

02-012

ASSESSMENT OF THE SOCIAL SUSTAINABILITY OF ASPHALT MIXTURES IN CHILE THROUGH A BAYESIAN DECISION-MAKING MODEL.

Sierra Varela, Leonardo ⁽¹⁾; Valdés Vidal, Gonzalo ⁽¹⁾; Calabi Floody, Alejandra ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de La Frontera

There are few infrastructure studies that consider the social aspect. Especially the social contribution of the materials that make up the highways of a territory is underestimated. The social is a pillar in the sustainability of a project and involves the impacts on human beings and their interaction with their socio-cultural, economic, and biophysical environment; of which asphalt mixtures are not exempt from impact. This study evaluates the social contribution of new asphalt mixes, used in a test section on a highway in Chile. The mixtures evaluated are six and include a conventional hot mix, warm-mixes with national natural additive, warm-mixes with exported chemical additive, and their variants with and without RAP. Through the study, a multicriteria model was validated through the Delphi technique. In addition, the Bayesian theory and a Noise-OR model allowed the evaluation of the mixtures. In this way, for the life cycle of extraction, production, and construction, a set of indicators and criteria determine a cause-effect decision-making model. The results reflect different social contributions of asphalt mixtures and short and long-term impacts on the development of the context; being the warm-mixes with RAP the mixes that achieving a higher social contribution.

Keywords: Chile; asphalt mixes; bayesian networks; social sustainability.

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CHILE A TRAVÉS DE UN MODELO DE TOMA DE DECISIÓN BAYESIANA.

Escasos son los estudios de infraestructura que consideran el aspecto social. Especialmente es subestimado el aporte social de los materiales que componen las carreteras de un territorio. Lo social es un pilar en la sostenibilidad que involucra los impactos sobre los seres humanos y su interacción con su entorno sociocultural, económico y biofísico; donde las mezclas asfálticas no están exentas de impacto. Este estudio evalúa la contribución social de nuevas mezclas asfálticas, usadas en una sección de prueba en Chile. Las mezclas evaluadas son seis e incluyen una mezcla convencional caliente, mezclas semi caliente con aditivo natural nacional, mezclas semicaliente con aditivo químico exportado y sus variantes con y sin RAP. A través del estudio se validó un modelo multicriterio mediante la técnica Delphi. Complementariamente la teoría Bayesiana y un modelo Noise-OR permitieron la evaluación de las mezclas. De esta forma, para el ciclo de vida de extracción, producción y construcción un conjunto de indicadores y criterios determinan un modelo de toma de decisión causa-efecto. Los resultados reflejan diferentes contribuciones sociales de las mezclas asfálticas, e incidencias al corto y largo plazo en el desarrollo del contexto; siendo las mezclas semicaliente con RAP las que logran una mayor contribución social.

Palabras claves: Chile; mezclas asfálticas; redes bayesianas; sostenibilidad social.

Correspondencia: Leonardo Sierra Varela; leonardo.sierra@ufrontera.cl

Agradecimientos: Se agradece a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo ANID-Chile que a través de los proyectos FONDEF-CONICYT ID 15I20235 y FONDECYT 11190501 han permitido financiar este estudio.



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El Noveno Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsa al desarrollo de infraestructura regional que aporte el desarrollo económico y el bienestar humano, a través de un acceso asequible y equitativo. Para ello se promueve la investigación e innovación de tecnología en los países en desarrollo, para propiciar la diversificación industrial y la adición de valor a los nuevos componentes de infraestructuras (Naciones Unidas, 2015). En este sentido, Chile es parte de los 193 estados firmantes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y ha promovido estrategias para el desarrollo de infraestructuras civiles sostenibles, dentro de las cuales se encuentra el sector vial. La red de caminos nacional representa uno de los pilares de desarrollo más importante para la sociedad chilena, por permitir la conectividad de los territorios y el intercambio comercial y cultural (Ordoñez & Meneses, 2015). Según datos de Dirección de Vialidad (2020) en Chile más del 90% de los pavimentos existentes cuenta con una estructura asfáltica

Frente a este escenario el Ministerio de Obras Públicas planifica estrategias y distribuye recursos en proyectos eficaces en infraestructura vial sostenible. En el último tiempo se ha promovido el apoyo en la utilización de materiales reciclados, empleo de materiales en la zona de origen, reducción de extracción materiales y la reducción del consumo de energía (Carvallo, Powell & Serebriky, 2020). Estas estrategias buscan impulsar la sostenibilidad de las infraestructuras considerando los aspectos ambientales, económicos y sociales. Sin embargo, no ha sido suficiente y se reconoce que la limitación fundamental de la sostenibilidad hoy en día, es que tiende a centrarse en las consideraciones biofísicas y económicas (Sierra et al. 2016). En efecto, algunos proyectos del sector público no se han tenido suficientemente en cuenta elementos del desempeño social, debiendo ser su principal objetivo (Shen et al. 2010).

Por su parte, a raíz de la necesidad de impulsar el desarrollo sostenible en infraestructuras viarias, se han desarrollado estudios que evalúan factibilidad de ejecución de pavimentos con mezclas asfálticas, en consideración al alto costo social y ambiental de esta medida. Esto es la generación de impactos negativos como la contaminación del aire, vertimiento de desechos industriales, consumo de recursos naturales, fragmentar o destruir hábitat y ecosistemas, modificar el uso de suelo, alteración del paisaje, e impactos negativos sobre la calidad y estilo de vida de las comunidades que viven en la zona de influencia del proyecto (Pérez-Moreno, 2018; Schlegel et al. 2016). Todos estos aspectos contradicen las pretensiones de ODS anteriormente descrito.

