



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTAS DE MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLES EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS VIALES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

BENJAMÍN ANTONIO TORRES PIZARRO

PROFESOR GUÍA:  
JORGE PULGAR ALLENDES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
EDGARDO GONZÁLEZ LIZAMA  
WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE  
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Ingeniero Civil  
ESTUDIANTE: Benjamín Antonio Torres Pizarro  
FECHA: 2024  
PROFESOR GUÍA: Jorge Pulgar Allendes

## **PROPUESTAS DE MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLES EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS VIALES**

La industria de la construcción actualmente representa una parte significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), en donde la construcción y operación de infraestructuras tales como edificaciones, represas, puertos hospitales y vialidades superan el 30% de las emisiones totales de carbono a nivel mundial, además de que consumen alrededor del 40% de los recursos naturales extraídos. Ante este antecedente es de gran importancia tomar conciencia sobre los impactos que pueden generar el desarrollo de las obras. Lo que busca el desarrollo de este trabajo es evidenciar los diferentes componentes que se involucran en el desarrollo de un proyecto vial, específicamente durante su etapa constructiva, considerando los materiales que lo componen, la clasificación de la vialidad, los procesos que conforman dichas etapas y las alternativas que se tienen actualmente a disposición para ejecutar este tipo de proyectos de una forma más sostenible con el medio ambiente y las comunidades.

El presente documento correspondiente a propuestas de metodologías, medidas y planes de acción a tomar durante la ejecución de obras viales se divide en diferentes capítulos, indicando inicialmente una serie de entrevistas realizadas a profesionales involucrados en la construcción y diseño de proyectos viales, cuyas respuestas fueron analizadas y consideradas como un punto inicial para el desarrollo de los capítulos posteriores, los cuales contemplan antecedentes de la red vial nacional, la legislación vigente asociada a la construcción y normativa ambiental, los impactos que este tipo de obras generan a nivel social, económico y ambiental, además de proyectos y metodologías sustentables que se han implementado tanto a nivel nacional como internacional, desde una serie de variables tales como materiales, tecnologías implementadas hasta planes de manejo de residuos en obra e iniciativas de revalorización de recursos, para finalmente concluir con una serie de planes de acción y medidas que tienen potencial impacto en desarrollar proyectos viales con un enfoque que genere menor impacto ambiental en todos sus elementos que lo componen.

*A mi amada familia, amigos,  
colegas y cada persona que me  
ha acompañado hasta este  
momento presente.*

# Tabla de Contenido

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	2
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	2
1.1. RESULTADO ESPERADOS .....	2
1.2. METODOLOGÍA.....	3
<b>CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>4</b>
2.1 DEFINICIONES CONCEPTUALES Y TÉCNICAS .....	4
2.1.1 <i>Sustentabilidad, medio ambiente y conceptos asociados</i> .....	4
a) Sustentabilidad.....	4
b) Desarrollo Sostenible .....	5
c) Economía Lineal.....	6
d) Economía Circular.....	7
e) Medio Ambiente.....	7
f) Recursos Naturales .....	7
g) Estudio de Impacto Ambiental .....	8
h) Evaluación de Impacto Ambiental .....	8
i) Medidas de Mitigación .....	8
2.2 PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	8
2.2.1 <i>Proyecto vial</i> .....	8
2.2.2 <i>Proyecto vial sustentable</i> .....	9
2.2.3 <i>Ciclo de vida de un proyecto vial</i> .....	9
2.2.4 <i>Línea de base</i> .....	10
2.2.5 <i>Área de influencia del proyecto</i> .....	11
2.2.6 <i>Sitios de disposición final de desechos</i> .....	11
2.2.7 <i>Residuos de Construcción y Demolición (RCD)</i> .....	11
2.2.8 <i>Gestión de RCD</i> .....	12
2.2.9 <i>Árido reciclado producto de RCD</i> .....	12
2.2.10 <i>Árido artificial</i> .....	12
<b>CAPÍTULO 3: OTROS ANTECEDENTES .....</b>	<b>13</b>
3.1 RED VIAL NACIONAL .....	13
3.1.1 <i>Clasificación legal de la vialidad</i> .....	17
3.1.2 <i>Clasificación administrativa de la vialidad</i> .....	17
3.2 IMPACTOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS .....	21
3.2.1 <i>Impactos Medioambientales</i> .....	21
3.2.2 <i>Impactos Económicos</i> .....	23
3.2.3 <i>Impactos Sociales</i> .....	24
3.2.4 <i>Impactos ambientales positivos y negativos en proyectos viales interurbanos</i> .....	25
3.3 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE BOTADEROS, VERTEDEROS Y PLANTAS PROCESADORAS DE RCD.....	29
3.3.1 <i>Distribución geográfica zonas de disposición de residuos sólidos</i> .....	29
3.3.2 <i>Situación nacional Residuos de Construcción y Demolición (RCD):</i> .....	31
3.3.3 <i>Valorización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Organizaciones y empresas nacionales</i> ..	39
3.4 MARCO NORMATIVO Y REGULACIONES .....	43
3.4.1 <i>Normativa legal y regulaciones vigentes a nivel nacional:</i> .....	43
3.4.2 <i>Normativa legal y regulaciones vigentes a nivel internacional</i> .....	48
<b>CAPÍTULO 4: ENTREVISTAS .....</b>	<b>49</b>
4.1 PREGUNTAS REALIZADAS.....	49
4.2 ANÁLISIS DE ENTREVISTAS Y COMPARACIÓN DE RESPUESTAS .....	50

<b>CAPÍTULO 5: PROYECTOS, METODOLOGÍAS Y TECNOLOGÍAS VIALES SUSTENTABLES – CASOS DE APLICACIÓN .....</b>	<b>55</b>
5.1 AVANCES, PROYECTOS Y CASOS DE APLICACIÓN.....	55
5.1.1 <i>Reutilización de material de pavimento asfáltico recuperado (RAP)</i> .....	55
5.1.2 <i>Método Rubblizing o Fracturación por Resonancia</i> .....	61
5.1.2.1 Aplicación Rubblizing en vialidad chilena .....	63
5.1.2.2 Aplicación Rubblizing en el extranjero .....	63
5.1.3 <i>Asfalto Espumado o Mezclas Templadas</i> .....	63
5.1.3.1 Aplicación mezclas templadas en vialidad chilena .....	66
5.1.3.2 Aplicación mezclas templadas en el extranjero .....	66
5.1.4 <i>Pavimentos articulados de bloques asfálticos con RAP</i> .....	67
5.2 AVANCES, PROYECTOS Y CASOS DE APLICACIÓN INTERNACIONAL .....	69
5.2.1 <i>Mezclas Asfálticas elaboradas con plásticos reciclados</i> .....	69
5.2.2 <i>Gestión de RCD en Etapa Constructiva de nuevo acceso al Hospital de Cruces desde Carretera BI-10, dirección Bilbao</i> .....	72
<b>CAPÍTULO 6: PROPUESTAS Y PLANES DE ACCIÓN .....</b>	<b>78</b>
6.1 PASOS DE FAUNA Y CORREDORES ECOLÓGICOS .....	78
6.1.1 <i>Estudio de puntos calientes y zonas de impacto</i> .....	78
6.2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN EJECUCIÓN DE TERRAPLENES .....	83
6.3 EXTRACCIÓN ADECUADA DE ÁRIDOS EN CURSOS DE AGUA Y CAUCES NATURALES .....	84
6.4 PROPUESTAS ADICIONALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS VIALES .....	85
<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>
ANEXO A. TRANSCRIPCIÓN DE ENTREVISTAS REALIZADAS .....	97
ANEXO B. MARCO JURÍDICO APLICABLE Y NORMAS AMBIENTALES .....	113
B.1 <i>Anexo Normativa Legal y Regulaciones vigentes a nivel nacional</i> .....	113
B.2 <i>Anexo Normativa Legal y Regulaciones vigentes a nivel internacional</i> .....	121
ANEXO C. ESQUEMA DE OBRAS MAL Y BIEN REALIZADAS EN EXTRACCIONES DE ÁRIDOS EN CURSOS DE AGUA ..	122
ANEXO D. INFRAESTRUCTURA VIAL: CLASIFICACIÓN FUNCIONAL Y CAPAS .....	126
D.1 <i>Preparación del Área de Trabajo:</i> .....	126
D.2 <i>Movimiento de Tierras</i> .....	128
D.3 <i>Capas granulares</i> .....	129
D.4 <i>Revestimientos y Pavimentos</i> .....	130
D.5 <i>Clasificación funcional de la vialidad</i> .....	130
D.5.1 <i>Carreteras</i> .....	131
D.5.2 <i>Caminos</i> .....	131
D.6 <i>Especificaciones para materiales componentes de subbases, bases y capas de rodadura</i> .....	132
D.7 <i>Tipo de soluciones capa de rodadura</i> .....	134

# Índice de Tablas

Tabla 3.5: Medio ambiente y sus componentes y elementos ambientales. ....	26
Tabla 3.6: Impactos medioambientales positivos en proyectos viales interurbanos. ....	27
Tabla 3.7: Impactos medioambientales negativos en proyectos viales interurbanos. ....	28
Tabla 3.8: Regiones con mayor porcentaje de sitios de disposición ilegal a nivel Nacional. ....	30
Tabla 3.9: Comunas con mayor porcentaje de sitios de disposición ilegal a nivel Nacional. ....	31
Tabla 3.10: Clasificación de RCD en base a su peligrosidad. ....	32
Tabla 3.11: RCD considerados en obra según clasificación de peligrosidad. ....	33
Tabla 3.12: Generación de RCD por región a nivel Nacional. ....	35
Tabla 3.13: Generación de RCD por región a nivel Nacional (parte 2). ....	36
Tabla 3.14: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 1).....	39
Tabla 3.15: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 2).....	40
Tabla 3.16: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 3).....	41
Tabla 3.17: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 4).....	42
Tabla 3.18: Planes de Manejo Específicos y Secciones del Volumen N°5 del MDC. ....	46
Tabla 3.19: Planes de Manejo Especiales y Secciones del Volumen N°5 del MDC. ....	47
Tabla D.1: Límites de consistencia o de Atterberg. ....	132
Tabla D.2: Bandas granulométricas para subbase, bases y capas de rodadura. ....	133

