consulta a expertos. El resultado de este estudio aportó catorce criterios sostenibles para apoyar la planificación de caminos básicos rurales en el Sur de Chile.

1. Introducción

La mejora en los caminos rurales permite el acceso de otros servicios a la ruralidad y aporta una movilidad digna. Su adecuada planificación reduce la desigualdad en la provisión y calidad de los servicios de infraestructura; en especial para reducir la pobreza y el aislamiento en contextos rurales e indígenas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020). Este enfoque es consistente con el objetivo de desarrollo sostenible que promueve la mejora de las condiciones de equidad en el acceso a infraestructura y servicios para reducir la pobreza multidimensional.

En efecto, en Latinoamérica aún existen caminos rurales deteriorados, con pendientes pronunciadas y suelos inestables que impiden el adecuado transporte motorizado. Esto se contradice con las necesidades estratégicas de producción, conectividad y desarrollo territorial. En este contexto, el 88.7% de las exportaciones transita por caminos rurales y permiten la distribución de bienes y servicios a todo el territorio. Más de 900 millones de habitantes pertenecen a zonas rurales; los cuales no cuentan con un adecuado sistema de transporte que potencia el aislamiento y la pobreza (CEPAL, 2020; Peláez Ponce et al., 2011). En este contexto, es normalizado que la conectividad rural es a través de caminos con barro cuando llueve o de excesivo polvo cuando es seco. De esta forma, la infraestructura rural brinda oportunidades para generar una transformación productiva, y un desarrollo territorial sostenible atendiendo a las condiciones particulares del entorno. La falta o desigualdad en calidad de infraestructura produce un freno en el desarrollo rural de las localidades desprovistas.

Al año 2015, la infraestructura vial en Latinoamérica y el Caribe alcanza a 3 km de carretera pavimentada por cada 100 km² área territorial (CEPAL, 2020). Ante la limitada disponibilidad de recursos públicos es necesario identificar las necesidades más críticas de movilidad, para un desarrollo gradual de la región. En este sentido, la inversión en conectividad rural puede ser vista como un proceso secuencial y de largo plazo (Gannon & Lui, 2001, Technical Committe A4, 2013). Este enfoque evita el riesgo de invertir prematuramente en obras más costosas, sobredimensionadas o no apropiadas para un momento.

En Chile la red vial al año 2019 alcanza a 85.926 Km, de los cuales el 56% corresponden a caminos de ripio y tierra, y más del 52% son rurales (Dirección de Vialidad, 2020a). Desde el año 2003 con el propósito de buscar una solución progresiva se crea el Programa Caminos Básicos. Un camino básico consiste en una estructura de rodadura sin protección de estabilizado, ni cambio geométrico; tiene la particularidad de tener un tránsito medio diario anual menor a 300, con no más de 75 vehículos pesados por día (Herrera et al., 2009). El programa de Caminos básicos apunta a mejorar la calidad de vida de los habitantes del entorno rural, disminuir los costos de conservación de re perfilados y reposición de material granular, y mejorar la confortabilidad de transporte del usuario. Al 2019 el programa de caminos básicos ha brindado una solución a 30.000 km de la red nacional (CEPAL, 2020; Dirección de Vialidad, 2020a).

Sin embargo, la asignación de inversión para esta infraestructura no puede ser evaluada en igualdad de condiciones bajo los parámetros de los sistemas nacionales de inversiones públicas, que están basados en la rentabilidad socioeconómica y la demanda. La baja tasa de ocupación de estas infraestructuras limita la evaluación y de hecho los ahorros de tiempo tienden a perder sentido en el contexto rural sin la evaluación de la interacción social y económica (Smith & Gonzalez, 2000; van de Walle, 2009). Para estos efectos, en Chile estos programas son financiados directamente con presupuestos sectoriales de obras públicas de conservación. De esta forma, los criterios y métodos empleados para evaluar la inversión y priorización del Programa Caminos Básicos no están aun claramente definida (Contraloría General de la República de Chile, 2018). Esta condición no es muy distinta a lo

que ocurre en otros países de Latinoamérica en donde los programas de apoyo a la infraestructura de baja demanda son incurridos como glosas especiales del presupuesto nacional (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2006; Sierra et al. 2017; Secretaría de Comunicación y Transporte México, 2019; CEPAL, 2020).

El enfoque en la inversión de un camino básico rural no se limita a la maximización del beneficio, sino a la creación de capacidades territoriales donde no las hay o donde son muy precarias (Gannon & Lui, 2001). La creación de capacidades mejora el vínculo de lo urbano con lo rural, que actúa como un catalizador de las mejoras productivas y del ingreso en un territorio rural. Para esto, el método de evaluación que mejor se acomoda a estos casos, requiere la consideración de aspectos no solo socioeconómicos, sino también sociales, ambientales y técnicos asociados a un territorio (Shen et al. 2011).

En la práctica en Chile, la mayoría de las veces al realizar un estudio de viabilidad de un proyecto de infraestructura, se evalúa y prioriza mediante el aspecto económico (Herrera et al., 2009; Paredes & Herrera, 2020). La infraestructura hoy en día no solo es un medio para el desarrollo económico de un territorio, también aspectos directos como el acceso a la educación, la salud, al trabajo, elementos culturales o de identidad, la contaminación del entorno e indirectos y transversales como la equidad están asociados. La infraestructura de caminos no está ajena a esta condición y en particular aquellos de bajo estándar que promueven el desarrollo en zonas vulnerables. De esta forma, una adecuada evaluación de proyectos de infraestructura rurales debe considerar la incidencia de los múltiples aspectos que afectan al desarrollo territorial. Intervenciones planificadas de conectividad rural que consideran la organización del contexto y sus necesidades, normalmente ocasionan nuevos servicios de transporte con itinerarios predecibles y a precios asequibles para grupos poblaciones no considerados en el sistema de movilidad vigente (Sierra et al., 2017; Smith & Gonzalez, 2000).

En esta línea, destacan la implementación de dos propuestas de modelo de planificación de infraestructura de caminos rurales que consideran variables no económicas. La ONU ha propuesto el índice de acceso rural (RAI) que representa el porcentaje de la población que habita a menos de 2 km de un camino. Este indicador es consistente con el objetivo de desarrollo sostenible de equidad en el acceso a la infraestructura; sin embargo, actualmente la medición de la población bajo esta condición no está completamente implementada en los programas censales de los países de América Latina y el Caribe (World Bank, 2019). Por su parte, en la provincia de Corrientes - Argentina se ha determinado lo social, lo productivo, lo educativo, y la resiliencia y adaptación como enfoques claves para priorizar la inversión en infraestructura rural de la red vial, bajo un sistema de información geográfica (Revista Vial, 2019, 2020). Sin embargo, la participación multidisciplinar y los enfoques de diferentes actores del desarrollo territorial (agricultores, usuarios, etnias residentes, operadores turísticos, gobierno regional entre otros) han sido escasamente documentados en los modelos de toma de decisión. Además, los procesos de participación arrojan incertezas de juicios de valor, respecto de la incidencia en un territorio específico o en un periodo determinado que aún no ha sido suficientemente considerado.

En efecto, la planificación en infraestructura de transporte rural debe ser coordinada con otras políticas complementarias para sincronizar los diferentes impactos según etnias, géneros, edades y otros ámbitos de caracterización poblacional (Sierra, Yepes, García-Segura, & Pellicer, 2018; van de Walle, 2009). Además, para satisfacer la demanda de movilidad es necesario concebir la articulación interterritorial; es decir los medios de conectividad tributan a la organización particular del territorio (CEPAL, 2020). Esto refleja que un modelo de planificación vial requiere la participación multidisciplinaria y con conocimiento del contexto para evidenciar los efectos sobre el territorio y representar adecuadamente las influencias de la red de caminos. La heterogeneidad del desarrollo

regional o la imposibilidad de estandarizar un impacto en diferentes contextos son aspectos relativizados en los modelos de decisión (Esteves, Franks, & Vanclay, 2012).

