

Indicadores de sustentabilidad para la toma de decisiones en proyectos de caminos básicos

Use of factors of sustainability for decision making in low-volume road projects

Gabriela Paredes-Vega^{id}*, Rodrigo F. Herrera^{id}, Miguel A. Gómez^{id}

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 2374631; rodrigo.herrera@pucv.cl;
miguel.gomez.f@mail.pucv.cl

* Correspondencia: gabriela.paredes.v@mail.pucv.cl

Recibido 06 noviembre 2019; Aceptado 02 diciembre 2019; Publicado 10 diciembre 2019

Resumen: Las obras civiles contribuyen al progreso y mejoran la calidad de vida de las personas, sin embargo, también forman parte de una industria que genera destrucción en el entorno y la naturaleza. Por ello es necesario el uso de indicadores que permitan medir el grado de sustentabilidad de estas obras durante su ciclo de vida, teniendo en cuenta que en cada fase del proyecto se producen impactos que afectan las dimensiones social, económica y ambiental. Además, se hace indispensable que los encargados de determinar y asignar los recursos públicos de los proyectos a ejecutar realicen la priorización de los proyectos fundamentada en criterios objetivos que incluyan indicadores de sustentabilidad. El objetivo de este estudio es identificar indicadores de sustentabilidad que puedan ser usados en la toma de decisiones para la priorización de proyectos viales de caminos básicos. Para lograr nuestro objetivo se ha recopilado información de indicadores de sustentabilidad utilizados en la literatura y metodologías internacionales. Se ha aplicado un cuestionario y entrevistas para conocer la opinión de un grupo de expertos sobre la importancia y factibilidad de medición de estos indicadores. Así, se ha logrado identificar un conjunto de indicadores de sustentabilidad cuya medición es factible y de gran relevancia. Se ha realizado el análisis estadístico del sesgo en la respuesta de los participantes. Así, se ha obtenido que un tercio de los 39 indicadores de sustentabilidad considerados de alta prioridad corresponden con criterios ambientales. Mientras que los indicadores de sustentabilidad fundamentados en criterios sociales resultaron ser los de mayor relevancia, por lo que los criterios económicos fueron considerados por el grupo de expertos como de menor relevancia. Se espera que este conjunto de indicadores pueda ser utilizado como una herramienta para abordar la sustentabilidad de forma integral y generar la priorización de proyectos de caminos básicos incorporando criterios objetivos.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, evaluación de proyectos, infraestructura de transportes, ingeniería vial, selección de proyecto

Abstract: *Civil engineering projects contribute to the progress and improve people's life quality, but they also generate environmental destruction. Due to this, the use of factors and indicators to measure the entire lifecycle of project sustainability has become necessary, considering that every stage of a project produces social, economic, and environmental impacts. Besides, it gets essential for those responsible for determining and allocating the projects' public resources to be executed, prioritize the projects according to objective criteria, and consider sustainable factors. This study aims to identify a set of sustainable criteria that could contribute to the decision-making process to evaluate and prioritize low-volume road projects. Information related to sustainability indicators, used in literature and international methodologies, has been compiled to do so. A questionnaire and interviews have been carried out to recognize experts' opinions about each criterion's relevance and measurement feasibility. As a result, a selection of the most relevant and easy to measure criteria is obtained; according to experts, a statistical validation is performed. It is hoped that this set of indicators can be used as a tool to address sustainability fully and generate the prioritization of basic road projects by incorporating objective criteria.*

Keywords: *Infrastructure for transportation, project evaluation, project selection, road engineering, sustainable development.*

1 Introducción

La construcción es una de las industrias que más destruye la naturaleza, debido a la alta necesidad de materiales, espacio para construir, y de energía para abastecer tanto al proceso constructivo como operativo de la infraestructura (Acevedo, Vásquez & Ramírez, 2012; Rodríguez & Fernández, 2010). Sin embargo, también las infraestructuras representan un motor para el desarrollo y progreso de los países, fomentado el crecimiento económico y mejorando la calidad de vida de las personas (Rossetti, 2017). Así, parece evidente que no se puede dejar de construir para frenar los efectos perjudiciales que estas pueden causar en el medioambiente y en la sociedad. De este modo nace el concepto de construcción sostenible, que puede ser definido como “la creación y manejo responsable de un ambiente de construcción saludable, basado en el uso eficiente de los recursos y de los principios de la ecología” (Kibert, 2012).

Los proyectos de caminos básicos son un tipo especial de conservación de rutas de tierra o ripio para evitar el ciclo de construcción-conservación-reposición al que eran sometidos estos caminos. Este ciclo consiste en conservar debido a la pérdida de cohesión y reponer debido a la pérdida de material y disminución del espesor de la capa de rodadura (Aguayo, 2017). El Programa de Caminos Básicos se caracteriza por tener una alta restricción de recursos y baja modificación de la condición existente en la ruta.