# Índice de Ilustraciones

Figura 2.1: Interrelación de los pilares fundamentales del desarrollo sostenible. ....	6
Figura 2.2: Esquema de procesos para mantener el valor de productos, materiales y recursos en la economía.....	7
Figura 2.3: Fases del ciclo de vida de un proyecto vial.....	10
Figura 3.1: Evolución de la red vial nacional según categoría de pavimentación.....	14
Figura 3.2: Red vial nacional según categoría de pavimentación y región. ....	15
Figura 3.3: Vista de la red vial nacional, sector Talca Oriente. ....	19
Figura 3.4: Evolución de vertedero ilegal, comuna de Pudahuel. ....	29
Figura 3.5: Porcentajes de residuos más comunes de encontrar en obras de construcción en Chile. ....	34
Figura 3.6: Porcentajes de residuos más comunes de encontrar en obras de construcción en Chile. ....	38
Figura 5.1: Extractos de “Plano general situación inicial” y “Zonificación Tratamientos de Conservación” Aeródromo Eulogio Sánchez. ....	58
Figura 5.2: Proyectos sustentables desarrollados por Empresa Quilín.....	59
Figura 5.3: Aplicación de Drop Hammer, como método para producir trituración /pulverización del pavimento. ....	62
Figura 5.4: Aplicación de Drop Hammer, como método para producir trituración /pulverización del pavimento. ....	63
Figura 5.5: Cámara de expansión producción de Asfalto Espumado.....	64
Figura 5.6: Tipos de mezclas asfálticas en base a su temperatura de fabricación.....	66
Figura 5.7: Formato de plásticos reciclados adicionados a mezcla asfáltica.....	70
Figura 5.8: Disposición final de mezclas con plástico reciclado en tramo experimental.....	71
Figura 5.9: Situación inicial de acceso a Hospital de Cruces y nuevo acceso previsto en el proyecto. ....	72
Figura 5.10: Residuos que se generarán en la obra del nuevo acceso al Hospital de Cruces.....	74
Figura 5.11: Código de colores y señalización para los contenedores ubicados en los puntos limpios de la obra. ....	75
Figura 5.12: Características de los contenedores a utilizar para cada tipo de residuo. ....	76
Figura 5.13: Estimación de coste final en la gestión de RCD del proyecto. ....	77
Figura 6.1: Escala de prioridades ante construcción .....	79
Figura 6.2: Tramos experimentales de carretera estudiada y localización de impactos, puntos calientes de colisiones de rapaces con el tráfico rodado en provincia de Choapa.....	81
Figura 6.3: Cartilla de referencia para toma de decisiones de estructuras terrestres para especies terrestres y aves. ....	82
Figura 6.4: Impactos y medidas asociadas a la actividad. ....	83
Figura B.1: Marco jurídico aplicable a protección ambiental del aire. ....	115
Figura B.2: Marco jurídico aplicable a protección ambiental del agua, ruido y suelo. ....	116
Figura B.3: Marco jurídico aplicable a protección ambiental del suelo, patrimonio cultural, flora y fauna. ....	117
Figura B.4: Marco jurídico aplicable a protección ambiental de flora y fauna. ....	118
Figura B.5: Marco jurídico aplicable a protección ambiental de flora y fauna, sustancias peligrosas, explosivos y combustibles.....	119
Figura B.6: Marco jurídico aplicable a protección ambiental de sustancias peligrosas, explosivos y combustibles, transporte y otras. ....	120

# Capítulo 1: Introducción

## 1.1. Motivación

Uno de los desafíos más complejos a los cuales se enfrenta actualmente la sociedad es la lucha en contra del cambio climático, la cual, dentro de sus factores principales que lo potencian se encuentra el modelo lineal y extractivista que ejecutan las sociedades modernas y las consecuentes emisiones de efecto invernadero causadas por este modelo. Bajo este contexto, la construcción sostenible se ha convertido en una prioridad en la industria de la Ingeniería Civil, dado el giro que se busca en el rubro de avanzar hacia una economía circular. Por ello, es fundamental explorar alternativas en los métodos constructivos, materiales, tecnologías y prácticas utilizadas en la ejecución de obras de construcción.

Este trabajo de título busca recopilar y analizar soluciones y metodologías aplicadas en obras de carreteras, identificando métodos, procedimientos y materiales de construcción sustentables que han sido utilizados en la construcción de obras viales, evaluando el contexto internacional y la viabilidad de aplicar dichas metodologías en proyectos de infraestructura vial en Chile. De esta manera, este trabajo se enmarca en las directrices propuestas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), específicamente con el ODS número 9: "Industria, Innovación e Infraestructura", el cual busca promover la construcción de infraestructuras sostenibles, resilientes y de calidad, fomentando la innovación en los procesos de construcción y mejorando la eficiencia energética de éstos.



## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo de título es proponer métodos de construcción sustentables en las obras viales.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los métodos y procesos constructivos actualmente implementados en la construcción de obras viales.
- Identificar los materiales de construcción implementados en las obras viales.
- Analizar el marco normativo chileno respecto a las indicaciones de las externalidades ambientales de una obra constructiva y los criterios establecidos en el Manual de Carreteras para la gestión ambiental en la construcción de obras viales.
- Identificar los materiales sustentables y reciclados disponibles en Chile que pueden ser utilizados en la construcción de obras viales.
- Considerar y analizar la literatura científica y técnica disponible respecto a los métodos de construcción sostenibles e innovadoras utilizadas.
- Identificar casos de éxito y fracaso de aquellos procedimientos y técnicas aplicadas tanto en el exterior como en Chile.
- Desarrollar una lista de recomendaciones prácticas para la implementación de sistemas constructivos sostenibles en proyectos viales, considerando aspectos técnicos, económicos, materiales en relación con este tipo de construcciones, asimismo tomando en cuenta el posible impacto en las comunidades.

## 1.1. Resultado Esperados

Tras la realización de este trabajo de título, se espera generar un aporte a la industria de la construcción mediante la generación de un documento que le brinde información tanto a profesionales como estudiantes sobre alternativas sustentables que actualmente se están aplicando en las construcciones de obras viales. Así mismo, se busca ofrecer recomendaciones prácticas, soluciones concretas y viables que puedan ser utilizadas por profesionales del sector para promover una transformación positiva en la industria hacia una economía circular, fomentando prácticas que contribuyan a la reducción del impacto ambiental producto de las actividades constructivas desarrollada por los métodos tradicionales.

## 1.2. Metodología

Para dar cumplimiento con los objetivos, tanto específicos como generales expuestos en los capítulos anteriores, se propone la siguiente secuencia lógica a seguir:

1. Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre literatura existente que abarque métodos constructivos sustentables aplicados, y el impacto generado por la aplicación de dichas metodologías en el territorio donde se desarrollaron.
2. Recopilación de técnicas constructivas, tecnologías, procedimientos y materiales reciclados que son utilizados en la construcción de obras viales, las cuales permitan una correcta gestión de residuos, optimización de recursos y uso eficiente de la energía en Chile.
3. Revisar normativa ambiental vigente e indicaciones expuestas en los Manuales de Carreteras tanto chileno como extranjeros, con la finalidad de identificar limitaciones técnicas y regulatorias que afecten la implementación de estos métodos constructivos.
4. Realizar una serie de entrevistas a profesionales con experiencia en estos temas.
5. Análisis de casos de estudio en los que se hayan descrito las metodologías de construcción sustentables, los materiales empleados y los procesos constructivos aplicados, además de evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos seleccionado
6. Realizar un análisis comparativo entre los métodos de construcción tradicionales y las alternativas recopiladas durante este trabajo de investigación.
7. Evaluación de costos y beneficios tanto económicos como sociales asociados a la implementación de los métodos constructivos recopilados en este trabajo, analizando aspectos que influyen en la viabilidad y aceptación de las soluciones propuestas.
8. Concluir y sintetizar los hallazgos del estudio, para posteriormente formular recomendaciones mediante la elaboración de una guía de propuestas prácticas que pueden ser implementadas en la construcción de carreteras en Chile, considerando aspectos técnicos, económicos y su impacto potencial.

# Capítulo 2: Marco Conceptual

El capítulo a continuación expone el marco conceptual asociado al trabajo de título, abordando los conceptos y definiciones esenciales para contextualizar al lector sobre los temas que aborda el documento, los cuales se encuentran fundamentados en base a antecedentes, investigaciones previas, documentos técnicos y revisiones bibliográficas varias. Los tópicos por tratar se encuentran divididos en subcapítulos que permiten profundizar cada tema para una mejor comprensión del lector.

## 2.1 Definiciones Conceptuales y técnicas

Esta sección presenta definiciones y aclaraciones de conceptos vinculados principalmente a la sustentabilidad, medio ambiente y su relación con la construcción, específicamente con obras viales. Dicho análisis de términos claves proporciona la base conceptual para comprender los elementos técnicos y ambientales que se ven involucrados en la construcción de carreteras.

### 2.1.1 Sustentabilidad, medio ambiente y conceptos asociados

#### a) Sustentabilidad

La sustentabilidad, en su evolución histórica ha pasado por constantes transformaciones y variaciones, siendo abordado por primera vez en la obra de la bióloga Rachel Carson en el libro “Primavera Silenciosa”, la cual hace mención de un futuro en la Tierra silencioso y terrible producto de la contaminación ambiental generada por el ser humano, advirtiendo los impactos devastadores de los pesticidas en los ecosistemas y los daños que este tipo de productos generan en la fauna y flora, cuya consecuencia directa se asocia a una pérdida de diversidad biológica y la interrupción de los equilibrios naturales.

Si bien, el término “Sustentabilidad” no se utiliza de manera explícita en esta obra, las preocupaciones planteadas por la autora se alinean con los principios fundamentales de este concepto, particularmente en la necesidad de equilibrar el progreso humano con la salud y preservación a largo plazo del planeta (Editorial RSyS, 2022). Posteriormente, se desarrollaron variados encuentros gubernamentales que fueron consolidando el término y convirtiéndose en hitos históricos, tales como la Conferencia de las Naciones Unidas de 1972 en Estocolmo, en donde se definieron las bases de lo que más tarde se reconocería como sustentabilidad a partir del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); o la creación de un plan de acción mundial en la “Cumbre de la Tierra” de Río de Janeiro el año 1992, cuyo objetivo principal del evento fue “*producir una agenda amplia y un nuevo plan para la acción internacional en temas ambientales y de desarrollo que ayudarían a guiar la cooperación internacional y la política de desarrollo en el siglo XXI*” (Organización de las Naciones Unidas, 1992), lo cual concluyó con un audaz programa de desarrollo sostenible denominado “Agenda 21”, abarcando aspectos desde la educación hasta las nuevas formas de preservar los recursos naturales y formas de participación en una economía sostenible.