En un sistema territorial participan múltiples actores y áreas disciplinarias que pueden reconocer las necesidades sobre un espacio geográfico; cada uno basado en una formación y enfoque parcializado. Sin embargo, la integración e interacción de los actores en un territorio obliga al reconocimiento integral bajo un enfoque holístico (Shen et al. 2011). Esta condición implica un enfoque multidisciplinario y en consecuencia aumenta la incerteza de los juicios de valor de los criterios de evaluación de una infraestructura que influencia un territorio (Navarro, Yepes, & Martí, 2019; Saaty, 1980; Sierra, Pellicer, & Yepes, 2016). La integración de un grupo de especializado disciplinar puede reducir la incertidumbre de conocimiento, sin embargo, la variabilidad del método de participación, la integración multidisciplinaria y la inexistencia de patrones de referencia para las disciplinas no dominadas aún pueden conducir a una indeterminación e inconsistencia que se debe considerar. En esta línea, los números neutrosóficos son una forma de procesar la información cognitiva en problemas de toma de decisión de múltiples criterios. Esta técnica deriva de la teoría de conjuntos difusos y permite trabajar con información incompleta para capturar un juicio de valor con grados de indeterminación, de verdad y de falsedad (Smarandache, 2007). La teoría de Números Neutrosóficos ha sido utilizada en la solución de problemas de toma de decisión relacionadas con ubicación de plantas de incineración de desechos (Zavadskas, Baušys, & Lazauskas, 2015), selección de tecnología energética (Pamucar, et al., 2018) y la evaluación de la sostenibilidad de puentes de hormigón (Navarro et al., 2019).

De acuerdo a lo anterior, la mejora de los caminos rurales es un aporte a la productividad y el desarrollo territorial; sin embargo, su priorización no se ajusta al sistema nacional de inversiones convencionales. Además, un modelo de evaluación que represente la influencia de los caminos rurales sobre el territorio debe abarcar múltiples criterios y considerar los múltiples actores y disciplinas. Esto implica la determinación de un modelo de toma de decisión holístico que debe considerar la incerteza de los juicios de valor del sistema territorial. En Chile los criterios de evaluación del programa de caminos básicos no están aun claramente definidos. Por lo tanto, este trabajo propone un método para generar criterios de evaluación de los Caminos Básicos Rurales que promuevan la planificación sostenible de un territorio; a través de la participación multidisciplinaria y la consideración de la incertidumbre por medio de la lógica neutrosófica. Este artículo se basa en el caso de estudio de los caminos concentrados en la Región de la Araucanía – Chile.

2. Metodología y Caso de Estudio

2.1 Técnicas

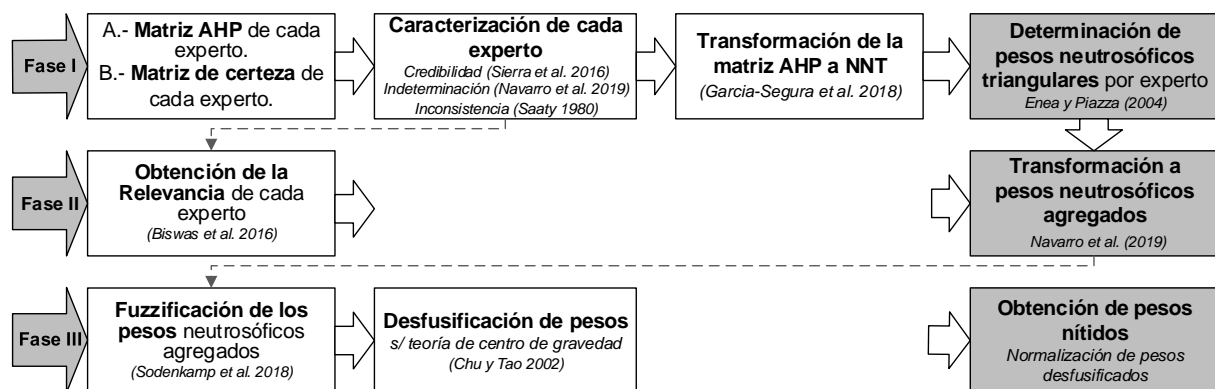
El método propuesto se basa principalmente en dos técnicas que permiten capturar, agrupar y procesar la información cognitiva incierta de especialistas multidisciplinarios: un proceso analítico jerárquico (AHP), y un procesamiento a través de conjuntos neutrosóficos.

El método AHP es una técnica de evaluación en que los tomadores de decisión comparan dos elementos que pertenecen a un mismo nivel de jerarquía. Cada comparación se basa en la escala fundamental de Saaty (Saaty, 1980) que expresa cuán importante es un elemento i frente a j ; en una escala de 1 (igual importancia) a 9 (i es extremadamente más importante que j) y tomando valores intermedios para relativizar la comparación. De esta forma, cuando n elementos son comparados entre ellos el resultado de una matriz de comparación cuadrada está compuesto por valores $\{a_{ij}\}$, sus recíprocos $\{a_{ji} = 1/a_{ij}\}$, y cuando $i=j$ el valor de $a_{ji} = 1$, con $i, j \in \{1, \dots, n\}$. Para mayores antecedentes de los fundamentos e implementación de la técnica AHP referirse a Saaty (1980).

Como una extensión al método AHP para considerar la vaguedad del juicio emitido se emplean los números neutrosóficos triangulares (NNT). Un número neutrosóficos deriva de la teoría de la lógica difusa y es expresado como $\bar{a} = \langle (a_1, a_2, a_3); t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a} \rangle$. Un NNT está compuesto por una distribución triangular (a_1, a_2, a_3) que representa el límite de valoración más baja, el valor más probable y el límite de valoración más alta, respectivamente de acuerdo a la escala fundamental de Saaty. Además $t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a}$ se asocian a los valores que determinan el grado máximo de verdad, el mínimo de indeterminación y de falsedad, respectivamente; que provienen de la caracterización de los individuos consultados. El recíproco de un NNT está asociado a un valor $1/\bar{a} = \langle (1/a_3, 1/a_2, 1/a_1); t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a} \rangle$ y la comparación diagonal entre el mismo elemento es representada como $a_{ii} = \langle (1,1,1); 0,0,0 \rangle$. Otras propiedades y operatividad de los conjuntos neutrosóficos pueden consultarse en Ye (2013) y Liang et al. (2018).

Específicamente, este estudio busca determinar los pesos de importancia que un conjunto de especialistas asigna a ciertos criterios de evaluación de Caminos Básicos rurales, tratando la incerteza individual y colectiva. Para ello y en consistencia con los lineamientos de Navarro et al. (2019), la implementación representativa de los números neutrosóficos requiere del desarrollo de tres fases, representadas en la Figura 1. En una primera fase son determinadas las matrices AHP por cada experto y las matrices con grado de certeza respecto de cada comparación. El análisis de perfil del experto permite caracterizarlo en base a su credibilidad, indeterminación e inconsistencia de sus respuestas (Sierra et al. 2016, Navarro et al. 2019, Saaty, 1980). Estos procesos permiten transformar la matriz convencional AHP a NNT (García-Segura et al. 2018) y determinar los pesos (Enea y Piazza 2004). En una segunda fase es determinada la relevancia que presenta cada experto de acuerdo a su caracterización (Biswas et al. 2016); para agrupar los pesos neutrosóficos. Por último, en una tercera fase los números neutrosóficos agregados son *fuzzificados* (Sodenkamp et al. 2018) y *desfuzificados* (Chu & Tao, 2002) para constituirse en pesos nítidos por cada ítem evaluado.