Además, representan beneficios como lo son aumentar los años de vida útil de la ruta, otorgando así una mayor seguridad vial, lograr un crecimiento con equidad gatillando el desarrollo local y aumentando la plusvalía de las propiedades, contribuir al desarrollo del país, a la superación de la pobreza, apoyar a la economía productiva rural (Urrejola, 2018), por último, eliminar los efectos nocivos sobre la salud de las personas y generar un desarrollo sustentable mediante la disminución de la contaminación ambiental, eliminando el polvo.

En el año 2018 fue emitido un informe por la Contraloría General de la República de Chile titulado “Auditoría a los procesos de conservación de caminos”, en el que se determina que las direcciones regionales de vialidad no respaldan o acreditan con datos técnicos ni registros los procedimientos que emplean, ni se advierten criterios objetivos para determinar qué tipo de acción de conservación van a implementar

(Contraloría General de la República, 2018). Por lo que la presente investigación se centra en identificar un conjunto de indicadores de sustentabilidad que puedan ser usados en la toma de decisiones para la priorización de proyectos viales de caminos básicos. A partir de la revisión de sistemas internacionales y las recomendaciones de De Solminihac, Echaveguren & Chamorro (2018), ilustrados en la figura 1.

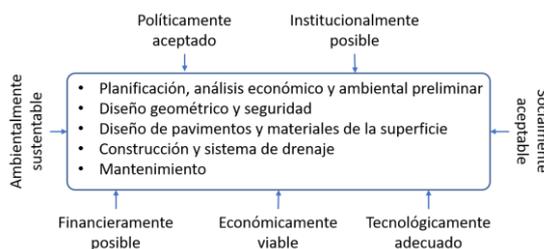


Figura 1: Aspectos a considerar en la gestión sustentable de infraestructura vial Fuente: de De Solminihac *et al.*, 2018.

2 Metodología

Se ha hecho una revisión de estudios sobre la incorporación de indicadores de sustentabilidad en la evaluación de proyectos viales, como Chamorro (2012), Echaveguren (1994), Ordoñez y Meneses (2015), entre otros. Además, de herramientas en Estados Unidos que Mata (2017) ha recopilado en su investigación, las que corresponden a sistemas de certificación y plataformas web de calificación de buenas prácticas. Estas herramientas son: Greenroads Rating System, GreenLITES, BE2ST-in-Highways, INVEST, ILAST Rating System, STEED y STARS.

Han sido también estudiados sistemas, internacionalmente conocidos, para la evaluación y calificación de la infraestructura civil. Entre ellos se encuentran los sistemas de rating ENVISION (ISI, 2015), CEEQUAL (2010), IS (ISCA, 2012), SIRSDEC (Díaz, 2017) y Greenroads (Muench *et al.*, 2011). Sin embargo, esta investigación se enfocará en obtener indicadores de sustentabilidad que sirvan específicamente para priorizar proyectos de bajo volumen de tránsito y determinar los que tengan mayor importancia y factibilidad de medición según la opinión de grupos de expertos del área académica y profesionales de ingeniería vial.

A partir de las metodologías y sistemas de calificación de infraestructura, en base a los

indicadores de sustentabilidad, mencionados anteriormente, se desprende una extensa lista de indicadores para la evaluación de proyectos durante todo su ciclo de vida, que, en suma, llegan aproximadamente a 200. Los indicadores de sustentabilidad de este listado preliminar pueden ser agrupados en las dimensiones: social, ambiental y económica, según corresponde a las tres aristas principales de la sustentabilidad. Los criterios planteados por los organismos internacionales tienen semejanzas en su naturaleza y similitudes conceptuales, por lo que se realiza un proceso de agrupación de criterios semejantes y un filtro de criterios que efectivamente pueden ser utilizados para optimizar el proceso de priorización y evaluación de proyectos de caminos de bajo volumen de tránsito.

De esta forma, se han seleccionado un total de 62 indicadores de sustentabilidad agrupados en cada

dimensión con un 37.1% correspondiente a criterios ambientales (tabla 1), un 35.5% a criterios sociales (tabla 2) y un 27.4% a criterios económicos (tabla 3).

En un estudio similar realizado por Fernández-Sánchez y Rodríguez-López (2011) para proponer un sistema de indicadores para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura lineal en España, se obtuvo un listado de 30 indicadores de sustentabilidad (diez por cada dimensión) se asignó un peso a cada dimensión: 35.02% a medioambiente, 31% a sociedad y 33.98% a economía. Tales porcentajes son similares a los obtenidos en la presente investigación, aunque se otorga mayor importancia a los criterios sociales, dado el rol que cumplen los proyectos de caminos básicos en la comunidad.

Tabla 1: Indicadores ambientales.