El concepto moderno aborda el desarrollo socio ecológico en las dimensiones económica, social y ambiental, considerándose como la “Habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo, protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas”, siendo la definición anterior la más general para abordar el concepto de una forma más amplia, si bien existen variadas definiciones con diversos enfoques, la mayoría coinciden en que la sustentabilidad es avanzar hacia una relación benéfica entre la economía, el ambiente y la sociedad, manteniendo a largo plazo un sistema de desarrollo con las siguientes características (Editorial RSyS, 2022):

- Buscar la manera de que la actividad económica mantenga o mejore el sistema ambiental.
- Hay que asegurar que la actividad económica mejore la calidad de vida de todos, no sólo de unos pocos selectos.
- Utilizar los recursos eficientemente.
- Promover el máximo de reciclaje y reutilización.
- Proponer la implantación de tecnologías limpias.
- Restaurar los ecosistemas dañados.
- Incentivar la autosuficiencia regional
- Reconocer la importancia de la naturaleza para el bienestar humano.

No obstante, el concepto recién introducido se encuentra estrechamente entrelazado con la noción de sostenibilidad y el desarrollo sostenible, los cuales se especifican en los siguientes ítems.

#### b) Desarrollo Sostenible

Al igual que el concepto anterior, el desarrollo sostenible se ha ido complementando con el pasar del tiempo, cuya definición aparentemente sencilla refleja un complejo equilibrio entre distintas perspectivas sobre la relación entre el medio ambiente, el desarrollo económico y el aspecto social. Mencionado por primera vez en el informe publicado por las Naciones Unidas “Nuestro Futuro Común” o también conocido como Informe Brundtland del año 1987, se define el desarrollo sostenible como “Aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones” (Dra. Brundtland, 1987). Este enfoque integral reconoce la necesidad de considerar no solo el crecimiento económico, sino también la equidad social y la preservación ambiental para asegurar un progreso que perdure a lo largo del tiempo, cuyos pilares se encuentran interrelacionados entre sí, detallados a continuación:

- **Sostenibilidad Ambiental:** Este pilar se concentra en preservar la biodiversidad y los recursos naturales mientras se impulsa el progreso económico y social. Implica un uso responsable de los recursos y la minimización del impacto ambiental. Incluye la búsqueda activa de prácticas empresariales que causen el menor impacto posible en el medio ambiente.

- **Sostenibilidad Económica:** Refiere a cuestiones vinculadas a la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Para ser sostenible, las empresas deben evitar prácticas insostenibles que conduzcan a crisis económicas y agotamiento de recursos. La sostenibilidad económica implica la administración eficiente y rentable de recursos a largo plazo, fomentando la reducción de materiales, energía y agua. Existiendo un proceso cíclico de beneficios entre la sostenibilidad y la economía.
- **Sostenibilidad Social:** Este pilar se orienta hacia el fortalecimiento del capital humano y el bienestar de los ciudadanos. Se trata de crear mecanismos que mejoren la calidad de vida, promoviendo leyes y políticas que aborden áreas como educación, seguridad y ocio. La sostenibilidad social busca una sociedad bien mantenida y saludable, fomentando relaciones laborales legítimas y saludables para favorecer el desarrollo personal y colectivo.

Al unir los tres pilares expuestos anteriormente se tiene como resultado las dimensiones de sostenibilidad, lo equitativo, lo soportable y lo viable, tal como se expone en la figura a continuación.



*Figura 2.1: Interrelación de los pilares fundamentales del desarrollo sostenible.*

*Fuente: (Castaño Martínez, 2013)*

### c) Economía Lineal

También conocido como “Take-Make-Waste” (extraer, producir y deshacer), corresponde a un sistema económico y productivo que implica la extracción de recursos para fabricar productos que eventualmente terminarán como residuos y serán desechados. En dicho sistema, los productos y materiales generados no son utilizados en todo su potencial dado que siempre se mueven en una dirección, desde la materia prima al residuo.

#### d) Economía Circular

Concepto económico intrínsecamente relacionado con la sostenibilidad, que se propone como objetivo principal mantener en la economía el valor de productos, materiales y recursos, como el agua y la energía, durante el mayor tiempo posible. Esto implica un enfoque diseñado para reducir al mínimo la generación de residuos y la extracción de nuevos recursos naturales. En lugar de seguir el modelo lineal tradicional de "tomar, fabricar, usar y desechar", la economía circular promueve la reutilización, la remanufactura, el reciclaje y la restauración de productos y materiales, contribuyendo así a la conservación de recursos finitos y a la mitigación del impacto ambiental. Dicho concepto se expone de forma gráfica en la figura a continuación.

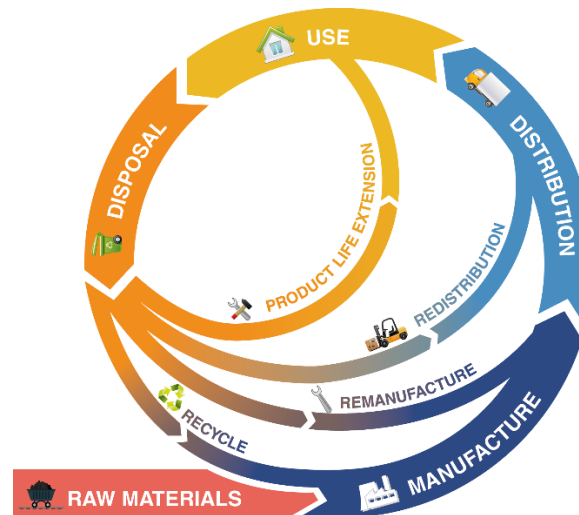


Figura 2.2: Esquema de procesos para mantener el valor de productos, materiales y recursos en la economía.

Fuente: Elaboración propia.

#### e) Medio Ambiente

El medio ambiente corresponde al sistema global conformado por elementos tanto naturales como artificiales, de naturaleza física, química o biológica, sociocultural y sus complejas interacciones. Dicho sistema se encuentra en constante modificación debido a la acción tanto humana como natural, cuyos cambios condicionan la existencia y el desarrollo de la vida en sus diversas manifestaciones, abarcando desde el entorno natural, como los ecosistemas y recursos naturales, hasta las dinámicas sociales y culturales de las comunidades afectadas.

#### f) Recursos Naturales

Los recursos naturales son los elementos del entorno ambiental que pueden ser aprovechados por las personas para satisfacer sus necesidades o intereses espirituales, culturales, sociales y/o económicos. Estos componentes de la naturaleza tienen valor y utilidad para las actividades humanas y pueden incluir elementos renovables y no renovables que desempeñan un papel esencial en el bienestar y el desarrollo de la sociedad.

### g) Estudio de Impacto Ambiental

En base a la legislación chilena, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) corresponde a un documento que describe en detalle las características de un proyecto o actividad que se pretende llevar a cabo, así como cualquier modificación que se proponga. Su objetivo principal es proporcionar una base sólida de información para prever, identificar y evaluar de manera precisa los posibles impactos ambientales que dicho proyecto pueda tener en su entorno. Además, el EIA incluye una descripción detallada de las acciones y medidas que se implementarán para prevenir o minimizar los efectos adversos significativos en el medio ambiente y la comunidad afectada, garantizando así una gestión ambientalmente responsable de la actividad propuesta.

### h) Evaluación de Impacto Ambiental

Es el proceso administrado por el Servicio de Evaluación Ambiental que se basa en un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental dispuesto de forma previa para alguna actividad o proyecto específico. Su objetivo principal es determinar si los efectos ambientales de una actividad o proyecto cumplen con las normas y regulaciones vigentes en Chile, además de informar al ente u organización que ingresó el EIA sobre las observaciones a considerar del proyecto en cuestión.

### i) Medidas de Mitigación

Son recomendaciones presentadas efectuadas por el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) con el propósito de disminuir, contrarrestar o eliminar los impactos ambientales significativos de un proyecto. Estas medidas se diseñan y aplican específicamente para minimizar los efectos negativos en el entorno natural y social, contribuyendo a una gestión más responsable y sostenible del proyecto propuesto.

## 2.2 Proyectos de infraestructura vial

### 2.2.1 Proyecto vial

Según indicaciones del Ministerio de Obras Públicas, en el Manual de Carreteras volumen N°1, tomo II se entiende como proyecto vial aquel que nace con el Objetivo de crear o mejorar la movilidad de las personas en alguna zona particular a través del uso de vehículos u otras opciones, el cual lo define como una “Intervención sobre la red vial que implique un conjunto indivisible de inversiones, tendiente a mejorar las características físicas y operacionales de ella” (Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras, Volumen 1 - Tomo II, Evaluación de proyectos interurbanos, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, 1994)

## 2.2.2 Proyecto vial sustentable

Similar a un proyecto vial convencional, un proyecto vial sustentable se distingue por su enfoque integral que va más allá de la simple movilidad vehicular. Estos proyectos se conciben considerando la planificación, el diseño, la construcción, la conservación y la operación con la premisa fundamental de maximizar los beneficios actuales y futuros, al tiempo que minimizan los impactos en el medio ambiente y sus recursos naturales. En el ámbito internacional, existen variadas instituciones y organizaciones asociadas al rubro de la vialidad, su desarrollo e investigación, siendo la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos y la Federación Europea de Carreteras algunas de las instituciones que definen el alcance de lo que es un proyecto vial sustentable. A continuación, se exponen las concepciones abordadas en el volumen N° 9 del Manual de Carreteras chileno “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”, el cual indica:

Según indica la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA), “Un enfoque sostenible mira acceso (no sólo la movilidad), el movimiento de personas y bienes (no sólo los vehículos), y el suministro de opciones de transporte, como rutas seguras y confortables para caminar, andar en bicicleta y el transporte. Sostenibilidad encapsula una diversidad de conceptos, así, como el uso eficiente de financiación e incentivos para la calidad de la construcción, la calidad del aire regional, las consideraciones del cambio climático, la habitabilidad, y sistemas de gestión ambiental” (Vol. N°9 Manual de Carreteras, 2022). (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

Por otro lado, la Federación Europea de Carreteras (ERF) define las carreteras sustentables como “aquellas que son eficaces y eficientemente planeadas, diseñadas, construidas, modernizadas y conservadas, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente y conservan el beneficio socio-económico esperado en términos de movilidad y seguridad” (Ministerio de Obras Públicas, 2022) .