Figura 1: Fases de aplicación de los números neutrosóficos



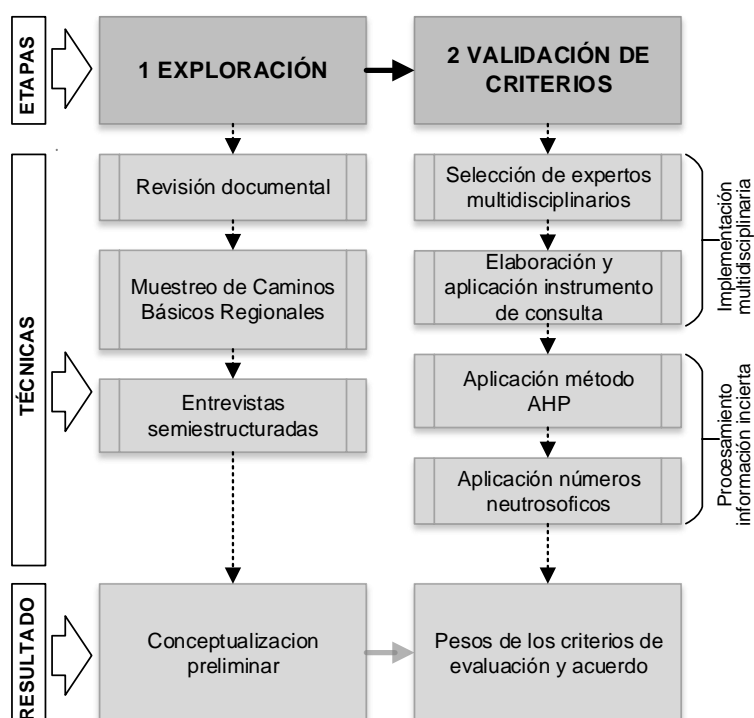
Adaptado de Navarro et al. 2019.

2.2 Método de Investigación

La implementación del método busca identificar los criterios para la selección de mejora de caminos básicos rurales que promuevan el desarrollo territorial sostenible. La figura 2 representa el proceso de trabajo agrupado en dos etapas. La primera etapa consiste en una

exploración de los criterios de evaluación de los caminos básicos rurales que influyen en la sostenibilidad de un territorio. Como resultado de esta etapa surge una conceptualización preliminar de la influencia de los caminos básicos en la sostenibilidad territorial que es reflejada a través de un conjunto preliminar de criterios de evaluación. En la segunda etapa los criterios son sometidos a un proceso de validación, a través de la opinión de un conjunto de especialistas multidisciplinares y la consideración de la incertidumbre en sus juicios de valor. Como resultado de la segunda etapa derivan los pesos que el conjunto de especialistas brinda los criterios de evaluación; y con ello acordar la selección de aquellos con mayor contribución a la sostenibilidad del territorio.

Figura 1: Método de investigación



En la etapa de exploración una triangulación de la información fue requerida. En principio hace una revisión de la literatura científica y de documentos técnicos. La revisión de la literatura abarcó 45 trabajos que incluyen artículos indexados en la WOS entre los años 2000-2020 y documentos técnicos BID, CEPAL e instituciones nacionales e internacionales (Tabla 1). En adición, se lleva a cabo un muestreo estratificado de los caminos básicos rurales mejorados, por zona de desarrollo regional. La selección de los caminos se prioriza de acuerdo a la mayor accesibilidad regional (López, Monzón, Ortega, & Quintana, 2009). Los caminos seleccionados son estudiados a través de la revisión de sus antecedentes técnicos (perfil, anteproyecto, proyecto, estudio de impacto ambiental) y visitas de campo. Los antecedentes anteriores son contrastados con el resultado de doce entrevistas semiestructuradas a especialistas sectoriales representantes de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Direcciones de Obra y de Desarrollo Social de ocho Municipios comunales, ONGs de Desarrollo y Hábitat regional, Académicos de Universidades (Geografía, Obras Civiles, Economía) y Dirigentes Vecinales de zonas rurales.

Tabla 1: Revisión de la literatura científico - técnica

Ámbito de estudio	Autores
Social: Participación ciudadana, Identidad, Movilidad, Educación, Salud, Aislamiento, Integración, Riesgos para usuario, Población beneficiada, Transporte público, Sitios históricos y culturales, Fragmentación del hábitat, Pobreza e ingreso, Seguridad del entorno	Zulaica y Celemin (2008); Poch, et al. (2012); Sierra et al. (2016-2018); Gannon y Lui (2001); Jeong et al. (2014); Bueno et al. (2015); Paredes y Herrera (2020); Suprayoga et al. (2020); BID (2017); Departamento de Transporte de Estados Unidos (Invest) (2012); Díaz-Sarachaga et al. (2016); Shen et al. (2012); van de Walle (2009); Mitchard et al (2011); Bonsall y Kelly (2005); Jeon et al. (2010); Hong et al. (2011); Curriel- Esparza et al. (2016), Thomopoulos et al. (2013); Gilmour et al (2011); OSE (2009)
Técnico: Seguridad vial, Obtención de materiales, geometría del trazado, Infraestructura existente, Deterioro, Riesgo de desastre (inundación terremoto), innovación, Flujo vehicular, movimientos de suelos, hidrología,	Jeong et al. (2014); Paredes y Herrera (2020); MOP-Chile (2020); Arroyo et al. (2018); Santos et al. (2017); Departamento de Transporte de Estados Unidos (Invest) (2012); Greenroads Foundation (2012); Chamorro y Tighe (2009); Hayati et al. (2013); Technical Comité A4 (2013); Dirección de Vialidad- Chile (2020b); Santos et al. (2010); ISI (2015); Macura et al. (2011); CEPAL (2020); Dirección de Vialidad (2011); Kucukvar et al (2014)
Económico: Actividad económica zona, Uso recursos públicos. Costos mantenimiento, Desarrollo económico comunitario, Externalidades y análisis de costos, Empleo, Zonas turísticas, Costo inversión.	Vassallo y Bueno (2015); Navarro et al. (2019); Bueno et al. (2015); Paredes y Herrera (2020); Suprayoga et al. (2020), Brocker et al. (2010); Kucukvar et al (2014); Reza et al. (2014); Umer et al. 2016; Boz y El-Adaway (2015); Ramani et al (2011); Ivanovic et al. (2013); CEPAL (2020); BID (2006); Santos et al. (2017); Greenroads Foundation (2012); Chamorro y Tighe (2009); Hameed y Hancock (2014); Hayati et al. (2013); Torres-Machi et al. (2019); Asomani-Boateng et al. (2015); Shen et al. (2012); van de Walle (2009); Santos et al. (2010); ISI (2015);
Ambiental: Paisaje, Especies protegidas, Áreas protegidas, Riesgos para salud en el contexto, Infraestructura verde, Materiales reciclados, Uso eficiente de recursos hídricos y energéticos, Reducción de emisiones.	Zulaica y Celemin (2008); Bueno et al. (2015); Paredes y Herrera (2020); Suprayoga et al. (2020); Fernández-Sánchez y Rodríguez-Lopez (2010); BID (2017); Arroyo et al. (2018); Departamento de Transporte de Estados Unidos (Invest) (2012); Greenroads Foundation (2012); Díaz-Sarachaga et al. (2016); Hayati et al. (2013); Larrea-Gallegos et al. (2017); Torres-Machi et al. (2019); Shen et al. (2012); Dirección de Vialidad- Chile (2020b); Lidskog y Soneryd (2000); Marzouk et al. (2017); Espinoza et al. (2020)

En la etapa de validación un conjunto de 24 expertos con diferente disciplina y formación participaron en la resolución de un cuestionario de comparación pareada de los criterios preliminares de la etapa 1. Los criterios de selección de los expertos siguen las orientaciones de Hallowell y Gambatese (2010) e implementaciones previas del equipo de investigación (Sierra et al. 2016). Específicamente los criterios resguardados del perfil de los expertos que participaron en el estudio son: el poseer un reconocido prestigio/trayectoria por su conocimiento en relación con Caminos Básicos o Desarrollo territorial; tener residencia en Región de La Araucanía – Chile; poseer un grado de educación nivel superior técnico o profesional; poseer una experiencia mínima de tres años; tener disponibilidad y voluntariedad para participar en el estudio; y pertenecer y representar a las instituciones/actores considerados de interés para el desarrollo territorial. La Tabla 2 identifica la representación, formación y experiencia del grupo de 24 expertos que participo en el estudio