En búsqueda por minorar impactos ambientales en la pavimentación de obras viarias, se han creado diferentes productos sintéticos y revalorizados otros naturales que logran disminuir la temperatura de fabricación y colocación de mezclas asfálticas. Esto ha generado mezclas semi calientes (WMA) que reducen la emisión de gases contaminantes y la energía necesaria para los procesos de producción (Loren, Mardones, & Valdés 2018). Además, producto del fomento a la utilización de material reciclado se han desarrollado estudios que dan muestra de la eficacia técnica de la incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP en Inglés) respecto de las mezclas asfálticas en caliente (HMA) convencionales. Actualmente en Chile se faculta el uso de las mezclas asfálticas calientes y las mezclas semi calientes en la práctica no son comúnmente empleadas. A pesar de ello existen estudios de WMA con aditivos naturales y RAP que avalan sus propiedades técnicas, la reducción en la emisión de gases y de gasto energético, y de su implementación en autopistas urbanas nacionales (Espinoza et al., 2020; Sanchez-Alonso, Valdés-Vidal, & Calabi-Floody, 2020; Valdés-Vidal, et al., 2020). En esta línea, aún son necesarios estudios que profundicen en el aporte social de estos

nuevos productos, derivados de la incorporación de aditivos naturales y materiales reciclados que no se evidencian claramente en la literatura.

De hecho, son escasos los estudios que consideran el aporte social de componentes de infraestructuras y en particular de mezclas asfálticas. Hossain et al., (2018) propone una estructura de evaluación de ciclo de vida social basada en actores de interés para la evaluación social de materiales de construcción reciclados. Sin embargo, argumenta la limitación del acceso a la información y bases de datos en particular para dar cobertura a los aspectos sociales. Arroyo et al., (2018) expone un método de evaluación de mezclas asfálticas con y sin uso de neumáticos de desecho, a través de solo cuatro criterios (índice de regularidad internacional, ruido, salud, inflamabilidad) que limitan la real representación de los social en la medición. En esta línea, otros autores también proponen un enfoque reduccionista al dimensionar el impacto en la salud, la accesibilidad, y la reducción de accidentes como criterios de medición para representar el aporte social de diferentes tecnologías de pavimentación en Italia (Paganin et al. 2020). En estos casos los resultados no consideran el contexto de aplicación. Tampoco los actores implicados más allá de los evaluadores, ni la interacción de los criterios con otras dimensiones de la sostenibilidad o entre aspectos sociales.

Efectivamente, la consideración de lo social en infraestructuras implica limitaciones para ser considerada con el mismo tratamiento que otras dimensiones de la sostenibilidad. Específicamente la naturaleza de los impactos sociales hace difícil aislarlos respecto a otras intervenciones o dinámicas macro-sociales. Muchos de ellos tienen efectos contrapuestos y acumulables, a consecuencia de estrategias que trascienden al proyecto (Colantonio, 2011). Además, las condiciones de heterogeneidad social, cultural y modelos de desarrollo, obligan a la divergencia de criterios de medición (Colantonio, 2011; Vanclay, 2002). Así mismo, la no existencia de óptimos impide establecer puntos de referencia (Labuschagne et al. 2005).

En los últimos años se han diseñado métodos para la evaluación de la contribución social de proyectos de infraestructura, a través de técnicas multicriterio (Sierra, Pellicer, & Yepes, 2016; Sierra, Pellicer, & Yepes, 2017; Sierra, et al., 2018). Estos métodos determinan un modelo conceptual de toma de decisión pertinente a un contexto, interrelacionado con otros criterios y que promueve la representación de actores de interés. Esto ha permitido estimar la contribución social de diferentes alternativas de proyectos a través del uso de redes bayesiana y modelos canónicos Noise-OR para la operación del modelo (Sierra et al. 2018). Las redes bayesianas son un modelo gráfico que representa una relación de probabilidad condicional entre distintas variables inciertas usando el Teorema de Bayes (Chen & Pollino 2012). Un modelo de toma de decisión multicriterio basado en redes bayesianas puede incluir (1) variables de decisión que depende de los tomadores de decisión, (2) los criterios impactados por las variables de decisión, y (3) la interconexión entre variables y criterios asociados a distribuciones de probabilidad (Sierra et al. 2017). En este punto la operación de un modelo de impactos puede ser factorizado y condicionada la independencia de las variables causales a través de la técnica *Noise-OR*. Esta técnica asume que las variables causales son capaces por si mismas de generar el efecto sin afectar la presencia o ausencia de otras causas activas (Lemmer and Gossink 2004). Estas técnicas pueden constituir un punto de partida para la evaluación del aporte social en el ciclo de vida de nuevos productos de mezclas asfálticas con materiales reciclados y aditivos naturales, en un contexto nacional.

De esta forma se hace necesario la evaluación del aporte social generado por mezclas asfálticas innovadoras, amigables con el medio ambiente, para complementar los estudios técnicos y ambientales existentes. De acuerdo a lo anterior, este artículo propone un modelo de decisión bayesiano para estimar la contribución a la sostenibilidad social de mezclas asfálticas y evaluar su desempeño en un contexto nacional. Esto implica el diseño de un modelo de toma de decisión que permita comparar el aporte social de distintas mezclas dentro de un contexto. Este modelo permite la evaluación del ciclo de vida (extracción, producción,

colocación) de seis mezclas asfálticas, compuestas por una mezcla convencional caliente (HMA), mezclas semi caliente con aditivo natural nacional (WMAz), mezclas semicaliente con aditivo artificial exportado (WMAe) y sus variantes con y sin RAP.