## 2.2.3 Ciclo de vida de un proyecto vial

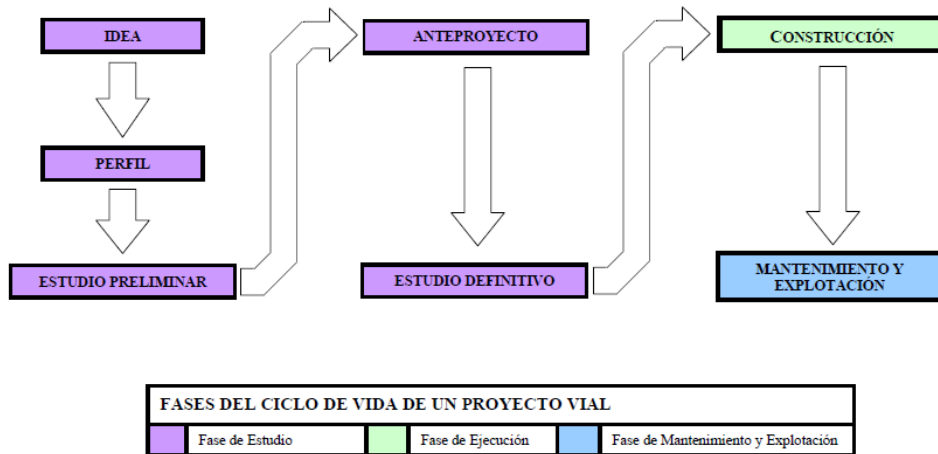
El ciclo de vida de un proyecto vial se refiere al conjunto de etapas y fases que un proyecto de construcción de carreteras atraviesa desde su concepción hasta su finalización y posterior mantenimiento. Por lo general, un proyecto vial se desglosa principalmente en 3 fases características: Fase de Estudio, Fase de Ejecución y Fase de Mantenimiento y Explotación, las cuales se definen en los siguientes ítems:

- 1) Fase de Estudio: Corresponde a la fase inicial en la que se planifica y diseña el proyecto vial, se analizan los aspectos técnicos y ambientales, y se obtienen las aprobaciones necesarias antes de la construcción. Dada la magnitud de los factores, parámetros y variables que se deben considerar para el estudio y diseño de propuesta de una obra vial, la fase de estudio se compone de una serie de etapas: Idea, Perfil, Estudio Preliminar, Anteproyecto y Estudio Definitivo; dichas etapas poseen una relación secuencial des de la primera hasta la última mencionada.



- 2) Fase de Ejecución: Durante esta fase, se lleva a cabo la construcción real de la obra vial, desarrollando todas las actividades constructivas necesarias en terreno para su realización, para ello se consideran los diseños, cálculos y especificaciones técnicas previamente establecidas en la fase anterior.
- 3) Fase de Mantenimiento y Explotación: Una vez concluida la construcción de la obra vial, comienza la fase de mantenimiento y explotación, la cual se extiende durante todo el período de operaciones implica la gestión continua de la carretera. Esto incluye el mantenimiento regular para conservar su estado óptimo, la operación de la vía para garantizar su funcionamiento eficiente y la posibilidad de realizar ampliaciones si la demanda lo requiere, adaptando así la infraestructura a las necesidades cambiantes del transporte.

La relación secuencial entre las fases mencionadas y sus correspondientes etapas se expone de forma gráfica en la siguiente figura:



*Figura 2.3: Fases del ciclo de vida de un proyecto vial.  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

#### 2.2.4 Línea de base

Corresponde a una descripción detallada del estado y condiciones del área de influencia de un proyecto de construcción antes de que comience su ejecución. En este contexto, la línea de base proporciona una imagen precisa de las condiciones existentes en el sitio de construcción y sus alrededores previo a la ejecución de las faenas, lo que incluye aspectos ambientales, sociales y estructurales.

## 2.2.5 Área de influencia del proyecto

Dicho concepto hace referencia al lugar físico donde se anticipa que ocurrirán cambios o alteraciones en el medio ambiente debido a la ejecución de un proyecto o actividad. Esta área representa la zona en la que se prevé que se manifestarán los impactos ambientales del proyecto debido a la ejecución de las obras proyectadas, y las actividades estimadas para su realización. Dichos impactos pueden variar en su magnitud, pudiendo ser éstos significativos o no significativos.

## 2.2.6 Sitios de disposición final de desechos

- **Botadero:** En el contexto de una obra vial, un botadero se refiere a un lugar físico previamente aprobado por la Inspección Fiscal, destinado específicamente para la disposición controlada de desechos inertes generados durante la construcción o el mantenimiento de carreteras y caminos. Estos desechos incluyen materiales como tierra excavada, escombros y restos de pavimento, y su disposición en el botadero está regulada para prevenir la contaminación ambiental y garantizar una gestión adecuada de los residuos de construcción.
- **Vertedero:** En el contexto de una obra vial, un vertedero corresponde a lugar físico aprobado y autorizado por las respectivas Autoridades Municipales para el depósito controlado de desechos domésticos o asimilables a éstos que son generados en áreas urbanas. La principal diferencia entre este lugar de disposición de desechos y un botadero es que este último usualmente suele estar diseñado y regulado con la finalidad de evitar la contaminación del suelo y el agua.

## 2.2.7 Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son materiales que se originan principalmente durante el desarrollo de proyectos nuevos, la rehabilitación, reparación y reacondicionamiento de estructuras y obras existentes, así como en los procesos de preparación de terrenos y demolición de estructuras. Estos residuos comprenden una amplia variedad de materiales y elementos de construcción, distinguiendo entre éstos la presencia de hormigón, madera, metales, vidrio, restos de mampostería, piedra, tierra, arena, yeso, pladur, alquitrán, plástico, aislante, papel y cartón, entre otros. En relación con los materiales mencionados, se tiene que los RCD pueden ser tanto inertes como no inertes, por lo que muchos de estos residuos pueden ser gestionados de manera adecuada y recuperados. Esta posibilidad abre oportunidades de negocio para aprovechar estos recursos, promoviendo una economía circular y reduciendo significativamente el impacto ambiental causado por la disposición inadecuada de estos residuos.

## 2.2.8 Gestión de RCD

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) se refiere al conjunto de prácticas y procedimientos planificados y coordinados para manejar de manera adecuada y responsable los residuos generados durante la construcción, demolición, renovación y reparación de edificios y estructuras. Esto incluye la recolección, transporte, clasificación, reciclaje, reutilización, tratamiento y disposición final de estos residuos. La gestión efectiva de los RCD busca reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos y fomentar la recuperación de materiales valiosos, catalogando así a los residuos como recursos que se mantienen dentro del ciclo productivo y promoviendo de esta manera la economía circular dentro del rubro construcción.

## 2.2.9 Árido reciclado producto de RCD

Corresponde al árido resultante del proceso de reciclaje y revalorización de materiales inorgánicos, obtenidos a partir de la trituración y procesamiento de escombros y residuos generados en proyectos de construcción y demolición (RCD).

Este tipo de árido presenta varias aplicaciones, como material granular seleccionado en la construcción de carreteras, la creación de explanadas mejoradas, terraplenes y otras unidades de obra similares. También se emplean como material granular seleccionado en rellenos localizados debajo de superficies selladas y en proyectos de urbanización, ya sean áreas industriales o residenciales, siempre bajo superficie sellada; adicionalmente, los áridos reciclados son utilizados como ahorro en la ejecución de capas estructurales de firmes de carreteras.

## 2.2.10 Árido artificial

Los áridos artificiales son materiales pétreos manufacturados que se componen de subproductos o residuos de procesos industriales. Dichos materiales pueden ser el resultado de dos enfoques: primero, son producidos intencionalmente mediante medios industriales específicamente para servir como árido, como en el caso de los áridos derivados de cenizas volantes proveniente de quemadores centrales de termoeléctricas. Segundo, pueden ser subproductos de otros procesos industriales que, después de un tratamiento adecuado, se utilizan como áridos en aplicaciones de construcción, como la escoria proveniente de la producción de acero reciclado.

Este tipo de árido poseen un alto potencial para ser utilizado en aplicaciones de construcción, como la fabricación de hormigón y asfalto. Su producción implica cumplir con estándares específicos de tamaño, forma y resistencia y, a menudo, incluye procesos de modificación térmica u otros tratamientos.

# Capítulo 3: Otros Antecedentes

## 3.1 Red Vial Nacional

La red vial chilena correspondiente a la infraestructura carretera existente desempeña un papel fundamental en el desarrollo y progreso del país, destacándose como un elemento crucial para la conectividad y el crecimiento económico, elevando la competitividad de la economía al satisfacer las condiciones básicas para el avance y desarrollo de actividades productivas. La extensa infraestructura vial de Chile, que abarca carreteras pavimentadas y no pavimentadas, autopistas y vías de acceso, se erige como el tejido que une geográficamente regiones distantes, facilitando la movilidad eficiente de bienes y personas, brindando así accesibilidad a productos, materias primas y mercados a los habitantes del territorio.

La robusta infraestructura vial de Chile potencia tanto la productividad interna como su posición estratégica en el cono sur del continente, impulsando no solo la economía nacional, sino que también consolida a Chile como un centro logístico estratégico. De esta manera, la red vial chilena ofrece a las naciones vecinas una atractiva alternativa para el traslado, exportación e importación de mercancías, catalogando a nuestro país como nodo crucial en el comercio regional.

La inversión continua en la mejora y expansión de la red vial no solo aumenta la eficiencia logística, sino que también contribuye a la seguridad vial y al desarrollo sostenible, estableciendo así las bases para un crecimiento económico equitativo y sostenible en el futuro, por lo que si un país desea mantenerse como un actor competitivo en términos de desarrollo y crecimiento, es indispensable realizar mantenimiento constante a las obras que ya se encuentran en operación, como también implementar metodologías y técnicas que permitan construir de forma más eficiente proyectos futuros. Como situación que permite contextualizar lo mencionado anteriormente, se tiene información estadística brindada por organismos como la Comisión de Transporte del Colegio de Ingenieros de Chile, la cual indica que “al 2019, el sector de transporte de carga por carretera (TCC) se posiciona como el principal actor a nivel nacional en la distribución de mercancías. Este sector representa un 4% del PIB del país y abarca aproximadamente el 90% de la carga terrestre transportada en el país” (Colegio de Ingenieros de Chile, 2019).