Tabla 2: Perfil de los expertos

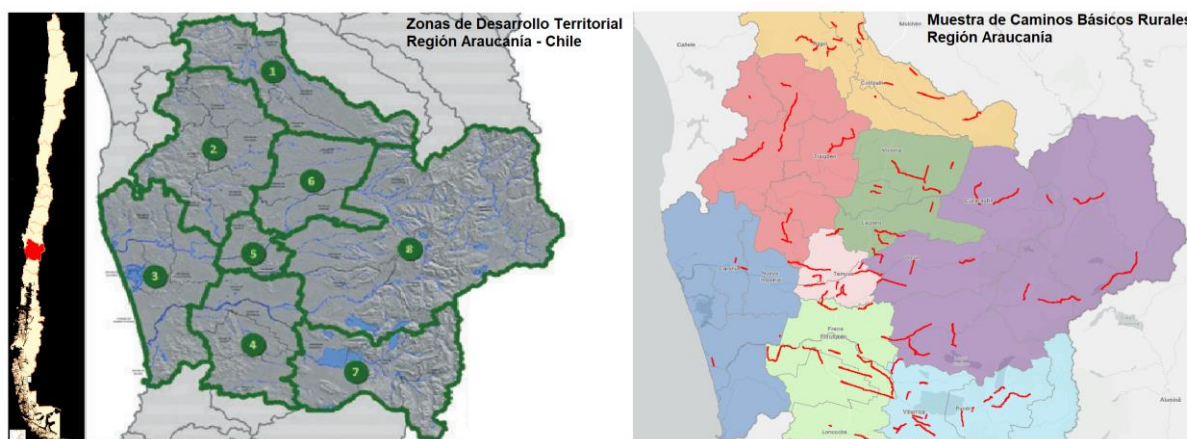
Representación institucional	%	Formación	%	Años experiencia	% .
Gobierno Regional Araucanía	13%	Ingeniería Civil	17%	5 a 10	22%
Ministerio de Obras Publicas- Araucanía	17%	Geografía	9%	11 a 15	26%
Servicio Agrícola y Ganadero	9%	Agronomía/Forestal	17%	16 a 20	30%
Universidades regionales (4)	26%	Administración pública	4%	más de 20	22%

2.3 Caso de Estudio

El método propuesto se aplica sobre un conjunto de caminos básicos de la Región de la Araucanía en Chile. La región de La Araucanía tiene una superficie de 31.842 Km², 32 comunas y una población rural de 281.127 personas (32.3% población regional). Al año 2019 la red de caminos de la región alcanza el 14% de la red nacional y de ellos el 77% (9.314 Kms) corresponden a caminos que tienen una rodadura en grava o tierra. Esto representa la mayor cantidad de caminos no pavimentados a nivel nacional (Dirección de Vialidad, 2020a). Sobre un universo de 119 proyectos de caminos básicos regionales ejecutados entre el año 2003 y 2017 se determina una muestra probabilística de 83 proyectos (976 Kms) a un 95% de nivel de confianza (Garza & Coronel 1970). La muestra de caminos es distribuida en ocho zonas de desarrollo territorial para la región. La Figura 4 representa la localización geográfica de la región, las zonas de desarrollo y muestra de caminos básicos estudiados. El estudio fue realizado en el periodo comprendido entre julio 2019 y diciembre 2020.

Figura 4: Localización del caso de estudio

1. Malleco Norte 2. Nahuelbuta 3. Intercultural de Ríos y Mar 4. Asociación Cautín – Sur 5. Temuco – Padre Las Casas 6. Asociación Valle Central
7. Araucanía Lacustre 8. Cordillera Andina



3. Resultados

Como resultado de la Etapa 1 surge un conjunto de 23 criterios de evaluación de caminos básicos rurales, que determinan el aporte sostenible al desarrollo territorial de la Región de La Araucanía Chile (Figura 3). Los criterios son sometidos al juicio de los expertos en la Etapa 2; a través los procedimientos, referencias y técnicas descritas en la subsecciones 2.1 y 2.2.

Específicamente, a partir de las respuestas del instrumento de consulta son completadas las matrices AHP y las de certeza de los 23 expertos.

La caracterización de experto se realiza en base a su credibilidad, indeterminación e inconsistencia. La credibilidad es determinada de acuerdo al nivel de experiencia y conocimiento de cada experto (Sierra et al. 2016). La indeterminación se determina en base a un promedio de los niveles de certeza expresados por el experto (Navarro et al. 2019). De acuerdo a Saaty (1980) la inconsistencia se determina a través de la razón del ratio de consistencia para una comparación de 23 elementos y un ratio de inconsistencia límite establecido. La integración de estos elementos determina la relevancia del experto en el proceso de consulta (Biswas et al. 2016). En la Tabla 3 se presenta la caracterización de los 23 expertos que participan en el estudio.

Tabla 3: Caracterización de los expertos

Experto	Credibilidad	Indeterminación	Inconsistencia	Relevancia
1	0,5103	0,3705	0,1600	0,04065
2	0,6217	0,2808	0,0890	0,04621
3	0,6359	0,2760	0,1050	0,04401
4	0,6375	0,2092	0,0590	0,04800
5	0,3472	0,5257	0,0820	0,03238
6	0,4113	0,4817	0,0620	0,03434
7	0,7530	0,1747	0,0710	0,05091
8	0,4577	0,4017	0,1020	0,03574
9	0,4413	0,4271	0,0610	0,03715
10	0,8489	0,1399	0,1080	0,05138
11	0,5761	0,2703	0,0290	0,04510
12	0,3500	0,4905	0,0920	0,03354
13	0,3072	0,4195	0,0530	0,03742
14	0,5456	0,3975	0,1010	0,04064
15	0,7621	0,2601	0,0440	0,04880
16	0,6834	0,3220	0,0610	0,04687
17	0,1398	0,3875	0,1340	0,02753
18	0,5825	0,2930	0,1230	0,04366
19	0,5161	0,4611	0,0600	0,03937
20	0,7587	0,3261	0,0860	0,04639
21	0,5946	0,2820	0,0610	0,04137
22	0,6287	0,2661	0,0860	0,04212
23	0,7265	0,2691	0,1630	0,04661
24	0,5814	0,3538	0,0460	0,03983

De acuerdo a lo anterior, además de las variaciones triangulares de la escala de Saaty asociadas a niveles de certeza (Garcia- Segura et al. 2018), y la determinación de los pesos (Enea y Piazza 2004) fue posible la transformación a una matriz de pesos en NNT. La Tabla 4 muestra los pesos neutrosóficos triangulares obtenidos para el experto 1; en que las primeras tres columnas representan la distribución triangular y las tres últimas los grados de verdad, indeterminación y falsedad.

Tabla 4. Pesos neutrosóficos triangulares para el experto 1

Criterio	$\langle (a1, a2, a3); t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a} \rangle$						Criterio	$\langle (a1, a2, a3); t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a} \rangle$					
1	,06	,07	,07	,05	,04	,04	13	,01	,01	,01	,05	,04	,04
2	,02	,02	,02	,04	,04	,04	14	,01	,01	,01	,05	,04	,04
3	,06	,07	,07	,05	,04	,04	15	,02	,02	,02	,04	,04	,04
4	,04	,04	,05	,04	,04	,04	16	,06	,07	,07	,05	,04	,04
5	,06	,07	,07	,05	,04	,04	17	,01	,01	,01	,06	,04	,04
6	,03	,03	,03	,03	,04	,04	18	,02	,02	,02	,04	,04	,04

Criterio	$\langle (a1, a2, a3); t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a} \rangle$						Criterio	$\langle (a1, a2, a3); t\bar{a}, i\bar{a}, f\bar{a} \rangle$					
7	,06	,07	,07	,05	,04	,04	19	,06	,07	,07	,05	,04	,04
8	,02	,02	,02	,04	,04	,04	20	,06	,07	,07	,05	,04	,04
9	,06	,07	,07	,05	,04	,04	21	,01	,01	,01	,05	,04	,04
10	,03	,03	,03	,03	,04	,04	22	,01	,01	,01	,05	,04	,04
11	,04	,04	,05	,04	,04	,04	23	,09	,11	,11	,05	,04	,04
12	,06	,07	,07	,05	,04	,04	--						

De acuerdo a las orientaciones de Navarro et al. (2019) los pesos en NNT de cada experto pueden ser agregados por criterio de acuerdo a la suma ponderada respecto de la relevancia de cada experto (Tabla 3). En la Tabla 5 se presentan los pesos neutrosóficos agregados para cada criterio sometido a juicio.