2. Metodología de Investigación

2.1. Caso de estudio

Un estudio de evaluación de la contribución a la sostenibilidad social es aplicado sobre un conjunto de mezclas asfálticas. El alcance geográfico del impacto se asocia al territorio nacional en Chile. La tabla 1 presenta las propiedades de diseño de las seis mezclas asfálticas evaluadas, que se presentan en los siguientes puntos:

- HMA: Mezcla asfáltica en caliente convencional (Muestra patrón)
- WMAz: Mezcla asfáltica semicaliente con aditivo natural (Zeolita)
- WMAe: Mezcla asfáltica semicaliente con aditivo artificial (Evotherm)
- WMAR20z: Mezcla asfáltica semicaliente con 20% de RAP y Zeolita
- WMAR20e: Mezcla asfáltica semicaliente con 20% de RAP y Evotherm
- WMAR30z: Mezcla asfáltica semicaliente con 30% de RAP y Zeolita

Tabla 1: Métodos de trabajo para la evaluación de la contribución social de mezclas asfálticas

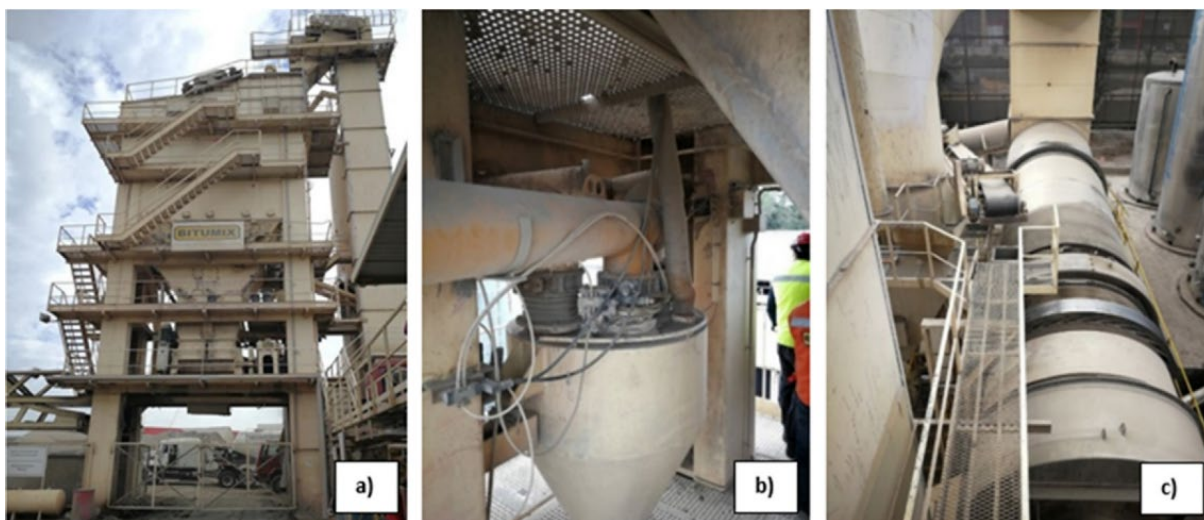
Mezcla	Temp. (°C)	Cont. Total (%s/a)	Zeolita (%)	RAP (%)	Dens. (kg/m ³)	Estabili- dad (N)	Deform. (0.25mm)	Hue- cos	VAM
HMA	154	5,3	0	0	2350	13755	11,3	5,3	15,4
WMAz	134	5,3	0,6	0	2358	14228	11,4	5,0	15,0
WMAe	134	5,3	0	0	2359	15121	11,5	4,9	15,0
WMAR20z	134	5,8(4,8+1)	0,6	20	2358	15105	11,7	4,3	15,5
WMAR20e	134	5,8(4,8+1)	0	20	2367	138511	11,8	3,9	15,1
WMAR30z	134	6,1(4,5+1,6)	0,6	30	2371	14995	13,4	3,5	15,2

El estudio se centra en los elementos diferenciadores del aporte social de las mezclas en las etapas de extracción de materias primas, producción y colocación. En la etapa de extracción son considerados los procesos para la obtención del aditivo natural (Zeolita) y el impacto nacional de importación de aditivos extranjeros (Evotherm). La zeolita es un mineral extraído artesanalmente desde capas superficiales terrestres de las zonas precordillerana centro sur del Chile. Sus usos actuales son principalmente la artesanía, la agricultura, e industria avícola. En adición en esta etapa son estudiados los procesos para la generación, transporte y acumulación de RAP en Chile, generalmente a cargo de la industria asfaltera. Otros antecedentes específicos de las propiedades de las mezclas estudiadas y de la procedencia de sus insumos referirse a Sanchez-Alonso, Valdés-Vidal, y Calabi-Floody, (2020)

A través de una prueba real fueron implementadas las etapas de producción y colocación de las mezclas. En la etapa de producción fue implementada las mezclas fueron confeccionadas en una planta asfaltera dentro del radio de cobertura de la pavimentación de prueba. La Figura

1 ilustra la torre dosificadora (a), el dosificador en que se introduce la zeolita natural (b), y el tambor de secado donde se introdujo el RAP (c).

Figura 1: Planta empleada en la fabricación de mezclas asfálticas



Fuente: Valdés-Vidal, et al. (2020).

La etapa de colocación se implementó en la pavimentación de 600 m en seis secciones de la autopista Vespucio Norte ubicada en ciudad de Santiago de Chile. Se observó el proceso de colocación y la puesta en marcha hasta con 30 días de uso. LA figura 2 ilustra el proceso de construcción de las secciones de prueba. Mayores antecedentes del proceso de implementación de las secciones de prueba ver en Valdés-Vidal, et al. (2020).

Figura 2: Planta empleada en la fabricación de mezclas asfálticas



Fuente: Valdés-Vidal, et al. (2020).