A1	Area de ecosistemas afectada por el proyecto
A2	Preservar las tierras de cultivo de alto valor ecológico /reutilización de la tierra vegetal
A3	Especies en peligro que habitan la zona
A4	Proveer de cruces de vida silvestre
A5	Conservación, mejora y restauración de los hábitats y biosistemas
A6	Conservación y mejora de los paisajes /mejoras visuales
A7	Diseños que demuestran un aumento neto final de las especies arbóreas (preservación y/o nueva plantación)
A8	Reducción de emisiones y contaminantes del aire
A9	Reducción del uso de energía
A10	Uso de energía renovable o fuentes de energía alternativas
A11	Uso eficiente/reducción de consumo de agua potable
A12	Conservación y mejora de la calidad del agua
A13	Reducción de contaminantes del aire
A14	Gestión del ruido
A15	Gestión de contaminación lumínica
A16	Reducción de producción de residuos/reducir, reutilizar y reciclar materiales durante la construcción
A17	Prevención del impacto de derrames de los equipos durante la construcción
A18	Minimizar el impacto potencial de las salpicaduras de sal (por ejemplo, mediante el uso de bermas)
A19	Facilitar la deconstrucción y el reciclaje
A20	Utilizar materiales de la región
A21	Gestión eficiente de recursos naturales
A22	Desviar los desperdicios de los vertederos
A23	Reducir el traslado de los materiales excavados

Tabla 2: Indicadores Sociales.

S1	Mejorar la calidad de vida de la comunidad
S2	Fomento del bienestar, seguridad y salud de comunidad
S3	Población beneficiada / población aledaña a la ruta
S4	Identificar a las partes interesadas (stakeholders) y desarrollar un plan de participación de la comunidad
S5	Nivel de organización de la comunidad
S6	Mejorar la accesibilidad, la seguridad y la señalización de las obras
S7	Mejorar el acceso y la movilidad de la comunidad, por ejemplo, a servicios básicos
S8	Promover la reducción de los viajes en vehículo al incentivar el uso del transporte público
S9	Presencia de templo religioso, sede social, consultorio, posta u otro servicio de salud y/o lugar histórico o de interés cultural
S10	Patrimonio histórico, cultural y arqueológico
S11	Estimular el desarrollo y crecimiento sostenible local
S12	Fomentar medios alternativos de transporte
S13	Considerar un sobreecho adecuado para el tránsito de peatones y/o bicicletas
S14	Incluir paradas de autobús y acceso peatonal
S15	Proporcionar o rehabilitar aceras y/o carriles para bicicletas
S16	Evaluación de los impactos en vecindades
S17	Fomento del empleo local
S18	Incentivar al desarrollo de capacidades y destrezas locales
S19	Aumentar información y participación pública
S20	Minimizar el ruido y las vibraciones
S21	Preservar los paisajes y el carácter local
S22	Mejorar el espacio público

Tabla 3: Indicadores Económicos.

E1	Flujo vehicular diario (TMDA)
E2	Nivel de servicio deseado y vida útil esperada de la ruta
E3	Periodicidad de mantenimiento y reposición de material de la ruta
E4	Uso típico del camino antes de la mejora / tiempo de viaje asociado
E5	Aportes monetarios externos
E6	Evaluación de la economía local / impactos en la productividad local
E7	Actividades económicas predominantes en la zona
E8	Área cultivo afectada
E9	Minimización de desplazamientos de la mano de obra
E10	Aumento de conectividad entre comunidades
E11	Ratio uso materiales locales
E12	Proporción de mano de obra local
E13	Tipo de carpeta a utilizar
E14	Geometría del camino
E15	Ancho medio de la calzada
E16	Grado de consolidación del saneamiento
E17	Red enrolada a red vial

Luego, para determinar la importancia y la factibilidad de medición de estos criterios se ha elaborado una encuesta, en formato online, donde han participado profesionales y expertos de las áreas de vialidad, de evaluación de proyectos y la de sustentabilidad. La encuesta fue respondida por 46 profesionales de una diversa gama de ocupaciones, pero principalmente corresponden a ingenieros civiles (56%), arquitectos (13%), constructores civiles (7%) e ingenieros industriales (7%).

De todos los encuestados se comprueba que un 83% ha participado en el proceso de evaluación de proyectos, por lo que tienen experiencia en técnicas que implican considerar diversas aristas y variables que se deben tener en cuenta durante la ejecución de un proyecto. Los proyectos que han sido evaluados por los participantes de la encuesta corresponden mayoritariamente a caminos básicos, seguidos por proyectos viales de gran envergadura y obras interurbanas. El restante 17% de encuestados ha participado en la evaluación de otro tipo de proyectos que van desde diseño de espacios públicos, puentes, aeropuertos, proyectos mineros hasta proyectos de arquitectura en general.

Los participantes debían calificar la importancia de medición del listado total de los criterios en una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a “Irrelevante” y 5 a “Indispensable”, además de calificar la factibilidad de medición, también en una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a “Imposible” y 5 a “Muy fácil”. Los participantes también podían mencionar otros criterios que ellos considerasen pertinentes e importantes y que no eran parte del listado.