La red vial nacional de Chile es gestionada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), el cual corresponde a la institución encargada de planificar, construir y mantener la infraestructura vial del país, incluyendo carreteras y autopistas. Para ello, el MOP opera a través de diversas direcciones especializadas que desempeñan roles fundamentales en la ejecución y gestión de proyectos. Dos de las direcciones cruciales dentro de su estructura son la Dirección de Vialidad y la Dirección de Concesiones. La Dirección de Vialidad se concentra en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de la red vial, desempeñando un papel esencial en la ejecución efectiva de proyectos viales a nivel nacional. Por otro lado, la Dirección de Concesiones se encarga de gestionar proyectos de infraestructura, incluyendo concesiones viales, colaborando estrechamente con el

sector privado para desarrollar, financiar y operar proyectos que impulsan el desarrollo de infraestructuras de gran complejidad y magnitud.

Según datos obtenidos a partir de Observatorio Logístico hasta el año 2021, la red vial nacional posee una extensión total de 88.150 kilómetros, los cuales clasifican en 2 categorías principales, la red vial pavimentada y red vial no pavimentada, cuyas extensiones totales son de 21.590 kilómetros y 66.560 respectivamente (Observatorio Logístico, 2022). Dicha plataforma recopila información a partir del año 1990, permitiendo observar la evolución y desarrollo que ha presentado la red de carreteras a nivel nacional desde ese año hasta la actualidad, cuyo análisis evidencia un progresivo crecimiento y desarrollo de la red vial pavimentada, la cual a inicio de la década de los 90 con sus 10.759 kilómetros representaba tan solo un 14% de la red vial nacional. En relación con el crecimiento de la red vial pavimentada, se tiene una directa reducción de la extensión asociada a la red vial no pavimentada hasta el año 2014, abarcando para esa fecha una extensión de 58.245 kilómetros, la más baja de esta categoría desde que se tiene registro. Esta evolución se presenta de manera gráfica y detallada en la siguiente, la cual ilustra la expansión de la red de carreteras a lo largo de los años.

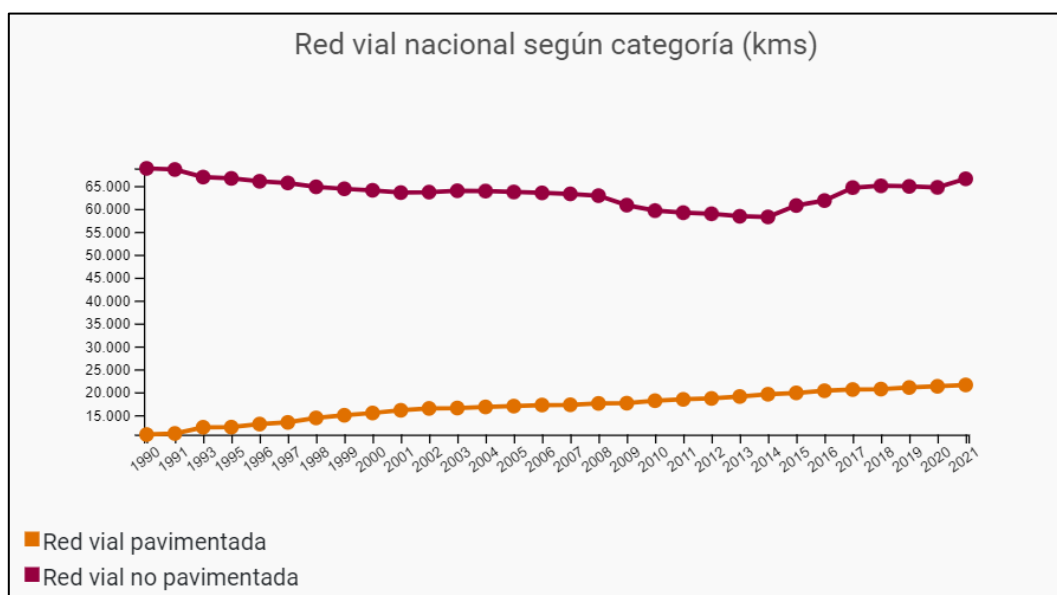


Figura 3.1: Evolución de la red vial nacional según categoría de pavimentación.

Fuente: (Observatorio Logístico, 2022).

La evolución descrita revela un marcado cambio en la composición de la red vial, destacando la progresiva transformación hacia una infraestructura más moderna y eficiente tanto en obras ya ejecutadas como en nuevos proyectos desarrollados en los últimos años. El desglose de la vialidad existente en base al tipo de pavimentación que posee y la distribución geográfica según región se expone en la figura 5 a continuación.

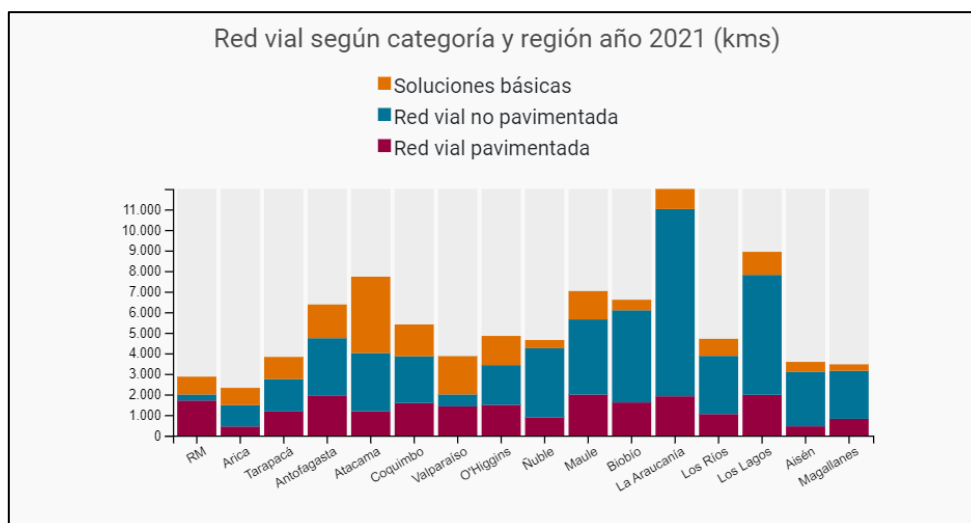


Figura 3.2: Red vial nacional según categoría de pavimentación y región.  
Fuente: (Observatorio Logístico, 2022).

De la figura 5, se presencia un desarrollo dispar de la vialidad a nivel nacional, debiendo esta condición a factores geográficos y demográficos principalmente, se tiene que la región con mayor extensión de caminos corresponde a La Araucanía, seguido por Los Lagos, ambas regiones ubicadas en la zona Sur del país y cuya vialidad posee una composición predominante de soluciones no pavimentadas tales como material de ripio (6.618 [km] Araucanía, 5.592 [km] Los Lagos) y tierra natural (2.486 [km] Araucanía, 238 [km] Los Lagos). (Dirección de Vialidad, 2022)

Por otro lado, la región con menor extensión de la red vial corresponde a la región de Arica y Parinacota, seguido por la Región Metropolitana (RM), en donde esta última presenta la mayor parte de su vialidad en categoría pavimentada a diferencia del resto del país. Esto último se evidencia en la relación porcentual entre la extensión de la red vial pavimentada en la RM con respecto al total de la vialidad existente, la cual es equivalente a un 59% para el caso de esta zona del país.

El detalle de la extensión que presentan las diferentes soluciones de capa de rodadura existentes en la Red Vial Nacional de país organizado por regiones administrativas se encuentra dispuesto en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Longitud de caminos red vial nacional, según región y capa de rodadura.  
Fuente: (Dirección de Vialidad, 2022).

Región	Red Vial Pavimentada				Soluciones Básicas		Red Vial No Pavimentada		Total
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Caminos Básicos Intermedios	Capa Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	
Tarapacá	1.170,627	0,792	0,007	0,000	636,231	439,676	238,950	1.335,845	3.822,128
Antofagasta	1.922,912	4,099	0,104	0,000	576,646	1.061,440	399,642	2.407,950	6.372,793
Atacama	1.132,628	2,985	0,009	46,000	1.215,004	2.497,780	985,400	1.844,193	7.723,999
Coquimbo	1.373,045	30,294	14,350	163,486	871,864	673,222	1.397,018	878,579	5.401,858
Valparaíso	1.205,151	159,108	47,419	5,581	1.862,905	0,000	328,447	252,811	3.861,422
Libertador General Bernardo O'Higgins	1.339,523	59,579	49,921	40,065	1.382,936	35,561	1.430,396	506,369	4.844,350
Maule	1.633,049	186,647	74,433	97,766	1.197,945	176,775	2.153,886	1.504,727	7.025,228
Biobío	1.437,647	119,770	35,318	16,762	476,299	33,966	3.466,637	1.017,182	6.603,581
Araucanía	1.622,295	87,808	99,097	100,386	672,302	305,380	6.618,400	2.486,432	11.992,100
Los Lagos	1.696,539	230,609	49,800	5,800	1.118,136	0,700	5.592,792	238,465	8.932,841
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	296,638	151,108	0,260	0,000	5,750	469,777	2.543,408	114,042	3.580,983
Magallanes y La Antártica Chilena	10,077	800,751	1,302	0,000	162,720	150,573	2.022,940	313,072	3.461,435
Metropolitana de Santiago	1.471,738	101,812	85,850	42,645	865,713	0,540	179,896	114,764	2.862,958
Los Ríos	851,499	59,207	103,968	29,854	821,873	4,929	2.510,500	320,633	4.702,463
Arica y Parinacota	439,117	0,226	0,000	0,000	749,501	87,881	226,878	813,912	2.317,515
Ñuble	838,963	29,480	6,532	7,420	379,034	17,462	2.594,532	771,403	4.644,826
<b>Total</b>	<b>18.441,448</b>	<b>2.024,275</b>	<b>568,370</b>	<b>555,765</b>	<b>12.994,859</b>	<b>5.955,662</b>	<b>32.689,722</b>	<b>14.920,379</b>	<b>88.150,480</b>

Notas: - Los Caminos Pavimentados son aquellos que se realizan mediante proyectos específicos y/o poseen diseño de ingeniería.  
- Información a Diciembre del año 2021.

A partir de los datos expuestos, se dispone a continuación la relación porcentual que presenta cada región entre la condición de su vialidad (pavimentada, solución básica, no pavimentada) con respecto a su extensión total, lo cual permite “radiografiar” la situación actual nacional respecto a las zonas con mayor inversión y calidad de sus carreteras asociada a la capa de rodadura que presentan.