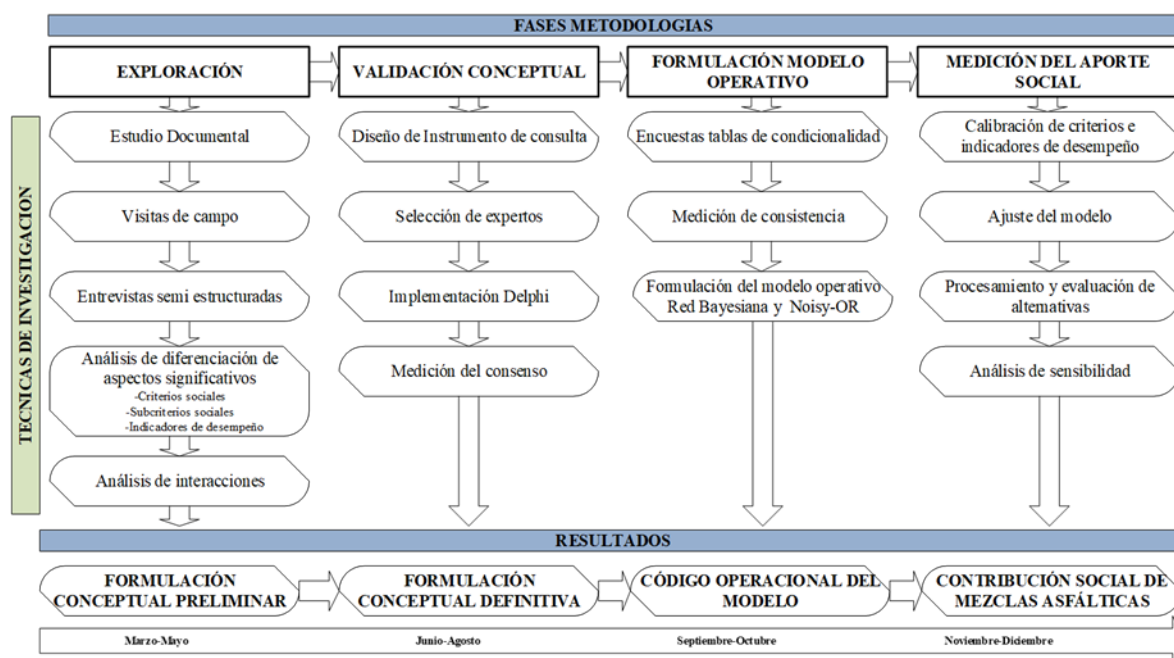
2.2. Método de investigación

El estudio involucro un conjunto de métodos para determinar un modelo multicriterio conceptual causa-efecto y dar operatividad cuantitativa para la evaluación de las mezclas. Un modelo conceptual de toma de decisión multicriterio es obtenido a través de una triangulación de métodos cualitativos y la validación a través del método Delphi. El modelo conceptual está compuesto por la interacción de indicadores de cada etapa del ciclo de vida (extracción, producción y colocación), sub-criterios y criterios sociales que recogen el impacto. Luego el modelo conceptual es formulado a través de las técnicas de redes bayesianas y el modelo canónico Noise-OR (Lemmer & Gossink, 2004; Sierra, Yepes, García-Segura, & Pellicer, 2017). El modelo es calibrado a través del método heurístico de Búsqueda Armónica (Yepes, Garcia-Segura, & Moreno-Jimenez, 2015) para generar 50.000 iteraciones que permitieron su ajuste. Luego son evaluadas las seis mezclas asfálticas del alcance del proyecto y se

establece la contribución social por criterio social, y ciclo de vida. La Figura 3 representa el proceso metodológico del curso de la investigación desarrollado el año 2019, para evaluar la contribución social de las mezclas asfálticas.

En particular en la fase de exploración se lleva a cabo una revisión de documentación técnica, visitas de campo y entrevistas semiestructuradas a los actores involucrados. Los actores son escogidos dada su participación en los procesos que influyen sobre el entorno local/regional/nacional y tiene las competencias para diferenciar el impacto de las mezclas asfálticas evaluadas. Las visitas de campos y los actores involucrados están relacionadas con los procesos de extracción y transporte de Zeolita Natural (Empresa FERTOSA en la localidad de Quinamávida y Municipio de Colbun, Región del Maule - Chile), con los procesos de reciclaje, transporte y acopiamiento de RAP, los procesos de producción de las mezclas asfálticas (Empresa Bitumix S.A y Comuna de Maipu – Chile), y con los procesos de transporte de mezclas y su colocación (Sección de prueba Autopista Vespucio Norte, Santiago de Chile).

Figura 3: Métodos de trabajo para la evaluación de la contribución social de mezclas asfálticas



A partir de la exploración cualitativa se determinan los criterios de evaluación social, sub-criterios e indicadores diferenciadores de los procesos de extracción, producción y colocación para las mezclas y que influyen sobre criterios sociales de evaluación. De esta forma de acuerdo a un estudio de contenido y afinidad de la información cualitativa, el equipo de investigación propone una red de interacción causa - efecto. El modelo conceptual es validado a través de un panel de expertos multidisciplinario (Tabla 2) y la aplicación del método Delphi. El método Delphi permite lograr un acuerdo entre diferentes actores que evalúan de forma sistemática conceptos complejos con revisiones reiterativas hasta lograr un consenso. En este caso, se logra el consenso del modelo de toma de decisiones después de la aplicación de una tercera ronda con un panel de 17 expertos. El número de especialistas y los criterios de

selección se ajustan a las orientaciones de Hallowell y Gambatese, (2010) para la aplicación de esta técnica.