Los resultados obtenidos en la encuesta se muestran en matrices, como la que se muestra en la figura 2. Se ha utilizado una escala de colores para identificar los indicadores de sustentabilidad que son más importantes de medir y que tienen mayor factibilidad (verde), aquellos que no cumplen estas condiciones (rojo) y aquellos indicadores que se encuentran en el rango intermedio (amarillo). Esta escala de colores ha sido utilizada para generar un filtro de los indicadores con el fin de determinar aquellos que son más adecuados y útiles para el proceso de priorización y toma de decisiones en los proyectos de caminos básicos. De este modo, se han seleccionado todos los criterios que se encuentren en el rango verde, todos los que sean muy importantes de medir independiente de su factibilidad de medición y los que sean

importantes de medir, pero tengan una factibilidad fácil o muy fácil (dentro del rango amarillo).

Para determinar la clasificación final (entre 1 y 5) de importancia-factibilidad de los indicadores de sustentabilidad se ha obtenido la mediana de las opiniones del grupo de expertos, teniendo la precaución de que el número mínimo de respuestas por cada pregunta fueran 33. Esto último se ha decidido según las recomendaciones de un experto en estadística, por el Teorema de los grandes números (escoger una muestra mínima de 33 datos) y porque la mediana entrega más información cuando se miden variables cualitativas.

2.1 Análisis de sesgo de participantes

Dentro de los participantes en la encuesta se visualizan dos grupos claramente definidos: por un lado, están los académicos y expertos en sustentabilidad, los que no cuentan con mucha experiencia en la evaluación de proyectos viales, y por otro lado están los profesionales del área de vialidad que tienen una vasta experiencia en evaluación de estos proyectos. Es por ello que se espera que las respuestas de la encuesta de estos dos tipos de participantes difieran, ya que la visión de los académicos suele estar más ligada a la literatura y la de los profesionales a lo que evidencian en su práctica laboral.

Para hacer un análisis con respecto a este punto se ha decidido realizar el cálculo del coeficiente de Kappa de Cohen (κ), que es una medida estadística de la concordancia observada en un conjunto de datos excluyendo los efectos del azar. El test de Kappa permite observar la variabilidad del interobservador mediante estudios de concordancia que estiman hasta qué punto dos observadores coinciden en su medición (Cerdeira & Villarroel, 2008). El cálculo del coeficiente se obtiene por medio de la ecuación (1), corresponde a la razón entre la resta de la proporción de observaciones en concordancia (P_a) y el producto de los datos marginales de las tablas de concordancia (P_z) con el total menos las concordancias debidas al azar.

$$\kappa = \frac{P_a - P_z}{1 - P_z} \quad (1)$$

La interpretación del índice de Kappa se observa en la tabla 4, donde la mayor concordancia se logra cuando $\kappa = 1$. Se han identificado dentro

de los participantes de la encuesta a 16 académicos y expertos en sustentabilidad y a 30 profesionales ligados a proyectos viales. Por ello, se han separado sus respuestas por importancia de medición y factibilidad de medición, y a la vez por cada una de las dimensiones de la sustentabilidad.

Luego, se calcula la mediana de las respuestas para estos dos grupos separados, lo que permite visualizar mejor las posibles diferencias que se generen en las respuestas y que sea más comprensible el cálculo del coeficiente de Kappa.

Tabla 4: Medición de la consistencia Criterios de Landis y Koch*.

Valor de Índice de Kappa (κ)	Fuerza de Concordancia
<0	Pobre
0 a 0.2	Leve
0.21 a 0.4	Mediana
0.41 a 0.6	Moderada
0.61 a 0.8	Sustancial
0.81 a 1.00	Casi Perfecta

Primero se analiza el coeficiente de Kappa de Cohen del ítem Importancia de medición para los criterios ambientales, sociales y económicos.

3 Resultados y Discusión

3.1 Indicadores Ambientales

Primero, se muestran los indicadores ambientales en la figura 2, donde los encuestados han clasificado en el rango verde solo uno de los indicadores y los demás indicadores caen en el rango intermedio. Las categorías más recurrentes son para los indicadores que son muy importantes de medir y su factibilidad de medición es media. Se puede pensar que los indicadores ambientales seleccionados en la encuesta no son del todo nuevos para el grupo de expertos, ya que ninguno les ha parecido imposible o difícil de medir.

Según el filtro antes mencionado, son 10 indicadores que no tienen alta prioridad (43.5%) y 13 que sí (56.5%), entre los que se encuentran:

- Prevención del impacto de derrames de los

- equipos durante la construcción.
- Área de ecosistemas afectada por el proyecto.
- Especies en peligro que habitan la zona.

3.2 Indicadores Sociales

En cuanto a los indicadores sociales, se muestran en la figura 3, y al igual que en el caso anterior, no hay ningún factor que se encuentre en el rango rojo y se observa mayor cantidad de ellos en el rango verde (3). Mientras que el rango intermedio sigue siendo el más recurrente, con 19 indicadores sociales, donde la categoría más repetida nuevamente corresponde a criterios muy importantes de medir y cuya dificultad de medición es media.

FACTORES AMBIENTALES		Factibilidad de medición				
		Imposible	Difícil	Media	Fácil	Muy fácil
		1	2	3	4	5
Importancia de medición	Irrelevante	1				
	Poco importante	2				
	Importante	3		A2-A4-A6-A7-A9-A12-A14-A15-A18-A19	A20	
	Muy importante	4		A1-A3-A5-A8-A10-A11-A13-A16-A21-A22-A23	A17	
	Indispensable	5				

Figura 2: Importancia versus factibilidad de medición de indicadores ambientales.