Tabla 5. Pesos neutrosóficos triangulares agregados

Criterio	Inferior	Medio	Superior	Verdad	Indeterm.	Falsedad
1	0,039	0,067	0,073	0,044	0,043	0,043
2	0,030	0,038	0,065	0,043	0,043	0,043
3	0,036	0,041	0,045	0,042	0,043	0,043
4	0,037	0,046	0,057	0,042	0,043	0,043
5	0,043	0,071	0,077	0,044	0,043	0,043
6	0,028	0,033	0,069	0,044	0,043	0,043
7	0,039	0,067	0,073	0,045	0,043	0,043
8	0,026	0,032	0,058	0,044	0,043	0,043
9	0,050	0,078	0,090	0,047	0,043	0,043
10	0,023	0,034	0,060	0,041	0,043	0,043
11	0,041	0,051	0,060	0,043	0,043	0,043
12	0,034	0,040	0,050	0,043	0,043	0,043
13	0,017	0,020	0,046	0,046	0,043	0,043
14	0,016	0,022	0,058	0,045	0,043	0,043
15	0,018	0,020	0,046	0,044	0,043	0,043
16	0,026	0,037	0,042	0,043	0,043	0,043
17	0,032	0,036	0,041	0,042	0,043	0,043
18	0,009	0,019	0,026	0,044	0,043	0,043
19	0,026	0,030	0,056	0,043	0,043	0,043
20	0,043	0,054	0,061	0,042	0,043	0,043
21	0,018	0,046	0,052	0,043	0,043	0,043
22	0,023	0,051	0,058	0,043	0,043	0,043
23	0,038	0,066	0,072	0,044	0,043	0,043

De acuerdo a la fase III de la Figura 1 la representación desneutrosófica de los pesos agregados requiere de la *fuzzificación* y *desfuzzificación* (Sodenkamp et al. 2018, Chu y Tao 2002) que considera la incerteza asociada a tratamiento de cada criterio. La Figura 5 muestra la pertenencia de los criterios sociales *fuzzificados* de mayor influencia. En este caso la ordenada $\eta(x)$ representa un nivel de certeza que determina la ambigüedad del peso

(en las abscisas) de los criterios. Este nivel de certeza es consistente con hallazgos de otros estudios en que participan múltiples expertos para una toma de decisión (Pamuca et al. 2018, Zavadskas et al. 2015, Navarro et al. 2019).

La Figura 6 representa los pesos de los criterios defusificados y reorganizados de mayor a menor por cada dimensión social, ambiental, técnica y económica. De esta forma y asumiendo el principio de Pareto en cada dimensión, se determinan a la izquierda de la flecha azul los criterios seleccionados que aportan al 80% de importancia en el desarrollo territorial en cada dimensión. Para este caso los criterios de mayor peso son los sociales y económicos; y aportan el 60% de importancia global al desarrollo territorial. En particular de los criterios seleccionados siete son criterios sociales, tres económicos y dos ambientales y técnicos en cada caso.

En consistencia con estos resultados, las consideraciones de contexto determinan la importancia de ciertos criterios. La región de la Araucanía tiene una alta influencia indígena Mapuche; y su cultura es predominante en los sectores rurales. Además es una de las regiones del país con mayor cantidad de caminos rurales, puentes menores y con un clima templado húmedo con predominantes lluvias (Dirección de Vialidad, 2020a). Esta condición se agrava en zonas cordilleranas en época invernal imposibilitando la accesibilidad terrestre con polos desarrollados. La mayor dotación y diversidad de servicios regionales está ubicada en solo tres de las 32 comunas regionales. En los sectores rurales del país los caminos terrestres son la principal vía de comunicación particular, de transporte público y mercancías. Estas condiciones explican las necesidades sociales y de desarrollo económico seleccionadas en la Figura 6 y que determinan el 60% de importancia. Así también, la región sobrepasa en un 123% el promedio de kilómetros de caminos presentes en cada región y los recursos de asignación son centralizados a nivel país. De esta forma, se evidencia una necesidad de recursos para la conservación y pavimentación de caminos regionales. Esto condiciona la priorización de caminos de acuerdo a sus características geométricas y deterioro de acuerdo a presupuestos restrictivos. En términos generales los expertos argumentan que la contribución rural de los caminos básicos para el caso de estudio, deriva de la oportunidad de una mejor accesibilidad y de la reducción de desigualdades entre lo rural y las oportunidades de los centros urbanos país.

Figura 5: Pertenencia de los criterios sociales de mayor influencia

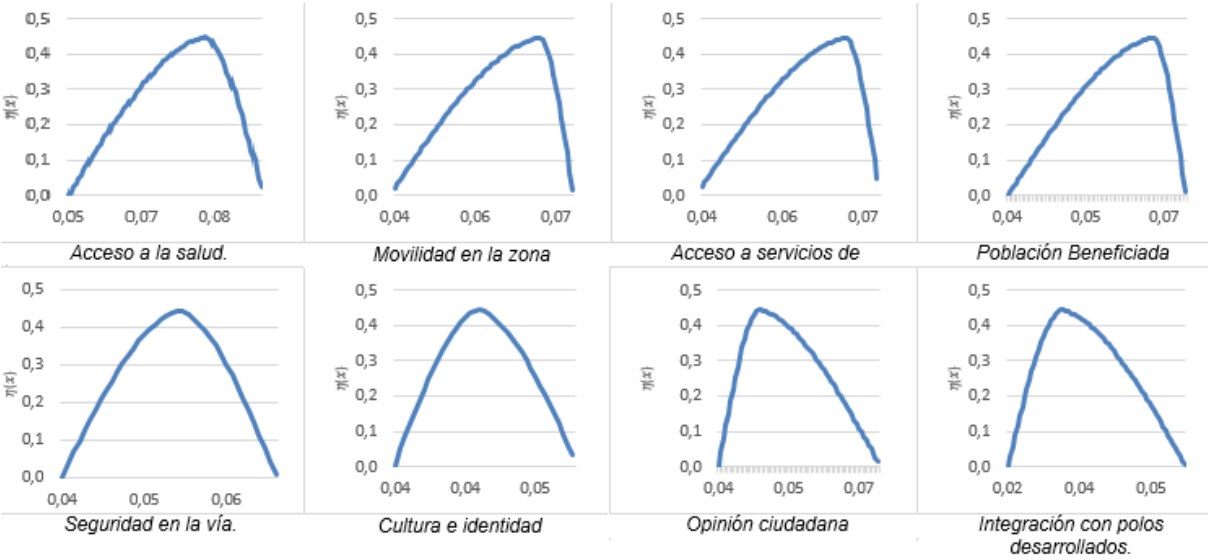
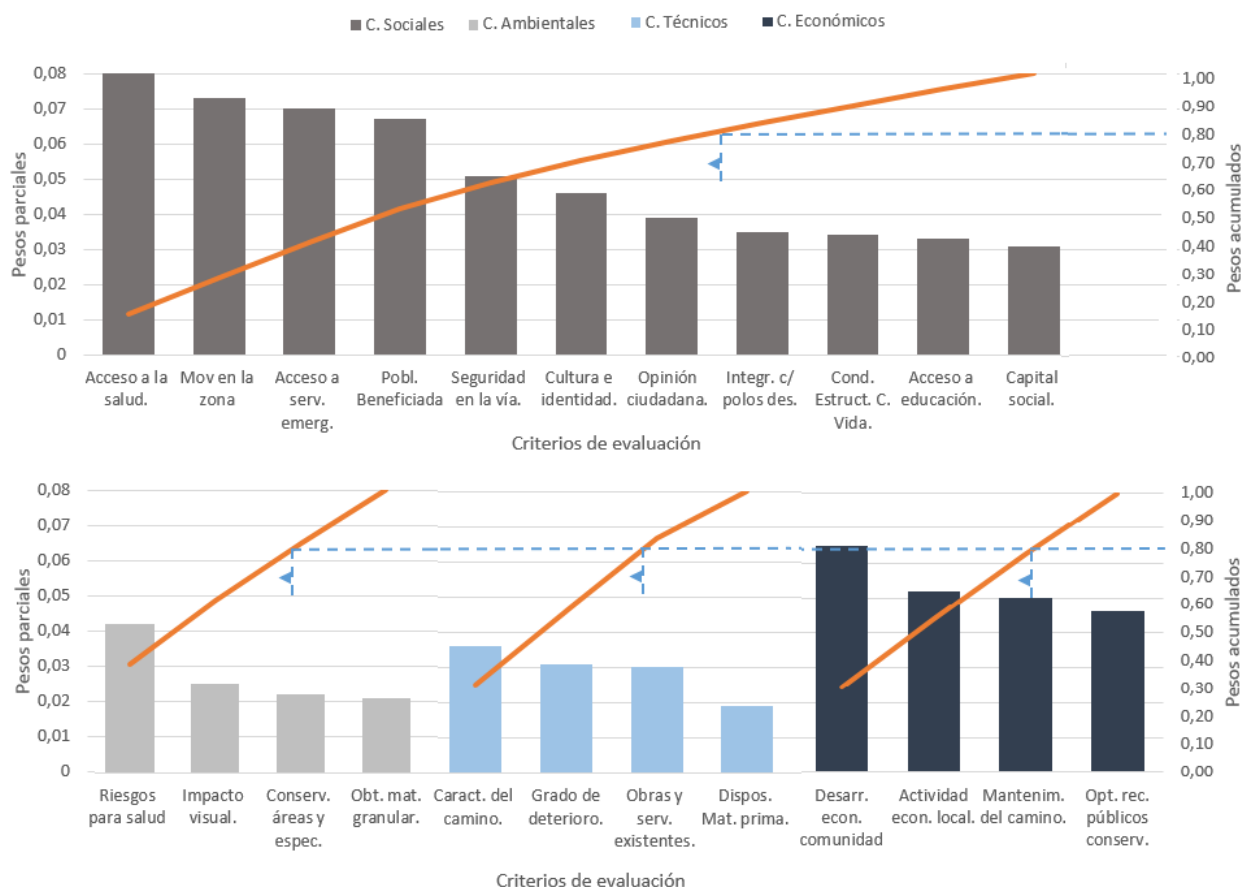