Tabla 3.2: Porcentajes solución capa de Rodadura c/r a total red vial según región administrativa.

Fuente: Elaboración Propia a partir de (Dirección de Vialidad, 2022).

Región	Total Red vial regional	Red Vial Pav. /Total Red vial Reg.	Sol. Bás. /Total Red vial Reg.	Red Vial No Pav. /Total Red vial Reg.
Tarapacá	3.822,13	31%	28%	41%
Antofagasta	6.372,79	30%	26%	44%
Atacama	7.724,00	15%	48%	37%
Coquimbo	5.401,86	29%	29%	42%
Valparaíso	3.861,42	37%	48%	15%
O'Higgins	4.844,35	31%	29%	40%
Maule	7.025,23	28%	20%	52%
Biobío	6.603,58	24%	8%	68%
Araucanía	11.992,10	16%	8%	76%
Los Lagos	8.932,84	22%	13%	65%
Aysén	3.580,98	13%	13%	74%
Magallanes	3.461,44	23%	9%	67%
Metropolitana	2.862,96	59%	30%	10%
Los Ríos	4.702,46	22%	18%	60%
Arica y Parinacota	2.317,52	19%	36%	45%
Ñuble	4.644,83	19%	9%	72%

### 3.1.1 Clasificación legal de la vialidad

En aspectos legales, los caminos que componen la red vial nacional se clasifican en base al DFL N°850 del año 1998, cuyo documento modifica las indicaciones expuestas en la Ley 15.840 del año 1964; según la documentación vigente la vialidad nacional se clasifica en 2 grupos principales indicados en el artículo 25 del texto mencionado. Se tiene que los caminos públicos se agrupan en:

1. Caminos Nacionales: Corresponde a los caminos longitudinales que unen las capitales de provincia con el longitudinal, y los que sean clasificados como tales por el presidente de la República.
2. Caminos Regionales: Corresponde a esta clasificación el resto de los caminos públicos.

### 3.1.2 Clasificación administrativa de la vialidad

En aspectos administrativos, los caminos que componen la red vial nacional se clasifican en base a la función principal que cumplen dichas vías, distinguiéndose principalmente los “Caminos Nacionales” y los “Caminos Regionales principales, provinciales, comunales y de acceso”. Cuyo detalle se presenta en los ítems a continuación en base a las indicaciones declaradas en el Decreto 301 del Ministerio de Obras Públicas disponible en la Biblioteca del Congreso Nacional (Biblioteca del Congreso Nacional, Decreto 301: Aprobación de nuevo decreto que establece normas para la numeración y clasificación de caminos, 2011).

1. Caminos Nacionales: Corresponden a caminos cuya función principal es la integración del territorio a nivel nacional de forma longitudinal, se encuentra dentro de esta clasificación aquellos caminos que den continuidad al país unificando las regiones por una misma vía (ejemplo: Ruta 5, Ruta 7, Ruta 9), considerando adicionalmente aquellos caminos que unen los longitudinales antes mencionados con las capitales provinciales (ejemplo: Ruta 66, Ruta 68, Ruta 160) y aquellos caminos que sean declarados nacionales por el (la) Presidente (a) de la República. Dentro de la misma línea, aquellos caminos internacionales que presenten como función principal la integración del territorio a nivel internacional también cae dentro de esta categoría (ejemplo: Ruta 41-CH, Ruta 60-CH, Ruta 115-CH).

Para la numeración de estas rutas, se considera la ubicación geográfica por la cual transita, con algunas excepciones específicas, en el caso que la ruta transite por dos o más regiones, se enumera con el número correspondiente a la región donde comienza el trayecto y según el sentido de kilometraje de este, en el caso de las rutas internacionales, éstas deben incluir las letras “CH” luego del número correspondiente.



2. Caminos Regionales: En relación con la clasificación de caminos regionales, se tiene una subdivisión entre las vías que por sus características caben dentro de este grupo, diferenciándose entre Caminos Regionales Principales, Caminos Regionales Provinciales, Caminos Regionales Comunales y Caminos Regionales de Acceso, cuyo detalle se expone a continuación:
- Caminos Regionales Principales: La función principal de estos caminos es la conectividad dentro del territorio regional con la red de caminos nacionales, entre otros casos, dentro de los que destacan unir un camino longitudinal con una capital comunal, unir caminos nacionales con capital provincial o comunal, capitales provinciales entre sí, capital provincial con capital comunal, o unir tres o más capitales provinciales entre sí. Se tiene esta subdivisión como la de mayor jerarquía en base a la magnitud administrativa que poseen los lugares que se ven conectados por medio de estas rutas dentro del territorio.
  - Caminos Regionales Provinciales: La función principal de estos caminos es la conectividad dentro del territorio provincial con la red de caminos regionales principales mencionada anteriormente, dentro de esta categoría se incluyen los caminos que unen un camino regional principal con una capital comunal o dos capitales comunales entre sí.
  - Caminos Regionales Comunales: Corresponden a caminos cuya función principal es la conectividad dentro del territorio comunal y con la red de caminos regionales provinciales, uniendo de esta manera los caminos mencionados anteriormente con lugares específicos dentro del territorio.
  - Caminos Regionales de Acceso: Finalmente, este tipo de caminos presentan como función principal la accesibilidad a lugares específicos y no tengan otra conexión con el resto de la Red Vial, incluyéndose dentro de esta clasificación aquellas vías que no logren ser incluidas en las categorías mencionadas previamente.

La categorización de la Red Vial Nacional permite identificar y diferenciar de forma jerárquica las vías que se extienden a nivel nacional, lo cual es de gran ventaja tanto para las autoridades encargadas de administrar este tipo de infraestructura como a los potenciales usuarios que las utilizan, logrando una conectividad integral y eficiente en todo el territorio. Esta clasificación jerárquica facilita una red articulada que ofrece múltiples alternativas de tránsito, permitiendo a los usuarios seleccionar rutas acorde a sus necesidades y optimizando los flujos vehiculares. A continuación se expone de forma gráfica una porción del territorio nacional, en la cual se identifica las variadas clasificaciones de las vías que componen la red caminera de Chile.



Figura 3.3: Vista de la red vial nacional, sector Talca Oriente.

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2023)

Al analizar la vialidad existente del sector Talca Oriente mostrado en la figura anterior, se observa una distribución variada de las carreteras adyacentes a la ciudad en base a su categorización, siendo esta representación visual un ejemplo de la jerarquía existente de la red de carreteras en base a su clasificación administrativa, tal como se describió de forma previa. Desglosando dicha representación se identifican los siguientes roles de ruta en conjunto del tipo de carpeta de rodadura que presentan las rutas en esta zona del territorio:

Tabla 3.3: Categorización, rol y tipo de carpeta de vialidad existente en sector Talca Oriente.

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación Administrativa	Rol de la ruta	Tipo de carpeta
Camino Nacional Longitudinal	Ruta 5	Pavimento Doble Calzada
Camino Nacional	Ruta 118	Pavimento
	Ruta 120	Pavimento
Camino Nacional con Carácter de Internacional	Ruta 115 CH	Pavimento Doble Calzada
Camino Regional Principal	K-45	Pavimento
	K-55	Pavimento
	K-60-J	Pavimento
Camino Regional Provincial	K-620	Pavimento
	K-635	Pavimento

Tabla 3.4; Categorización, rol y tipo de carpeta de vialidad existente en sector Talca Oriente (continuación).

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación Administrativa	Rol de la ruta	Tipo de carpeta
Camino Regional Comunal	K-440	Pavimento - Pavimento Básico - Grava Tratada
	K-511	Pavimento Básico
	K-555	Pavimento Básico
	K-559	Ripio
	K-610	Pavimento
	K-611	Pavimento Básico
	K-625	Pavimento Básico
	K-639	Pavimento
	K-675	Pavimento
Camino Regional de Acceso	K-510	Ripio
	K-515	Pavimento
	K-517	Suelo Natural
	K-520	Grava Tratada
	K-565	Pavimento Básico
	K-575	Pavimento
	K-605	Ripio
	K-630	Pavimento
	K-636	Pavimento Básico
	K-640	Pavimento
	K-655	Pavimento Básico
K-677	Ripio	

Este tipo de representaciones visuales, que dispone la dirección de vialidad en su plataforma permite tanto a empresas inversoras, instituciones gubernamentales e incluso a la población local a informarse sobre la caracterización administrativa de la vialidad de su territorio, y la materialidad de su capa de rodado, además del dimensionamiento y capacidad vehicular en base a la cantidad de ejes que pueden presentar los caminos observados. De esta manera, se tiene una información base de carácter público cuyo uso puede potenciar el interés de inversión tanto en los territorios colindantes a la obra vial, como en la vialidad misma.

## 3.2 Impactos asociados a la construcción y explotación de carreteras

Dentro de las etapas que contempla el desarrollo de una obra vial, aquellas cuya ejecución conlleven un mayor grado de impacto hacia las comunidades, como el entorno donde se emplazará el proyecto y el ambiente adyacente son las etapas de construcción, explotación y/o mantención de la vialidad, siendo dichos impactos de diferente tipología en donde se destaca el impacto ambiental, impacto social e impacto económico principalmente. Esto se debe a que, en el caso de una obra nueva donde antes no existía camino, el territorio que se planea intervenir se verá afectado, modificando el entorno que una vez fue virgen o cuyo suelo presentaba otra utilidad de forma previa.

Ante lo anterior, es preciso elaborar y diseñar planes de mitigación apropiados que permitan producir una construcción de gran envergadura y alineado con el objetivo de mantener la calidad de vida de sus habitantes sin perjudicar a los mismos tanto en las etapas constructivas como así en su etapa de explotación.

En los siguientes subcapítulos se expondrán los principales impactos asociados a las etapas de construcción y mantención de una obra vial.

### 3.2.1 Impactos Medioambientales

Las infraestructuras lineales del tipo carretera se encuentran entre las 11 principales amenazas a la biodiversidad, cuyos efectos comienzan durante la etapa de construcción y no terminan una vez comenzada la operación de la vialidad (Piñones Cañete & Bravo Naranjo, 2020). Se tiene que tanto la planeación y construcción de carreteras, como también la operación e intervención de estas generan impactos ambientales directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos significativos de gran magnitud, los cuales se reflejan en los paisajes, los ecosistemas y la biodiversidad (Correa, Pasos de fauna en infraestructura lineal, cartilla de referencia para la toma de decisiones, 2020).