Tabla 2. Antecedentes del panel de expertos

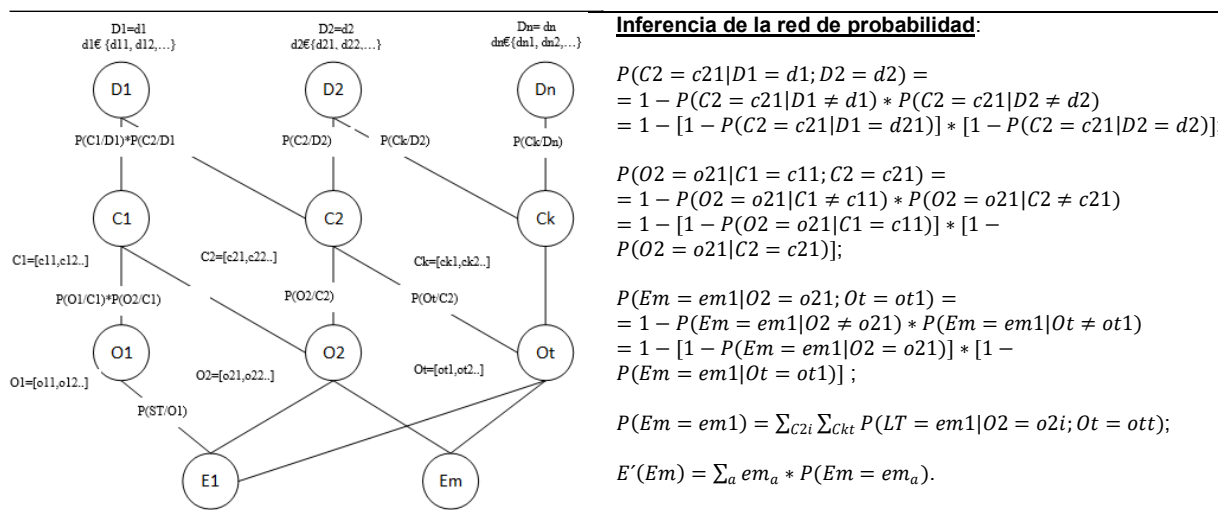
Nº	Institución	Cantidad	Profesión	Ámbito de aporte
1	Laboratorio Nacional de Vialidad	2	Ingeniero Constructor/ Ingeniero Civil	Normativo
2	Contraloría General de la República	1	Ingeniero Ambiental	Normativo Ambiental y Económico
3	Instituto de desarrollo local - UFRO	2	Ingeniero Civil Industrial, Sociólogo (Ambos PhD)	Ambiental y social
4	Universidades Estatales Departamentos de especialidad	4	Ingenieros Constructores e Ingenieros Civiles (PhD)	Técnico
5	Ministerio de Obras Públicas	4	Ing. Civil y en Constructor, Ing Ambiental, Economista (MSc)	Técnico y socioeconómico
6	Ministerio de Desarrollo Social y Familia	4	Ingeniero Civil, Sociólogo	Socioeconómico

Para dar operatividad al modelo de toma de decisión se introducen estados de respuesta para cada indicador de acuerdo a la consulta con expertos y revisión de la literatura técnica-científica. De esta forma, cada mezcla asfáltica se puede representar como un vector; es decir, un conjunto de estados de respuesta para los indicadores del modelo. Para distribuir el impacto se formula una red bayesiana que a través de un modelo canónico Noise-OR que permite estimar el impacto de un conjunto de variables independientes sobre otras (Lemmer & Gossink, 2004). La Figura 4 representa la formulación de la distribución de la probabilidad del impacto de cada indicador D_n hacia los criterios sociales E_m . Cada interacción $P(C_k/D_n)$ entre indicadores, subcriterio, criterios es representada por la probabilidad condicional del impacto sobre un criterio o subcriterio respecto de cada estado de su indicador precedente. En este caso, las probabilidades condicionales de cada interacción se obtuvieron a través de 55 respuestas de especialistas. La aplicación de un estadístico de Kendall con un 5% de error permite verificar la concordancia de las 55 respuestas. Para mayores detalles de la aplicación del estadístico de Kendall ver (Sierra, Pellicer, & Yepes, 2016).

La formulación del modelo permite determinar la esperanza de cada criterio social $E'(E_m)$ en una escala de 1 (mínima contribución social) a 9 (máxima contribución social). De esta forma, la valoración de los criterios sociales permite agregar los impactos por ciclo de vida de acuerdo a los indicadores influyentes. Los valores agregados de contribución social se determinan a través del área de la gráfica radial de los criterios impactados por cada ciclo de vida. En todos los casos el área radial es determinada de forma helicoidal (de mayor a menor) y estandarizada de acuerdo al área de contribución máxima. En esta instancia, cada mezcla asfáltica cuenta con un vector que representa su contribución en las etapas de extracción, producción y colocación. A partir de este punto se puede maximizar la distancia (Euclídea,

Manhattan y Chebyshev) desde un punto anti ideal de nula contribución social. Esto permite la comparación agregada de todas las mezclas, integrando los ciclos de vida.

Figura 4: Formulación de la distribución de probabilidad Bayesiana y un modelo Noise-OR



Fuente: Sierra et al. (2018)

3. Resultados

De acuerdo a los métodos de trabajo descritos en la sección 2.2, la fase de exploración y validación conceptual (Figura 3) son desarrolladas con apoyo del software NVivo1.2. La Figura 5 representa el modelo de toma de decisión validado que representa las variables de incidencia y su interacción para la contribución social de las mezclas asfálticas en el territorio nacional. El modelo está compuesto por indicadores asociados a cada etapa del ciclo de vida, subcriterios y criterios impactados, y sus interacciones de influencia. De esta manera, se obtienen 25 indicadores de desempeño que miden 13 subcriterios y 9 criterios sociales finales.

A partir del modelo de toma de decisión de la Figura 5 se formula el modelo operativo a través de un código en lenguaje Matlab 8.6 R2015b. La calibración del modelo y el ajuste de los estados de respuesta de los indicadores se logran a partir de la aplicación del método heurístico de Búsqueda Armónica propuesto por García-Segura y Yepes (2016). En este caso el método se determina 50.000 casos hipotéticos Pareto óptimos de mezclas asfálticas respecto de los ciclos de vida de extracción, producción y colocación. En esta nueva base de datos son analizados los valores extremos o inconsistentes de los indicadores de las mezclas asfálticas hipotéticas para ajustar el modelo.

Con el modelo ajustado se estima la contribución que recae sobre cada criterio social respecto de las distintas mezclas evaluadas. La Figura 6 representa la esperanza media de contribución social para cada criterio de evaluación de las seis mezclas asfálticas evaluadas. Las dispersiones más significativas se producen en la evaluación de los criterios de impacto mediático, replanteamiento normativo, identificación zonal y el desarrollo e innovación. Por su parte se refleja una relativa contribución al paisaje y el desarrollo socioeconómico macronacional. En adición las mezclas con RAP reflejan una mayor contribución que el resto

de mezclas y además se evidencia la contribución social de las WMA respecto de la mezcla convencional (HMA).