Figura 6: Selección de criterios trascendentes



4. Conclusiones

Este estudio determina un conjunto de catorce criterios de evaluación de caminos básicos rurales, influyentes sobre el desarrollo territorial sostenible de la región de la Araucanía en Chile. Para ello, se propuso un método que considera una etapa de exploración y una de validación a través de 24 expertos multidisciplinarios. El procesamiento de los juicios de valor de cada experto considero la incertidumbre a través de la aplicación de un proceso analítico jerárquico y la teoría de números neutrosóficos. De acuerdo a la literatura el proceso arroja un nivel de ambigüedad aceptable para un conjunto participativo de expertos multidisciplinarios.

A través de la representación desneutrosófica de los pesos y el principio de Pareto son seleccionados siete criterios sociales que incluyen: el acceso a la salud, movilidad en la zona, acceso a los servicios de emergencia, población beneficiada, seguridad vial, cultura e identidad y opinión ciudadana. Son seleccionados tres criterios económicos que incluyen el desarrollo económico de la comunidad, la actividad económica local y el mantenimiento del camino. Son seleccionados dos criterios ambientales que incluyen: Riesgos para la salud local, e impacto visual. Por último son seleccionados dos criterios técnicos que incluyen: características del trazado del camino y el grado de deterioro.

De acuerdo a los resultados los expertos consideran que el 60% de la influencia en el desarrollo rural en el territorio de la Araucanía en Chile es dado por criterios sociales y económicos relacionados con la adecuada selección de mejora de caminos básicos.

La validez de estos resultados está limitada al contexto geográfico de análisis y a la percepción nacional y regional de la ciudadanía entre los periodos 2018-2019. Futuros

estudios pueden abarcar la percepción dinámica tras la captura de datos longitudinales y una propuesta de un método de priorización con información geográfica de caminos rurales para el desarrollo territorial.

Este trabajo propone un método que sistematiza la incerteza inherente en los expertos multidisciplinarios para apoyar la toma de decisión de inversión en la infraestructura caminera. En este caso un listado de criterios de evaluación puede ser utilizado por las agencias públicas para la selección de mejora de caminos básicos y la planificación territorial de la región, que incluya los sectores rurales.

5. Referencias

- Asomani-Boateng, R., Fricano, R. J., & Adarkwa, F. (2015). *Assessing the socio-economic impacts of rural road improvements in Ghana: A case study of Transport Sector Program Support (II)*. Case Studies on Transport Policy, 3: 355-366, doi: 10.1016/j.cstp.2015.04.006
- Arroyo, P., Herrera, R., Salazar, L., Gimenez, Z., Martinez, J., Calahorra, M. (2018). *A new approach for integrating environmental, social and economic factors to evaluate asphalt mixtures with and without waste tires*. Revista Ingeniería de Construcción, 33(3), 301-314. doi: 10.4067/S0718-50732018000300301
- Banco Interamericano de Desarrollo (2006). *Infraestructura Vial y Bienestar Económico: Evaluación de un Programa de Caminos Rurales en la República Dominicana*. Informe Técnico OVE/TDP-01/06. Oficina de evaluación y Supervisión.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2017). *Lecciones de cuatro décadas de conflicto en torno a proyectos de infraestructuras en América Latina y el Caribe*. Informe Técnico 549. doi: 10.18235/0000803
- Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. (2016). *TOPSIS method for multi- attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment*. Neural Computing and Applications, 27(3), 727–737. doi:10.1007/s00521-015-1891-2
- Bonsall, P., & Kelly, C. (2005). *Road user charging and social exclusion: The impact of congestion charges on at-risk groups*. Transport Policy, 12(5), 406–418. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.06.007>
- Bröcker, J., Korzhenevych, A., Schürmann, C. (2010). *Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects*. Transportation Research Part B: Methodological, 44(7), 795–811. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.12.008>
- Boz, M. A. & El-adaway, I. H. (2015). *Creating a Holistic Systems Framework for Sustainability Assessment of Civil Infrastructure Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, 141(2), 4014067–1. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000911](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000911)
- Bueno, P. C., Vassallo, J. M., & Cheung, K. (2015). *Sustainability Assessment of Transport Infrastructure Projects: A Review of Existing Tools and Methods*. Transport Reviews, 35(5), 622–649. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1041435>
- Chamorro, A., & Tighe, S. (2009). *Development of a management framework for rural roads in developing countries*. Transportation Research Record, 2093, 99–107. <https://doi.org/10.3141/2093-12>
- Chu, T., & Tao, C. (2002). *Ranking fuzzy numbers with an area between the centroid point and original point*. Computers & Mathematics with Applications, 43(1), 111–117. doi:10.1016/S0898-1221(01)00277-2
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020). *Caminos rurales: vías claves para la producción la conectividad y el desarrollo territorial* (Boletín FAL 377). Obtenido en marzo 2021 <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45781-caminos-rurales-vias-claves-la-produccion-la-conectividad-desarrollo-territorial>