Dentro de los impactos medioambientales significativos se identifican los siguientes:

#### **1. Impactos asociados a los usuarios**

La infraestructura vial, durante su periodo de operación es utilizada por una variedad de medios de transporte tales como transporte colectivo, transporte particular, vehículos de carga con varios ejes, maquinaria especializada, entre otros cuyo uso y traslado someten a la estructura vial a solicitudes constantes y cargas variables. Así mismo el traslado de los vehículos motorizados producen una constante emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente, que a la larga data modifica la calidad de vida de las comunidades aledañas a la vialidad y a sus actividades productivas.

Ante lo anterior, cabe mencionar los siguientes efectos negativos:

- Emisión de gases de efecto invernadero dado el tránsito de vehículos motorizados en base a motores de combustión.
- Contaminación acústica producto del uso de la vialidad.
- Contaminación olfativa por impacto de los cambios de actividades desarrolladas por las comunidades cercanas y usuarios de la vialidad.

## **2. Impactos directos, asociados a la etapa constructiva de la vialidad**

Se sabe que un proyecto vial se encuentra conformado por distintas etapas, cuyo desarrollo permite elaborar una propuesta de valor que va desde la fase de estudio y anteproyecto hasta la puesta en operación de la infraestructura, tal como se ha mencionado en capítulos anteriores. Sin embargo, los impactos directos de mayor connotación se desarrollan durante la fase de construcción del proyecto, correspondientes a limpieza, nivelación y modificación del terreno, esto trae consigo una serie de implicancias que se evidencian en el corto plazo, tales como:

- Pérdida de capa vegetal virgen existente.
- Modificación de patrones naturales de drenaje de aguas, lo que trae consigo.
- Cambios en las elevaciones de aguas subterráneas.
- Erosión del suelo y degradación del paisaje intervenido.
- Exclusión del uso del terreno donde se emplaza el proyecto, como tierras agrícolas que pierden su carácter productivo.
- Contaminación acústica dada las faenas constructivas del proyecto, uso de maquinaria pesada, descarga de material, entre otras partidas.

## **3. Impactos indirectos, sinérgicos y acumulativos**

Se define como impacto ambiental aquella alteración que se atribuye al desarrollo de un proyecto vial y que se manifieste más allá de la esfera de los impactos directos ocasionados por el proyecto

Ante lo anterior, cabe mencionar los siguientes efectos:

- Producción de microclimas alternos a los preexistentes al emplazamiento de la carretera.
- Contaminación visual por introducción de nuevos elementos dentro del paisaje intervenido.
- Favorece indirectamente la dispersión de especies exóticas y la muerte de especies por atropellamiento.
- Contaminación energética dado el efecto “Isla de Calor” que produce la superficie de la vialidad, especialmente en épocas de verano y consecuente radiación de calor.
- Generación de “Efecto de Barrera” producto de la presencia constante de usuarios en la vía, produciendo que las especies eviten acercarse a la infraestructura.
- Potencial contaminación de cursos de agua colindantes a la vialidad, producto de derrames o acumulación de contaminantes tales como combustibles, hidrocarburos y microplásticos de caucho sintético.

## **4. Impactos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre**

Uno de los agentes principales del ecosistema local que se ve afectado principalmente por la construcción y operación de obras lineales tipo carreteras corresponde a la fauna silvestre, las cuales ven alterados sus patrones de conducta y hábitats tras la irrupción de este tipo de obras, teniéndose así que adaptarse a la nueva realidad y que comúnmente no se tiene consideración por parte de las entidades que elaboran este tipo de proyectos.

Ante lo anterior, cabe mencionar los siguientes efectos:

- Fragmentación de los ecosistemas y consecuente pérdida de hábitat.
- Favorecen la degradación y transformación de hábitat.
- Reducción de hábitats de poblaciones de flora y fauna silvestres y endémicas.
- Modificación producto de la contaminación acústica en el comportamiento y dinámica reproductiva de las especies, especialmente de aves, anfibios y especies que utilizan mecanismos de localización mediante sonido.
- Aumenta el riesgo de introducción de especies exóticas de fauna y flora silvestre por traslado involuntario, especialmente en actividades agrícolas y ganaderas.
- Dispersión de especies invasoras, tanto vegetales como animales, utilizando corredores viales como rutas de desplazamientos.
- Contaminación lumínica que produce alteración de ciclos circadianos de fauna silvestre producto de la contaminación lumínica, atracción de fauna insectívora a zonas de tránsito vehicular dada introducción de iluminación artificial.

Ejemplo de los efectos mencionados, se tiene evidencia de casos en Sudáfrica, Botswana y Zimbabwe de dispersión de una ave invasora (*Corvus alba*) a lo largo de las vías atraído por un aumento en la disponibilidad de alimento en la faja de seguridad (Correa, Pasos de fauna en infraestructura lineal, cartilla de referencia para la toma de decisiones, 2020).

### 3.2.2 Impactos Económicos

En aquellas zonas donde se presenta una mejor alternativa de conectividad, se han incrementado los ingresos económicos a quienes se instalan con negocios, comercios en industrias en sus cercanías, así como también ha favorecido al valor de los suelos adyacentes a la vialidad, incrementando el valor de los bienes inmuebles y terrenos agrícolas.

Relacionado a los efectos económicos de las carreteras, el señor Saúl Obregón en su estudio comparativo denominado *“Impactos sociales y económicos de las infraestructuras de transporte viario”* (Obregón Biosca, 2008) destaca variados estudios y puntos de vista que ha recopilado en este documento, destacándose la visión de variados autores, tales como Manuel Ferrer, quien indica la disminución de las distancias y tiempos de traslado dado a una mejora circunstancial de la infraestructura vial y el transporte tanto de pasajeros como de mercancías, aumentando el traslado de capital que se encuentra ligado a la competencia entre los sistemas urbanos a escala regional y nacional. Por otro lado, Carlos Kraemer menciona que las infraestructuras por si solas no inducen ningún desarrollo, relegando su papel exclusivamente al de disminución de costes de traslado de mercancías; existiendo excepciones que permiten potenciar la economía de sectores mal comunicados con presencia de materias primas o recursos turísticos, en cuyo caso la presencia de vialidad es necesaria para su despegue y desarrollo, mencionando que una determinada infraestructura permite la satisfacción de las necesidades que suponen las interrelaciones socio-económicas.

Otros autores e Instituciones como el *“European Investment Bank”* indican que las carreteras pueden actuar como catalizadores al fomento del desarrollo, dada la generación sostenida de zonas de crecimiento autónomas que incrementan el ingreso per cápita a las regiones más desfavorecidas (Obregón Biosca, 2008).

Adicionalmente, cabe mencionar los siguientes efectos:

- Revalorización del suelo en la zona de influencia colindante a la vialidad.
- Fomento a las actividades económicas en el entorno próximo y mayor productividad, siendo la vialidad un eje de desarrollo tanto urbano como rural.
- Reducción de costos de transporte de productos.
- Mayor acceso a mercado de cultivos y productos locales.
- Fomento a la industria turística de la zona.
- Generación de empleo durante la fase constructiva de la vialidad, y mayor dinamismo de la economía local durante la ejecución del proyecto.

### 3.2.3 Impactos Sociales

La construcción de carreteras ha favorecido a la comunicación de pueblos y ciudades, mejorando así la conectividad de los habitantes del territorio donde son desarrollados este tipo de obras, mejorando así el acceso a la salud, alimentación, entretenimiento, ocio, etc.

Adicionalmente, el hecho de invertir en mejorar los estándares de la vialidad y crear nuevas rutas, ha beneficiado al desarrollo del conocimiento al otorgar acceso a lugares poco explorados cuya forma de acceder a ellos se veía dificultada previo a la ejecución de obras carreteras o de conectividad.

En relación con la distribución territorial y el impacto que han tenido las carreteras sobre este tópico, se destacan tres corrientes con diferentes puntos de vista y enfoques, pero que se complementan entre sí. Se destaca el impacto a la accesibilidad de la corriente Estadounidense, los efectos estructurantes de la corriente Francesa y los efectos de la difusión urbana según la corriente Italiana (Obregón Biosca, 2008).

Según palabras de Saúl Obregón, en la corriente Estadounidense sobre la vialidad se hace especial énfasis en la accesibilidad que brindan estas obras a la población beneficiaria, permitiendo así una interrelación entre la distribución de la población, la residencia y la red viaria, que se produce mediante los accesos a los lugares de actividad. Lo anterior se vincula directamente a tres elementos principales que determinan dichas interrelaciones, siendo la topografía de la zona, la calidad de las viviendas y el vecindario, y el nivel de accesibilidad el que define el nivel de magnitud de la vialidad a ejecutar. Se observa que existe una creciente separación de oportunidades laborales y localizaciones en el proceso de sub-urbanización, perjudicando los estratos sociales más bajos, además de que la inversión en carreteras estimula la generación de viajes e induciendo a un aumento de tráfico dada las ventajas en velocidad que permiten las vialidades de mayor capacidad y modernidad.

Por otro lado, la corriente Francesa sobre la función de la vialidad en la sociedad describe el efecto de este tipo de obras como de carácter estructurante en el territorio, haciendo posible el desarrollo en las zonas donde se implementan este tipo de obras, pero sin una relación directa entre la ejecución de este tipo de obras y el desarrollo económico-tecnológico, siendo más bien una relación indirecta de carácter permisivo que permite generar cambios en los patrones de distribución de población y apoya las actividades productivas de la zona.

Por último, el autor hace referencia a la corriente Italiana de la “Ciudad difusa”, analizando los procesos de difusión urbana alrededor de este tipo de obras mediante la capilaridad, describiendo dicho proceso como la expansión espacial con características urbanas fuera del territorio propio de la ciudad compacta. El principal impulsor de esta corriente corresponde a Francesco Indovina, el cual menciona la relación del crecimiento urbano con las redes de infraestructura a 2 niveles mencionados a continuación:

- Primer nivel: Condicionado a Macroescala, siendo las grandes pautas de organización territorial en el crecimiento de la ciudad difusa.
- Segundo nivel: Condicionado a Microescala, en donde la base para el crecimiento y densificación de los asentamientos residenciales preexistentes se producen a lo largo de las redes viales locales.