Desde un enfoque de ciclo de vida es posible agrupar la contribución social de acuerdo a los criterios que aplican sobre la extracción, la producción, la colocación de mezclas. En la Tabla 3 se presentan el área de contribución social de cada mezcla por ciclo de vida. Estos

resultados permiten una representación cartesiana tridimensional (extracción, producción y colocación), para maximizar la distancia desde un punto de nula contribución.

Figura 5: Modelo de toma de decisión de la contribución social de mezclas asfálticas

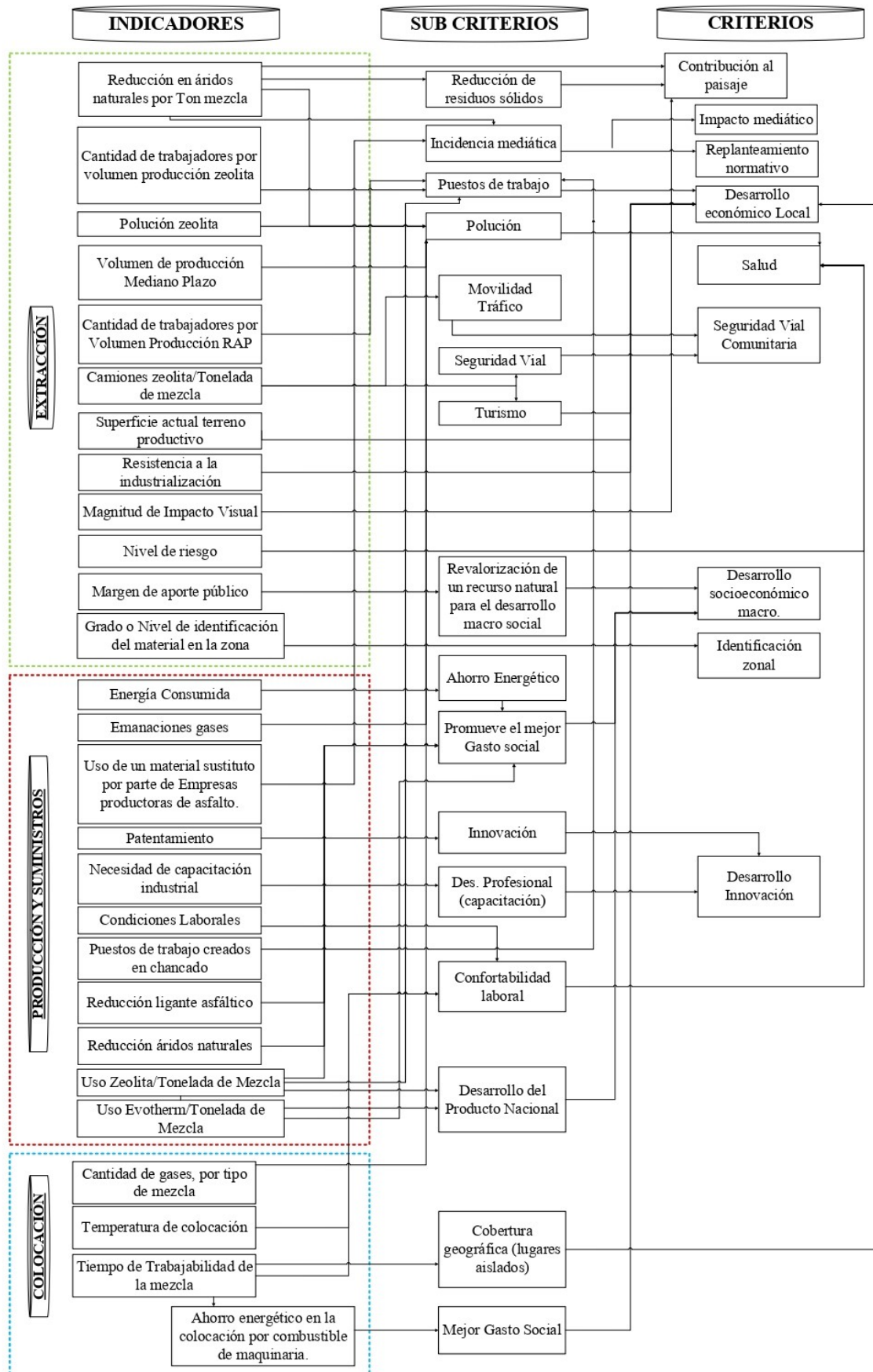


Figura 6: Contribución social de mezclas asfálticas por criterio de evaluación

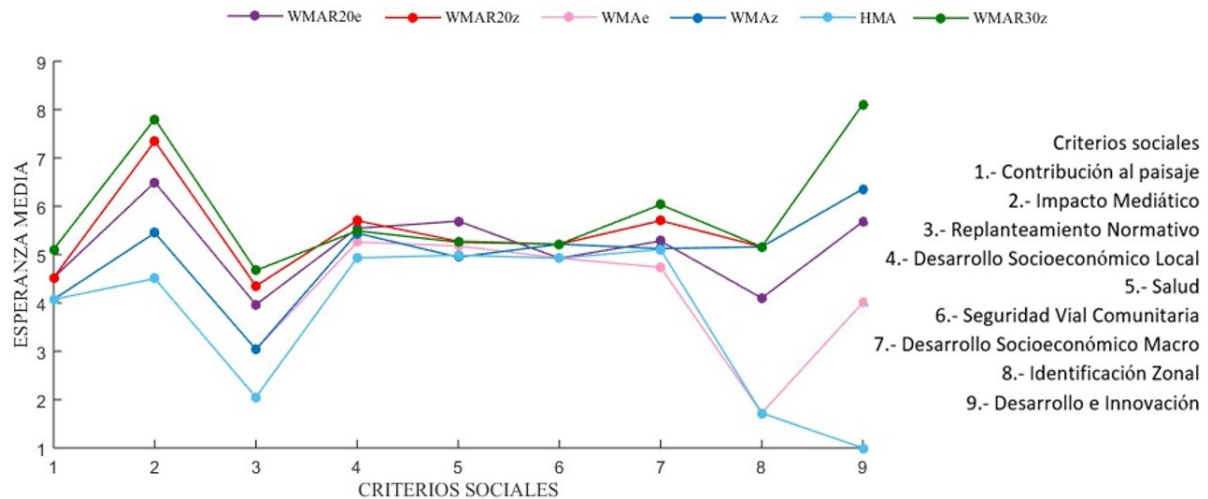


Tabla 3: Área de contribución social de mezclas asfálticas por ciclo de vida

Mezcla	Extracción	Producción	Colocación
WMAR30z	11.45	4.73	5.24
WMAR20e	9.61	3.81	4.60
WMAR20z	10.07	4.73	6.04
WMAe	5.24	2.38	3.89
WMAz	6.01	2.37	3.89
HMA	5.23	1.07	1.76

En la Tabla 4 se presentan las distancias de contribución social a las mezclas evaluadas. Para esto, se utilizan y comparan las distancias más usadas en el ámbito de optimización operacional. Esto es la distancia Euclídea, de Manhattan y de Chebychev (Yepes, García-Segura & Moreno-Jiménez, 2015).

Para verificar la estabilidad del modelo y robustez de los resultados se aplicó un análisis de sensibilidad con una variación en peso cada 10% en el intervalo de -70% a +70% sobre cada

criterio. El resultado no mostro diferencias significativas en el orden de prioridad de los resultados de las mezclas.

De esta forma se determina que las mezclas WMAR30z y WMAR20z presentan la mayor contribución social y la significativa incidencia global de la incorporación de RAP en la evaluación social.

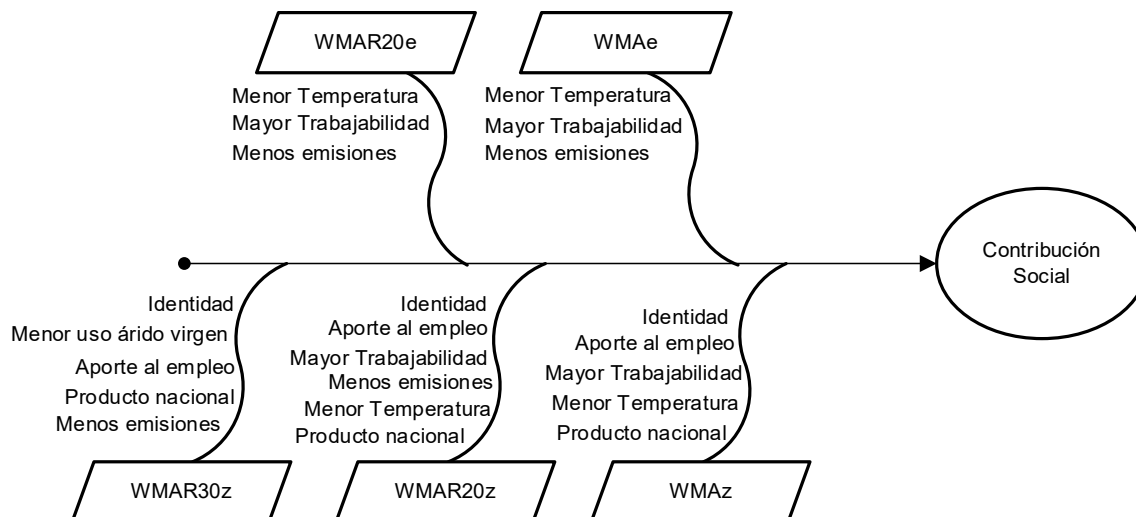
Tabla 4: Distancia de contribución social agregada de cada mezcla a un anti-ideal

Tipo de Mezcla	Distancia Euclidiana	Distancia de Manhattan	Distancia de Chebychev
WMAR30z	13,45	21,41	10,45
WMAR20e	11,32	18,02	8,61
WMAR20z	12,66	20,83	9,07