- Contraloría General de la República de Chile. (2018). *Auditoría de los Procesos para la Conservación de Caminos*, Informe Final N° 501 de 03 diciembre de 2018. Santiago de Chile. Disponible en <https://www.contraloria.cl/web/cgr/informes-de-auditorias>
- Curiel-Esparza, J., Mazario-Diez, J. L., Canto-Perello, J. & Martin-Utrillas, M. (2016). *Prioritization by consensus of enhancements for sustainable mobility in urban areas*. *Environmental Science and Policy*, 55, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.015>
- Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Invest. (2012). [En línea]. Available: <https://www.sustainablehighways.org/>
- Diaz-Sarachaga, J. M., Jato-Espino, D., Alsulami, B., & Castro-Fresno, D. (2016). *Evaluation of existing sustainable infrastructure rating systems for their application in developing countries*. *Ecological Indicators*, 71, 491–502. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.07.033
- Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas Chile (2011). *Políticas de Conservación Vial: Caminos Básicos*. Reporte Técnico. Noviembre 2011. Santiago de Chile.
- Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas Chile (2020a). *Red Vial Nacional: Dimensionamientos y Características*. Reporte Técnico de la Subdirección de Desarrollo. Santiago de Chile. Disponible a marzo 2021 en <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/gestionvial/Paginas/Informesyestudios.aspx>
- Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas Chile (2020b). *Manual de carreteras Volumen 9: Estudios y Criterios Ambientales en proyectos viales*. DGOP. Santiago de Chile. Disponible a marzo 2021 en <https://mc.mop.gob.cl/>
- Enea, M., & Piazza, T. (2004). *Project selection by constrained fuzzy AHP*. *Fuzzy optimization and Decision Making*, 3(1), 39–62. doi:10.023/B:FODM.0000013071.63614.3d
- Espinoza, J., Medina, C., Calabi-Floody, A., Sánchez-Alonso, E., Valdés, G., & Quiroz, A. (2020). *Evaluation of reductions in fume emissions (Vocs and svocs) from warm mix asphalt incorporating natural zeolite and reclaimed asphalt pavement for sustainable pavements*. *Sustainability*, 12(22), 1–17. doi: 10.3390/su12229546
- Esteves, A.M., Franks, D. & Vanclay, F. (2012). *Social impact assessment: the state of the art*. *Impact Assess. Proj. Apprais.* 30, 34–42. doi:10.1080/14615517.2012.660356
- Fernández-Sánchez, G. & Rodríguez-López, F. (2010). *A methodology to identify sustainability indicators in construction project management - Application to infrastructure projects in Spain*. *Ecol. Indic.* 10(6): 1194–1201, doi:10.1016/j.ecolind.2010.04.009
- Gannon, C., Lui, Z., (2001). *Transporte: Infraestructura y servicios*. The World Bank, Washington, D.C.
- García-Segura, T., Penades-Pla, V., & Yepes, V. (2018). *Sustainable bridge design by metamodel-assisted multi-objective optimization and decision-making under uncertainty*. *Journal of Cleaner Production*, 202, 904–915. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.177
- Garza, T. & Coronel, J.A. (1970) *Un método para la determinación del tamaño de muestra en encuestas sobre poblaciones finitas*. *Estudios Demográficos y Urbanos*. 4, 1, 121-128. doi: 10.24201/edu.v4i01.1553.
- Gervásio, H. & Da Silva, L.S. (2012). *A probabilistic decision-making approach for the sustainable assessment of infrastructures*. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7121–7131. doi: 10.1016/j.eswa.2012.01.032.
- Gilmour, D., Blackwood, D., Banks, L. & Wilson, F. (2011). *Sustainable development indicators for major infrastructure projects*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, 164(1), 15–24. <https://doi.org/10.1680/muen.800020>
- Greenroads Foundation, “Greenroads”, (2012). [En línea]. Available: <https://www.greenroads.org/347/the-rating-system.html>.
- Hallowell, M. R., & Gambatese, J. a. (2010). *Qualitative research: application of the delphi method to CEM research*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 99–107. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000137.

- Hameed, F., & Hancock, K. (2014). *Incorporating costs of life-cycle impacts into transportation program development*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2453(571), 77–83. <https://doi.org/10.3141/2453-10>.
- Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., Sessions, J., & Makhdom, M. (2013). *An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation*. Environmental Monitoring and Assessment, 185(2), 1767–1776. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2666-1>.
- Herrera, M., Fuenzalida, C., & Tudela, A. (2009). *Informe final de evaluación del programa de Caminos Básicos*. Reporte de la Dirección de Vialidad Chile. Santiago de Chile. Disponible a diciembre 2020 en https://www.dipres.gob.cl/597/articles-141136_informe_final.pdf
- Hong, Y., Liyin, S., Tan, Y. & Jianli, H. (2011). *Simulating the impacts of policy scenarios on the sustainability performance of infrastructure projects*. Automation in Construction Journal, 20, 1060–1069. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.007>
- ISI. (2015). *Rating System for Sustainable Infrastructure*. Institute for Sustainable Infrastructure: Washington, USA.
- Ivanović, I., Grujičić, D., Macura, D., Jović, J. & Bojović, N., (2013). *One approach for road transport project selection*. Transp. Policy 25, 22–29, doi:10.1016/j.tranpol.2012.10.001
- Jeon, C. M., Amekudzi, A. & Guensler, R. L. (2010). *Evaluating Plan Alternatives for Transportation System Sustainability: Atlanta Metropolitan Region*. International Journal of Sustainable Transportation, 4, 227–247. <https://doi.org/10.1080/15568310902940209>
- Jeong, J. S., García-Moruno, L., & Hernández-Blanco, J. (2014). *Un modelo web para la asistencia en la toma de decisiones en la integración de las construcciones rurales mediante planificación espacial multi-criterio*. Informes de La Construcción, 65(533), 1–10. <https://doi.org/10.3989/ic.13.001>
- Kucukvar, M., Gumus, S., Egilmez, G. & Tatari, O. (2014). Ranking the sustainability performance of pavements: An intuitionistic fuzzy decision making method. Automation in Construction, 40(1), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.009>
- Larrea-Gallegos, G., Vázquez-Rowe, I., & Gallice, G. (2017). *Life cycle assessment of the construction of an unpaved road in an undisturbed tropical rainforest area in the vicinity of Manu National Park, Peru*. International Journal of Life Cycle Assessment, 22(7), 1109–1124. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1221-7>.
- Liang, R., Wang, J., & Zhang, H. (2018). *A multi-criteria decision-making method based on single-valued trapezoidal neutrosophic preference relations with complete weight information*. Neural Computing and Applications, 30(11), 3383–3398. doi:10.1007/s00521-017-2925-8.
- Lidskog, R., & Soneryd, L. (2000). *Transport infrastructure investment and environmental impact assessment in Sweden: Public involvement or exclusion?* Environment & Planning A, 32(8), 1465–1480. <https://doi.org/10.1068/a32228>
- López, E., Monzón, A., Ortega, E., & Quintana, S. M. (2009). *Assessment of cross-border spillover effects of national transport infrastructure plans: An accessibility approach*. Transport Reviews, 29(4), 515–536. doi: 10.1080/01441640802627974.
- Macura, D., Bošković, B., Bojović, N. & Milenković, M. (2011). *A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP*. Int. J. Transp. Econ. 38(3): 285–309.
- Marzouk, M., El-zayat, M., & Aboushady, A. (2017). *Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries*. Sustainability, 9(5), 843. <https://doi.org/10.3390/su9050843>.
- Ministerio De Obras, Chile. (2020). *Incorporación de Criterios de Sostenibilidad en el Volumen 9 del Manual de Carreteras*. Informe Técnico BID. Santiago de Chile.
- Mitchard, N., Frost, L. C., Harris, J., Baldrey, S., & Ko, J. (2011). *Assessing the impact of road schemes on people and communities*. Engineering Sustainability, 164(3), 185–196. <https://doi.org/10.1680/2nsu.1000019>.
- Navarro, I.J., Yepes, V. & Martí, J. V. (2019). *Sustainability assessment of concrete bridge*