FACTORES SOCIALES		Factibilidad de medición				
		Imposible	Difícil	Media	Fácil	Muy fácil
		1	2	3	4	5
Importancia de medición	Irrelevante	1				
	Poco importante	2				
	Importante	3		S5-S16-S17-S18-S19-S20	S9	
	Muy importante	4		S1-S2-S4-S7-S8-S10-S11-S12-S13-S15-S21-S22	S3-S6-S14	
	Indispensable	5				

Figura 3: Importancia versus factibilidad de medición de indicadores sociales.

A partir del filtro aplicado, se determina que sólo 6 criterios no tienen alta prioridad (27.3%), según el grupo de expertos, y 16 indicadores sociales sí la tienen (72.7%), entre los que se encuentran:

- Población beneficiada – población aledaña a la ruta
- Mejorar la accesibilidad, la seguridad y la señalización de las obras
- Incluir paradas de autobús y acceso peatonal

3.3 Indicadores Económicos

En la figura 4 se muestran los indicadores económicos y su distribución luego de aplicada la encuesta. Se puede observar una distribución similar a la presentada en las matrices anteriores, ya que los indicadores se reparten entre el rango verde y el rango amarillo. Se observa una mayor cantidad de indicadores en el rango verde y la categoría más recurrente es la de los indicadores importantes de medir con factibilidad media.

Entre los aspectos económicos, uno de los expertos que ha contestado la encuesta recomienda considerar la restricción presupuestaria que tienen estos tipos de caminos, la reducción de accidentes de tráfico por la mejora de la ruta, el horizonte de evaluación y la estratigrafía de carga. Con respecto a los accidentes de tráfico existe una opinión dividida, ya que otro experto considera que, al mejorar la ruta, aumentan las velocidades de circulación y, por ende, en este tipo de caminos donde no se mejora la geometría, esto puede conllevar a accidentes de tránsito.

FACTORES ECONÓMICOS		Factibilidad de medición				
		Imposible	Difícil	Media	Fácil	Muy fácil
		1	2	3	4	5
Importancia de medición	Irrelevante	1				
	Poco importante	2				
	Importante	3		E5-E6-E8-E9-E11-E12-E17		
	Muy importante	4		E2-E3-E7-E10-E16	E1-E4-E14-E15	
	Indispensable	5			E13	

Figura 4: Importancia versus factibilidad de medición de indicadores económicos.

A partir del filtro aplicado, se determina que sólo 7 criterios no tienen alta prioridad (41.2%), según el grupo de expertos, y 10 indicadores económicos sí la tienen (58.8%), entre los que se encuentran:

- Tipo de carpeta a utilizar
- Flujo vehicular diario (TMDA)
- Uso típico del camino antes de la mejora / tiempo de viaje asociado
- Geometría del camino
- Ancho medio de la calzada

De esta forma, 39 de los 62 indicadores de sustentabilidad tienen mayor prioridad, de los cuales 33.33% corresponde a criterios ambientales, 41.03% a criterios sociales y 25.64% a criterios económicos. Con ello, un tercio de los

39 indicadores de sustentabilidad considerados de alta prioridad corresponden a criterios ambientales. Mientras que los indicadores de sustentabilidad fundamentados en criterios sociales resultaron ser los de mayor relevancia. Los indicadores de sustentabilidad fundamentados en criterios económicos fueron considerados por el grupo de expertos como de menor relevancia. Esto puede fundamentarse por el hecho de que los proyectos de caminos básicos cumplen un gran rol social, al buscar mejorar la calidad de vida de las personas y el desarrollo local (Aguayo, 2017; Chamorro, 2012).

De esta forma se obtiene el listado final de criterios o indicadores de sustentabilidad para la priorización de proyectos de caminos básicos que han sido seleccionados a partir del proceso de revisión de investigaciones, normativa nacional, encuestas, entrevistas y reunión con expertos. Este listado se diferencia considerablemente del que se define en la investigación de Fernández-Sánchez y Rodríguez-López (2011). Si bien la cantidad de criterios medidos es similar, la importancia de cada dimensión varía considerablemente en cuanto a los ámbitos sociales y económicos, llegando a una diferencia de 10.03% y 8.34%, respectivamente. Esta distribución se justifica por el gran rol social que cumplen este tipo de caminos de bajo volumen de tránsito que aportan a una mejora en la calidad de vida de las personas, a su conectividad con otras ciudades y el desarrollo local.

Se observa en general una tendencia a la centralización de las respuestas por parte de los participantes, tal como se evidencia en las matrices en las que se aglomeran los indicadores en las casillas centrales. Esto podría ser porque existe una tendencia global de las personas a escoger el valor promedio al momento de hacer elecciones o porque los participantes tienen cierto grado de neutralidad con respecto al factor que están evaluando. Es por esto que, si se desea observar de forma más homogénea la tendencia de las respuestas, sería recomendable hacer una escala de valoración que no tenga un número central, y así se exige a los participantes que se arriesguen al asignar un puntaje.