WMAe	6,95	11,51	4,24
WMAz	7,54	12,26	5,01
HMA	5,621	8,06	4,23

Las mezclas con mayor contribución se distinguen por la incidencia en los indicadores *Extracción de áridos naturales* (Extracción), *Trabajabilidad de la mezcla* (Colocación) y el *Margen de aporte público* (Extracción). Por su parte, la mezcla WMAz con incorporación de zeolita natura y sin RAP se destaca debido al aporte a la *Identidad zonal*, el *Margen de aporte público* y la *creación de nuevos trabajos*, todos indicadores de la etapa de extracción. En el caso de la mezcla WMAR20e posee características diferenciadores, sin embargo el criterio de *Desarrollo socioeconómico macro* limita su contribución al vincularse con el origen de los insumos y el aporte nacional. La mezcla WMAR20e requiere del ligante asfáltico modificado con el aditivo Evotherm de origen extranjero, que requiere un costo adicional del 10% sobre el costo del ligante convencional. Según la tendencia de respuestas este producto genera una dependencia, reduce el gasto social y no contribuye al desarrollo nacional. A partir del análisis de las variables diferenciadoras que afectan los indicadores del modelo, el diagrama de

Ishikawa de la Figura 7 representa las características trascendentes de las mezclas semicalientes evaluadas (WMA) respecto de una mezcla convencional (HMA).

Figura 7: Elementos diferenciadores de la contribución social de mezclas asfálticas semicalientes (WMA) respecto de una mezcla caliente convencional (HMA)



4. Conclusiones

Se determinó el grado de contribución social de las seis mezclas asfálticas de acuerdo a sus características y contexto de procedencia. Las mezclas asfálticas de mayor contribución social son: la mezcla semicaliente con 30% y 20% de RAP y zeolita, y la mezcla semicaliente con 20% de RAP y Evotherm. Se evidencia el aporte significativo de la incorporación de RAP en la contribución social. Además, las mezclas semicalientes presentan una mayor contribución que las mezclas convencionales calientes.