- deck designs in coastal environments using neutrosophic criteria weights*. Struct. Infrastruct. Eng. 16, 949–967. doi:10.1080/15732479.2019.1676791.
- OSE – Observatorio de la Sostenibilidad en España (2009). *Patrimonio natural, cultural y paisajístico claves para la sostenibilidad territorial*. Ministerio del Medio Ambiente, Medio Rural y Humano. Madrid España. Disponible en <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0556177.pdf>
- Pamucar, D., Badi, I., Sanja, K., & Obradovic, R. (2018). *A novel approach for the selection of power-generation technology using a linguistic neutrosophic CODAS method: A case study in Libya*. Energies, 11(9), 2489. doi:10.3390/en11092489.
- Paredes, G. & Herrera, R.F. (2020). *Teaching multi-criteria decision making based on sustainability factors applied to road projects*. Sustain. 12, 1–25. doi:10.3390/su12218930.
- Pelaez Ponce, A.V., Pastor Vargas, C., Gonzalez Rios, C., Saavedra, E., Castillo, F.C., Evia Vizcarra, J.L., Sour, L., Mesalles Jorba, L., Gonzalez, M., Neri, M., Parra Torrado, M., Martinez Bengochea, P., Celis, R., Moya, R., Oleas, S., & Andrade, T., (2011). *Inversión en Infraestructura Pública y Reducción de la Pobreza en América Latina*. Rio de Janeiro. Brasil. Obtenido en diciembre 2020 en https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=42349fcb-6292-d816-6965-41fb4a979a53&groupId=252038.
- Poch, M.A., Carvajal, L.G., Osorio, R.A. (2012). *Metodología de Identificación de localidades en condición de asilamiento. Un caso de integración de potencialidades de SIG libres y privativos*. IV Jornadas de Latinoamérica y el Caribe de gvSIG, creciendo en comunidad. 24-26 Septiembre, Montevideo. http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/zonas_aisladas2.pdf
- Ramani, T. L., Zietsman, J., Gudmundsson, H., Hall, R. P., & Marsden, G. (2011). *Framework for sustainability assessment by transportation agencies*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2242,9–18. <https://doi.org/10.3141/2242-02>
- Revista Vial (2019). *Metodología para priorizar una red vial de caminos rurales- Primera parte*, 130, diciembre. Disponible en diciembre de 2019 en <http://revistavial.com/metodologia-para-priorizar-una-red-vial-de-caminos-rurales/>
- Revista Vial (2020). *Metodología para priorizar una red vial de caminos rurales – Segunda parte*, 131, diciembre. Disponible en diciembre de 2019 en <http://revistavial.com/metodologia-para-priorizar-una-red-vial-de-caminos-rurales-2/>
- Reza, B., Sadiq, R. & Hewage, K. (2014). *Emergy-based life cycle assessment (Em-LCA) for sustainability appraisal of infrastructure systems: A case study on paved roads*. Clean Technologies and Environmental Policy, 16(2), 251–266. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0615-5>
- Saaty, T. (1980). *Analytic Hierarchy Process*. SAGE Dict. Quant. Manag. Res. 9–12. doi:10.4135/9781446251119.n3.
- Santos, G., Behrendt, H., & Teytelboym, A. (2010). *Part II: Policy instruments for sustainable road transport*. Research in Transportation Economics, 28(1), 46–91. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.03.002>
- Santos, J. M., Flitsch, G. & Ferreira, A. (2017). *Environmental and economic assessment of pavement construction and management practices for enhancing pavement sustainability*. Resources, Conservation and Recycling, 116: 15-31. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.08.025
- Schlegel, T., Puiatti, D., Ritter, H.-J., Lesueur, D., Denayer, C., & Shtiza, A. (2016). *The limits of partial life cycle assessment studies in road construction practices: A case study on the use of hydrated lime in Hot Mix Asphalt*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 48, 141–160. doi: 10.1016/j.trd.2016.08.005

- Secretaría de Comunicación y Transporte de México (2019), *Caminos Rurales*, Publicación Web obtenida el 30 de marzo de 2021 en <https://www.gob.mx/caminosrurales>
- Shen, L., Jiang, S., & Yuan, H. (2012). *Critical indicators for assessing the contribution of infrastructure projects to coordinated urban-rural development in China*. *Habitat International*, 36(2), 237–246. doi: 10.1016/j.habitatint.2011.10.003
- Smarandache, F. (2007). *A unifying field in logics, neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. Ed. 6th Rehoboth, NM: American Research Press
- Shen, L., Lu, W., Peng, Y. & Jiang, S., (2011). *Critical Assessment Indicators for Measuring Benefits of Rural Infrastructure Investment in China*. *J. Infrastruct. Syst.* 17, 176–183. doi:10.1061/(asce)jis.1943-555x.0000066.
- Sierra, L., Pellicer, E. & Yepes, V. (2016). *Social Sustainability in the Lifecycle of Chilean Public Infrastructure*. *J. Constr. Eng. Manag.* 142, 05015020–1. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001099.
- Sierra, L.A., Pellicer, E. & Yepes, V., (2017). *Method for estimating the social sustainability of infrastructure projects*. *Environ. Impact Assess. Rev.* 65, 41–53. doi:10.1016/j.eiar.2017.02.004.
- Sierra, L.A., Yepes, V., García-Segura, T. & Pellicer, E. (2018). *Bayesian network method for decision-making about the social sustainability of infrastructure projects*. *J. Clean. Prod.* 176, 521–534. doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.140.
- Sierra, L., Yepes, V., & Pellicer, E. (2018). *A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures*. *Journal of Cleaner Production*, 187. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.022
- Smith, M. & González, S (2000). *Evaluación de los caminos rurales: Hacia un enfoque orientado al usuario*. *Revista de Urbanismo*, 2. Disponible en <https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/n2/4.html>
- Sodenkamp, M. A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2018). *An aggregation method for solving group multi-criteria decision-making problems with single-valued neutrosophic sets*. *Applied Soft Computing*, 71, 715–727. doi:10.1016/j.asoc.2018.07.02.
- Suprayoga, G. B., Bakker, M., Witte, P., & Spit, T. (2020). *A systematic review of indicators to assess the sustainability of road infrastructure projects*. *European Transport Research Review*, 12(1). doi: 10.1186/s12544-020-0400-6
- Technical Committee A.4 Rural road systems and accessibility to rural areas, T.C. (2013). *Best practices for the sustainable maintenance of rural roads in developing countries*. Francia: World Road Association. Obtenido en Marzo 2020 en <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/329/42.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres-Machi, C., A. M., Nasir, F., Achebe, J., Saari, R., & Tighe, S. L. (2019). *Sustainability Evaluation of Pavement Technologies through Multicriteria Decision Techniques*. *Journal of Infrastructure Systems*, 25(3), 1–10. doi: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000504.
- Thomopoulos, N., Grant-Muller, S. (2013). *Incorporating equity as part of the wider impacts in transport infrastructure assessment: An application of the SUMINI approach*. *Transportation*, 40(2), 315–345. <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9418-5>
- Umer, A., Hewage, K., Haider, H. & Sadiq, R. (2016). *Sustainability assessment of roadway projects under uncertainty using Green Proforma: An index-based approach*. *International Journal of Sustainable Built Environment*, In Press. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.06.002>
- van de Walle, D. (2009). *Impact evaluation of rural road projects*. *J. Dev. Eff.* 1, 15–36. doi:10.1080/19439340902727701.
- Vassallo, M. J., & Bueno, P. C. (2015). *Setting the weights of sustainability criteria for the appraisal of transport projects*. *Transport*, 30(3), 298–306. doi: 10.3846/16484142.2015.1086890
- World Bank (2019). *World - Measuring Rural Access*. Update 2017/18 (English),

Washington, D.C.: World Bank Group. Disponible en <http://documents.worldbank.org/curated/en/543621569435525309/World-Measuring-Rural-Access-Update-2017-18>.

Ye, J. (2013). *Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-value neutrosophic environment*. *International Journal of General Systems*, 42(4), 386–394. doi:10.1080/03081079.2012.761609.

Zavadskas, E.K., Baušys, R. & Lazauskas, M. (2015). *Sustainable Assessment of Alternative Sites for the Construction of a Waste Incineration Plant by Applying WASPAS Method with Single-Valued Neutrosophic Set*. *Sustainability* 7, 15923–15936. doi:10.3390/su7121579.

Zulaica, L., & Celemin, J.P. (2008) *Análisis territorial de las condiciones de habitabilidad en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata a partir de la construcción de un índice y de la aplicación de métodos de asociación espacial*. *Revista de Geografía del Norte Grande*. 41: 125-156.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