Durante el procesamiento de datos se observa que hubo una parte de los participantes que no respondieron toda la encuesta, sino que se enfocaron en su respectiva área de especialización, dicha tendencia se evidencia sobre todo en los profesionales del área de la sustentabilidad. Esto se puede deber a la extensión de la encuesta y a que los participantes la abandonan una vez empezada, o simplemente a

que tienen cierto grado de desconocimiento de las áreas que no son su especialidad.

Además, se ha observado que existe una mayor cantidad de criterios o indicadores en el rango verde en la dimensión económica, con respecto a las otras dimensiones de la sustentabilidad. Esto puede ocurrir debido a que el 83% de los profesionales que participaron en la encuesta tienen experiencia en la evaluación de proyectos, por lo que tienen familiaridad con los aspectos económicos que se contemplan en la evaluación. En la tabla 5 se observa el listado de los indicadores en el rango verde, es decir, que, según la opinión del grupo de expertos, tienen mayor importancia de medición (muy importante e indispensable) y alta factibilidad de medición (fácil y muy fácil).

Tabla 5: Resumen de indicadores de sustentabilidad de alta importancia y factibilidad de medición.

A17	Prevención del impacto de derrames de los equipos durante la construcción
E13	Tipo de carpeta a utilizar
E1	Flujo vehicular diario (TMDA)
E4	Uso típico del camino antes de la mejora / tiempo de viaje asociado
E14	Geometría del camino
E15	Ancho medio de la calzada
S3	Población beneficiada población aledaña a la ruta
S6	Mejorar la accesibilidad, la seguridad y la señalización de las obras
S14	Incluir paradas de autobús y acceso peatonal

Del listado mostrado en la tabla 5, sólo tres criterios coinciden en naturaleza con los recopilados en la investigación de Fernández-Sánchez y Rodríguez-López (2011). Estos son correspondientes a la dimensión ambiental y social: Gestión de residuos (A17), Seguridad y Salud (S3-S6) y Accesibilidad para la biodiversidad humana (S6). En cuanto a los aspectos económicos no existen coincidencias porque los criterios considerados en esta investigación están enfocados en el coste y técnica de mejoramiento de la ruta, mientras que los indicadores propuestos para proyectos de infraestructuras lineales en España son más generales y enfocados a obras viales de mayor

envergadura.

3.4 Análisis de sesgo

Se ha registrado en la tabla 6 la mediana de las respuestas, de calificación de importancia de medición, de dos grupos de participantes en la encuesta: los académicos o expertos en sustentabilidad y los profesionales del área de vialidad, para los 23 indicadores ambientales que se pide evaluar. Se observa que se han registrado tres tipos de respuesta: se ha clasificado como 3 los indicadores que son importantes de medir, 4 los muy importantes y 5 los indispensables. La tabla 6 es conocida como tabla de contingencia, en la que se pueden comparar dos observadores o dos características de los participantes en una encuesta.

En la diagonal de la matriz se observan la cantidad de veces que los participantes han clasificado de igual forma un factor ambiental, es decir, que existe acuerdo entre los evaluadores. Por lo que a simple vista se puede notar que en este caso existe baja concordancia entre las respuestas, y que la mayoría de las veces los académicos consideran que los indicadores son muy importantes de medir, mientras que los profesionales sólo los consideran importantes.

Tabla 6: Clasificación de importancia de medición para los veintitrés Indicadores Ambientales según Académicos y expertos en sustentabilidad versus profesionales de vialidad.

Respuestas registradas para indicadores ambientales	Profesionales de Vialidad			total
	3 [Imp.]	4 [Muy Imp.]	5 [Indisp.]	
3 [Imp.]	3	0	0	3
Académicos y Expertos en Sustentabilidad 4 [Muy Imp.]	17	2	0	19
5 [Indisp.]	0	1	0	1
Total	20	3	0	23
Acuerdo	3	2	0	5
Valor esperado	2.61	2.48	0	5.1

A partir de los valores en la diagonal principal se observa que en total hay 5 respuestas de acuerdos, pero este valor incluye los acuerdos que se deben al azar, es decir, son los valores asociados a la

probabilidad de que al seleccionar una respuesta al azar se encuentre en la categoría (i,j) de la tabla de contingencia. El valor esperado se calcula por cada tipo de respuesta como el producto de los valores marginales, por ejemplo, para 3 [Importante]: para los académicos representan 3 de 23=13% y para los profesionales 20 de 23=87%. Por lo tanto, para determinar la proporción debida al azar o el valor esperado para la categoría 3, se deben multiplicar estos porcentajes por el total de respuestas registradas, es decir $13\% \cdot 87\% \cdot 23 = 2.6$. Se repite el mismo proceso con las otras respuestas y al sumar estos

valores se obtiene la proporción debida al azar total (Pz). Al aplicar la ecuación (1) se obtiene que el coeficiente de Kappa de Cohen $k = - 0.005$, por lo que existe una pobre concordancia según lo expuesto en la tabla 4.