Las relaciones entre criterios, subcriterios e indicadores se establecen a través una red de toma de decisión multicriterio, aplicado a través de la teoría de redes Bayesianas. Este modelo permitió priorizar mezclas asfálticas a partir de su contribución social. El modelo de toma de decisión, es estable para el conjunto de alternativas evaluadas, dentro de un contexto geográfico y para un periodo fijo de evaluación.

A partir de los resultados, los aspectos de diferenciación que impactan sobre la contribución social son: la *Contribución al paisaje, Desarrollo e Innovación, Desarrollo Socioeconómico Macro, Salud y Desarrollo Socioeconómico Local*.

La validez de estos resultados está limitada al contexto geográfico Chileno y la percepción de los actores representados y tomadores de decisión en el periodo de levantamiento de la información. Futuros estudios pueden abarcar la percepción dinámica tras el levantamiento de información longitudinal.

Este estudio aporta bases metodológicas para evaluar la contribución social generada por nuevos productos innovados. Además evidencia el potencial del uso de mezclas semicalientes y la incorporación de áridos reciclados en los manuales de diseño y construcción de los pavimentos nacionales.

5. Referencias

- Arroyo, P., Herrera, R., Salazar, L., Giménez, Z., Martínez, 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, 301–314
- Carvalho, E., Powell, A. & Serebrisky, T. (2020) *De estructuras a servicios: El camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo - BID. doi: 10.18235/0002506
- Chen, S.H. & Pollino, C.A. (2012). *Good practice in Bayesian network modelling*. Environ. Model. Softw. 37(1), 134-145, doi: 10.1016/j.envsoft.2012.03.012.
- Colantonio, A. (2011). *Social Sustainability: Exploring the Linkages Between Research, Policy and Practice*. European Research on Sustainable Development, 1: 35-57, doi: 10.1007/978-3-642-19202-9_5.
- Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas Chile (2020). *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>
- 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 (Switzerland), 12(22), 1–17. doi: 10.3390/su12229546
- García-Segura, T. & Yepes, V. (2016). *Multiobjective optimization of post-tensioned concrete box-girder road bridges considering cost, CO2 emissions, and safety*. Eng. Struct. 125, 325-336. doi: 10.1016/j.engstruct.2016.07.012.
- 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
- Hossain, M. U., Poon, C. S., Dong, Y. H., Lo, I. M. C., & Cheng, J. C. P. (2018). *Development of social sustainability assessment method and a comparative case study on assessing recycled construction materials*. International Journal of Life Cycle Assessment, 23(8), 1654–1674. doi: 10.1007/s11367-017-1373-0
- Labuschagne, C., Brent, A.C. & van Erck, R.P.G. (2005). *Assessing the sustainability performance of industries*. Journal of Cleaner Production. 13(4): 373–385, doi: 10.1016/j.jclepro.2003.10.007.
- Lemmer, J. F. & Gossink, D. E. (2004). *Recursive Noisy OR- A ruler for estimating complex probabilistic interactions*. IEEE T. Syst. Man Cyb. 34(6), 2252-2261, doi: 10.1109/TSMCB.2004.834424.
- Naciones Unidas (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York. Disponible en <https://sdgs.un.org/es/node/24494>
- Paganin, G., Dell'Ovo, M., Oppio, A. & Torrieri, F. (2020). *An integrated decision support system for the sustainable evaluation of pavement technologies*. En Mondini, G. et al. (Eds). *Values and Functions for Future Cities, Green energy and Technologies*. (pp. 117-141). Springer Nature. Switzerland, doi: 10.1007/978-3-030-23786-8_7.
- Pérez Moreno Álvarez, J. (2018). *Estudio Comparativo de Sostenibilidad En Carreteras Mexicanas*. Tesis de Maestría publicada. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. España. Disponible a marzo 2021 en <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/118139>
- Ordoñez, M.M. & Meneses, L. C. (2015). *Sustainability criteria and indicator in the road construction subsector*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 25, 2: 81-98, doi: 10.18359/rcin.1433
- 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
- Shen L-Y., Tam V.W.Y., Tam L. & Ji Y-b. (2010). *Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice*. Journal of Cleaner Production 18: 254–259.
- Sanchez-Alonso, E., Valdes-Vidal, G., & Calabi-Floody, A. (2020). *Experimental study to design warm mix asphalts and recycled warm mix asphalts using natural zeolite as additive or sustainable pavements*. Sustainability (Switzerland), 12(3). doi: 10.3390/su12030980
- 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
- Sierra, L.A., Pellicer, E., & Yepes, V. (2016). *Social Sustainability in the Lifecycle of Chilean Public Infrastructure*. Journal of Construction Engineering and Management, 142(5), 05015020–05015021. 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*. Environmental Impact Assessment Review, 65. doi: 10.1016/j.eiar.2017.02.004
- Sierra, Leonardo A., Yepes, V., García-Segura, T., & Pellicer, E. (2018). *Bayesian network method for decision-making about the social sustainability of infrastructure projects*. Journal of Cleaner Production, 176, 521–534. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.140
- Valdés-Vidal, G., Calabi-Floody, A., Sanchez-Alonso, E., Díaz, C., & Fonseca, C. (2020). *Highway trial sections: Performance evaluation of warm mix asphalt and recycled warm mix asphalt*. Construction and Building Materials, 262. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120069
- Vanclay, F. (2002). *Conceptualising social impacts*. Environmental Impact Assessment Review, 22(3): 183–211, doi: 10.1016/S0195-9255(01)00105-6.
- Yepes, V., Garcia-Segura, T. & Moreno-Jimenez, J.M., (2015). *A cognitive approach for the multi-objective optimization of RC structural problems*. Arch. Civil Mech. Eng. 15, 1024-1036. doi: 10.1016/j.acme.2015.05.001

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