Se repite este mismo procedimiento para las categorías de importancia de medición y factibilidad de medición en cada uno de los indicadores de la sustentabilidad. En la tabla 7 se muestran los Coeficientes de Kappa de Cohen obtenidos y la respectiva justificación, con respecto a la respuesta que más se repitió.

Tabla 7: Resumen análisis estadístico.

Categoría	Coeficiente Kappa de Cohen	Interpretación	Justificación
Importancia I. Ambientales	0.005	Concordancia Pobre	Profesionales califican como Importante vs Académicos Muy Importante
Importancia I. Sociales	0.21	Concordancia Mediana	Ambos grupos coinciden, mayoritariamente, en que los indicadores sociales son muy importantes de medir
Importancia I. Económicos	0.48	Concordancia moderada	Ambos grupos de expertos considera, mayormente, que los Indicadores económicos son muy importantes de medir
Factibilidad I. Ambientales	0.33	Concordancia Mediana	Ambos grupos de expertos considera, mayormente, que los indicadores ambientales tienen factibilidad de medición media.
Factibilidad I. Sociales	0.34	Concordancia Mediana	Ambos grupos de expertos considera, mayormente, que los indicadores sociales tienen factibilidad de medición media.
Factibilidad I. Económicos	0.35	Concordancia Mediana	Ambos grupos de expertos considera, mayormente, que los indicadores económicos tienen factibilidad de medición media.

La mayor concordancia se logra en el ítem de importancia de medición de indicadores económicos, esto se puede deber a que ambos grupos de expertos tiene conocimientos y experiencia en aspectos económicos de evaluación de proyectos. La peor concordancia se refleja en la importancia de medición que le otorgan los expertos a los indicadores ambientales. El sesgo en las respuestas podría deberse a que los académicos y los expertos en sustentabilidad les otorgan importancia a indicadores ambientales por conocer más a profundidad acerca de los criterios de sustentabilidad, en cambio los profesionales de vialidad tienen una visión más técnica y ajustada a lo que exige la

normativa vigente. En general se observa un coeficiente de Kappa similar en las tres dimensiones en el ítem de factibilidad de medición. Esto confirma que ambos grupos de participantes en la encuesta tienen conocimiento o cierto grado de familiaridad con los indicadores sustentables que se piden evaluar, y de este modo, clasifican la factibilidad de medición entre media y fácil.

A modo general, se ha observado en todas las tablas de contingencia que existe una baja concordancia entre los observadores comparados, por lo que hay un evidente sesgo entre las opiniones de estos profesionales, y se podría confirmar la hipótesis de que sus respuestas serían diferentes. Uno de los

motivos de esto podría ser que la visión de los académicos suele estar más ligada a la literatura y la de los profesionales a lo que evidencian en su práctica laboral. Es por esto que se recomienda que para los procesos de toma de decisiones y definición de criterios de evaluación y priorización de proyectos se haga de forma multidisciplinaria y colaborativa. Esto permite tener la perspectiva de diferentes grupos de expertos con la experiencia, práctica y técnica, junto con los que posean los conocimientos teóricos actualizados y modernos de la academia e integrar estas visiones de forma correcta y armoniosa.

Con los indicadores de sustentabilidad identificados en la presente investigación, considerando la opinión de un grupo de heterogéneo de expertos, es posible crear metodologías de toma de decisiones para la priorización de proyectos de caminos básicos. Existen diferentes métodos multicriterio que permiten combinar las distintas dimensiones, objetivos, actores y escalas que se hallan involucrados en el proceso de toma de decisiones, sin sacrificar la calidad, confiabilidad y consenso en los resultados (Subdepartamento de Caminos Básicos, 2012). Ejemplos de ellos son los métodos AHP por su prevalencia en la literatura de toma de decisiones de la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC), al WRC por su uso generalizado en la práctica de diseño de la AIC y al CBA, porque según plantea Arroyo, Tommelein, & Ballard (2014), permite la creación de transparencia y de consenso, mejor que los otros métodos. Ejemplo de esto es el sistema de Conservación de la Red Vial Austral (CRVA) desarrollada por la Universidad de Concepción, donde Correa (1995) utiliza un proceso de priorización en base al método AHP de análisis multicriterio considerando para ello criterios económicos, técnicos, condiciones ambientales e importancia del tramo en la red (De Solminihac *et al.*, 2018).

4 Conclusiones

Se han identificado 39 indicadores de sustentabilidad para la evaluación de proyectos de caminos básicos, con 13 indicadores ambientales, 16 sociales y 10 económicos.

Estos resultados son importantes para la optimización del proceso de selección y priorización de proyectos de caminos, debido a la gran cantidad de caminos básicos que deben evaluar las autoridades de vialidad para asignar los recursos públicos anuales. Ya que el informe de Contraloría ha determinado que en las direcciones regionales de vialidad no se advierten los criterios objetivos para determinar qué tipo de acción de conservación van a implementar, se pueden utilizar los presentes criterios sustentables para

apoyar el proceso de toma de decisiones y transparentar los procesos de selección. Así, se busca evitar la subjetividad o ambigüedad de la decisión de qué proyecto ejecutar y sortear que estos se hagan impulsados por motivos políticos o comunales (aquellos en donde la comuna ejerza mayor presión a las autoridades de vialidad).

Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés de naturaleza alguna con la presente investigación.

Referencias

- Acevedo, H., Vásquez, A. & Ramírez, D. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105–118. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424101009.pdf>
- Aguayo, O. (2017). *Estimación del impacto de un programa masivo de pavimentación de caminos rurales sobre las emisiones de CO2 en Chile*. (Tesis de Maestría), Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- Arroyo, P., Tommelein, I. & Ballard, G. (2014). Comparing Weighting Rating and Calculating vs. Choosing by Advantages to Make Design Choices. In *Proceedings for the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 1(510), pp. 1–12. IGLC: Oslo, Norway. Recuperado de <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-5e28720a-9403-4a05-b9e7-ec560d566d67.pdf>
- CEEQUAL (2010). *Sustainability rating scheme for infrastructure projects*. Recuperado de <https://www.ceequal.com/>
- Cerda, J. & Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54-58. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062008000100008
- Chamorro Giné, M. (2012). Development of a Sustainable Management System for Rural Road Networks in Developing Countries. (Doctoral thesis). University of Waterloo, Ontario, Canada. Recuperado de https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/6551/Chamorro_Gine_Marcela_Alondra.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Contraloría General de la República. (2018). *Informe Consolidado N°501, de 2018, sobre Auditoría a los Procesos para la Conservación de Caminos*. Contraloría de la República, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de

- <https://www.contraloria.cl/pdfbuscador/auditoria/8eb691e29ac0cb3012689e0292d2da56/html>
- Correa, J. (1995). *Modelo de Gestión y planificación de programas de conservación para red vial austral* (Memoria de Grado de Ingeniería Civil). Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- De Solminihaç, H., Echaveguren, T. & Chamorro, A. (2018). *Gestión de infraestructura vial*. Santiago de Chile, Chile: Ediciones UC.
- Díaz, J. (2017). *Desarrollo y aplicación de un nuevo sistema de rating para la evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructuras en países subdesarrollados SIRSDEC* (Tesis Doctoral). Universidad de Cantabria, Cantabria, España. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/11004>
- Echaveguren, T. (1994). *Metodología de evaluación de caminos de bajo estándar*. Ministerio de Planificación y Cooperación, República de Chile. Recuperado de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/52958/14_2Transportes_Caminos_bajo_estandar.pdf
- Fernández-Sánchez, G. & Rodríguez-López, F. (2011). Propuesta para la integración de criterios sostenibles en los proyectos de ingeniería civil: un caso práctico. *Informes de la Construcción*, 63(524) 65-74. <https://abacus.universidadeuropea.es/bitstream/handle/11268/1143/1138.pdf?sequence=1>
- ISCA. (2012). *Infrastructure Sustainability Council of Australia*. Infrastructure Sustainable (IS). Overview. Recuperado de <https://www.isca.org.au/Get-Involved/IS-Ratings>
- ISI. (2015). *Rating System for Sustainable Infrastructure*. Institute for Sustainable Infrastructure: Washington, USA.
- Kibert, C. J., *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. John Wiley & Sons.
- Mata, E. (2017). *Estudio comparativo de los sistemas de certificación de sostenibilidad de proyectos de infraestructuras* (Trabajo Final de Grado), Universidad de Cantabria, Cantabria, España. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12948/Mata%20Eneko%20TFG.pdf?sequence=1>
- Muench, S. T., Anderson, J. L., Weiland, C., Koester, J., Peterson, E., Scarsella, ... Oenney, K. (2011). *Greenroads Manual™ v1.5*. In J. Anderson, C. Weiland, & S. Muench, (Eds.). Seattle, WA: University of Washington. <https://www.greenroads.org/files/235.pdf>
- Ordoñez, M. & Meneses, L. (2015). Criterios e Indicadores de Sostenibilidad en el Subsector Vial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (2), pp. 81 - 98, DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1433>
- Rodríguez, F. & Fernández, G. (2010). Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(2), 147-160. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732010000200001>
- Rossetti, M. P. (2017). La Sostenibilidad en la Infraestructura. In *Conferencia LEAN en el Sector Público LIPS* (p. 35). Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas. Recuperado de <http://www.construye2025.cl/wp-content/uploads/2018/01/208-Sustainable-MOP-Projects-ENVISION.pdf>
- Subdepartamento de Caminos Básicos. (2012). In *Texto guía caminos básicos por conservación*. Santiago de Chile, Chile: Ministerio de Obras Públicas de Chile.
- Urrejola, A. (13 de junio de 2018). Soluciones que mejoran la calidad de vida y cuidan la salud laboral. Control de polvo en faenas. *Ediciones Especiales Diario El Mercurio*. Recuperado de <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201506251942526>