Ante lo anterior, cabe mencionar los siguientes efectos adicionales:

- Aumento de accesibilidad que implica mayor extracción de recursos naturales y explotación de carácter agrícola.
- Congestión vehicular en épocas de alta transitividad tanto en la vialidad como también en comunidades urbanas y rutas aledañas.
- Fomento de la migración rural-urbana dada la generación de nuevas alternativas de conectividad a servicios y oportunidades.
- Desconcentración y difusión de la población en el territorio hacia zonas más periféricas de un núcleo urbano.
- Modificaciones en los traslados de los habitantes locales durante los periodos de construcción, cierre de calles de servicio, paradas de transporte público, desvíos de tránsito, entre otros.
- Potenciales focos de accidentes vehiculares entre peatones y usuarios de la vialidad en zonas de baja alerta y cruces peligrosos.
- Progresivos procesos de transculturización para las poblaciones originarias vulnerables, especialmente en zonas de poblados y aldeas indígenas.

### 3.2.4 Impactos ambientales positivos y negativos en proyectos viales interurbanos

Según indicaciones del **Volumen N°9 del Manual de Carreteras “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos viales”**, previo a la etapa constructiva de la vialidad, se debe elaborar un documento denominado “Caracterización del Medio Ambiente” o “Línea de Base” que permita establecer las características y el estado de la zona de influencia sin proyecto en el cual se encuentran los distintos componentes del Medio Ambiente. Dicha descripción debe darse por finalizada en la etapa de anteproyecto, e informar de forma detallada la descomposición de las componentes ambientales y elementos que se verán afectadas por la realización del proyecto.

Para efectos de la caracterización, se utiliza una división del medio ambiente en tres medios: Físico, Biótico y Socioeconómico o medio, los cuales se dividen en componentes ambientales y éstos en elementos ambientales, tal como se expone en la siguiente tabla:



*Tabla 3.1: Medio ambiente y sus componentes y elementos ambientales.  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

<b>MEDIO AMBIENTE</b>	<b>COMPONENTES AMBIENTALES</b>
MEDIO FISICO	AIRE, AGUA, TIERRA, RUIDO y VIBRACIONES
MEDIO BIOTICO	VEGETACION, FLORA, FAUNA TERRESTRE y ECOSISTEMA ACUATICO
MEDIO SOCIOECONOMICO	ASENTAMIENTOS HUMANOS, ARQUEOLOGIA y PATRIMONIO CULTURAL, PAISAJE y ESTETICA y ORGANIZACION TERRITORIAL

Una vez conocida la división en la cual se describe el ambiente de la zona de influencia, es posible identificar a detalle los impactos ambientales asociados a los proyectos viales. Continuando con el Volumen N°9 del Manual de Carreteras, se tienen los impactos tanto positivos como negativos generados por la ejecución y desarrollo de la vialidad, describiéndose que los impactos positivos son producidos en general sobre el medio socioeconómico, cuyas variables utilizadas para caracterizar el sistema de actividades afectadas son las siguientes:

- Población.
- Uso de suelo.
- Producción.
- Turismo.
- Equipamiento.

En base a lo anterior, se tiene la tabla 3.301.304(1). A, la cual expone los impactos positivos en proyectos viales interurbanos.

*Tabla 3.2: Impactos medioambientales positivos en proyectos viales interurbanos.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

<b>Impacto</b>	<b>Descripción del Impacto</b>
Ahorro de recursos en la operación de vehículos.	Este ahorro corresponde a la diferencia entre el costo total de operación de vehículos en la situación con proyecto y el costo total de operación de vehículos en la situación base.
Beneficio a los usuarios.	Este beneficio corresponde a la valorización monetaria de la reducción de tiempo de viaje entre la situación base y la situación con proyecto.
Soberanía e integración territorial.	Este beneficio se presenta en proyectos que otorgan acceso a áreas fronterizas y se refiere a factores geopolíticos que normalmente no son cuantificables o medibles. También, otorgan acceso a zonas relativamente aisladas del territorio nacional, permitiendo con esto su integración a centros urbanos.
Mejoramiento de accesos a equipamientos sociales	Este aspecto tiene relevancia para aquellos caminos que mejoran la accesibilidad a servicios básicos por parte de personas que habitan en localidades aisladas. Para el análisis de alternativas se deberán tener presentes los aspectos siguientes: Población, Equipamiento de Salud, Equipamiento Educacional, Modos de Transporte Alternativos, espacios de culto, iglesias, cementerios y áreas deportivas.
Aumento de los niveles de seguridad	Este beneficio está directamente asociado a las personas. El mejoramiento de caminos existentes o la construcción de caminos nuevos permite, en general, disminuir accidentes producto de la instalación de señalización o barreras de contención.
Contratación mano de obra.	La materialización de un proyecto vial tiene un impacto positivo en el aumento de la contratación de mano de obra, este impacto no es un objetivo perseguido explícitamente por la Dirección de Vialidad, es decir, la construcción de las obras no tiene como objetivo principal disminuir las tasas de desocupación. Sin embargo, esto resulta como consecuencia del proyecto y se produce sobre las personas que participan en las etapas de estudio del proyecto y construcción y operación de las obras.
Apoyo a Sectores Productivos.	Este beneficio se presenta en aquellos casos donde se construyen o mejoran caminos con el objetivo de apoyar el crecimiento económico del país, facilitando el desplazamiento de las personas y productos, principalmente en el territorio nacional y también hacia países limítrofes. Además, apoya el crecimiento de actividades tales como el turismo y el negocio inmobiliario.
Aumento de la plusvalía del Suelo.	Producto de la construcción de caminos se puede producir un impacto positivo, o también negativo, sobre el valor del suelo. Si bien este impacto, en ningún caso, corresponde a un objetivo buscado por la Dirección de Vialidad, es necesario señalarlo, ya que es una consecuencia de la construcción de caminos.
Descubrimiento del patrimonio histórico y cultural.	La construcción de caminos está estrechamente ligada a excavaciones del suelo. El resultado del desarrollo de esta actividad puede tener como consecuencia el descubrimiento o hallazgo de objetos que forman parte del patrimonio tanto histórico como cultural del país.
Acceso a miradores paisajísticos y patrimoniales	Eventualmente, la construcción de caminos pueden permitir acceder a nuevos escenarios, creándose la posibilidad de acceder a Miradores Paisajísticos y/o Patrimoniales.

Por otro lado, los impactos ambientales negativos de un proyecto vial pueden generarse sobre todos los componentes o elementos que conforman el Medio Ambiente, tanto sobre elementos naturales o artificiales y socioculturales. De la misma manera, dichos impactos ambientales no son excluyentes a una única fase del proyecto, sino que pueden verse generados en las fases de estudio, construcción, explotación y mantenimiento de la vialidad, e incluso luego del abandono de las obras. En base a lo anterior, se tiene la tabla 3.301.304(1).C, la cual expone los impactos negativos en proyectos viales interurbanos, identificando medios y componentes alterados.

Tabla 3.3: Impactos medioambientales negativos en proyectos viales interurbanos.

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

Nº	Impacto	Descripción del Impacto	Medio Alterado	Componente Alterada
F01	Disminución de la calidad del aire	La calidad del aire en la situación sin proyecto, en general es mejor que durante la construcción de las obras. Variadas actividades, tanto en la etapa de construcción como en la etapa de operación, pueden cambiar elementos constituyentes del aire.	Físico	Aire
F02	Disminución de la calidad del agua	La construcción de un proyecto vial puede disminuir la calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas. Pueden disminuir características tanto de escurrimiento como físicas y químicas.	Físico	Agua
F03	Pérdida de suelo	Los movimientos de tierra en corte provocan pérdida o transformación de suelo y la confección de terraplenes inhabilitan el área de suelo donde ellos se fundan.	Físico	Tierra
F04	Disminución de la calidad del suelo	Incorporación de elementos contaminantes en la superficie del suelo que pueden introducirse en estratos más profundos. Además, la compactación de suelo en las zonas que no forman parte de la calzada y sus terraplenes, como por ejemplo, el lugar donde se instalan las faenas, campamentos, talleres, plantas de materiales, etc. impermeabilizan el suelo.	Físico	Tierra
F05	Disminución de la calidad acústica	Cualquier cambio del nivel sonoro de base que produzca un aumento de éste deberá ser considerado como un impacto negativo.	Físico	Ruido
B01	Cambio de la estructura de la vegetación	Modificación o alteración de la distribución de las distintas formas de vida vegetal presente en la formación vegetacional, especialmente del número de individuos.	Biótico	Vegetación
B02	Cambio en la composición de la flora	Disminución del número de especies vegetales presentes en el ecosistema.	Biótico	Flora
B03	Alteración de hábitat	Cambio en los factores ecológicos que determinan la presencia de una especie.	Biótico	Flora y hábitats
B04	Alteración en ecosistemas acuáticos	Cambios en la calidad y cantidad de factores ecológicos de un cuerpo o curso de agua que puede incidir en la presencia de especies acuáticas.	Biótico	Ecosistemas acuáticos
B05	Cambio en la biodiversidad	Alteración del número de especies e individuos en un área determinada.	Biótico	Todos
H01	Alteración de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos	Cambios que puede producir un proyecto vial sobre las comunidades humanas presentes en el Area de Estudio. Estos pueden afectar la calidad de vida, las costumbres históricas y las relaciones entre grupos. Además, el proyecto puede disminuir la seguridad de la población dado el aumento de tráfico.	Socioeconómico	Asentamientos Humanos
H02	Cambio de indicadores demográficos	Corresponde a alteraciones sobre la estructura demográfica, que pueden deberse a desplazamientos de población tanto de inmigración como emigración.	Socioeconómico	Asentamientos Humanos
H03	Alteración del patrimonio cultural y arqueológico	El hallazgo de restos arqueológicos puede derivar en la destrucción de éstos, dada la falta de conocimiento con respecto a que se deberá hacer en esa situación.	Socioeconómico	Arqueología y patrimonio cultural
H04	Alteración del valor paisajístico o turístico de una zona	El paisaje puede ser modificado tanto para los usuarios del camino como para los vecinos de éste. Por lo tanto, se deberá identificar la alteración teniendo en cuenta ambos grupos de personas o ambos ángulos visuales.	Socioeconómico	Paisaje y estética
H05	Cambio de la organización territorial	Indica alteraciones que pueden darse tanto en el sector rural como en el sector urbano. En el primero se puede afectar la organización territorial del grupo humano (espacios religiosos, deportivos, recreacionales) y en el segundo el ordenamiento normado por instrumentos de planificación territorial, tales como el Plan de Regulador Intercomunal o el Plan Regulador Comunal.	Socioeconómico	Organización territorial

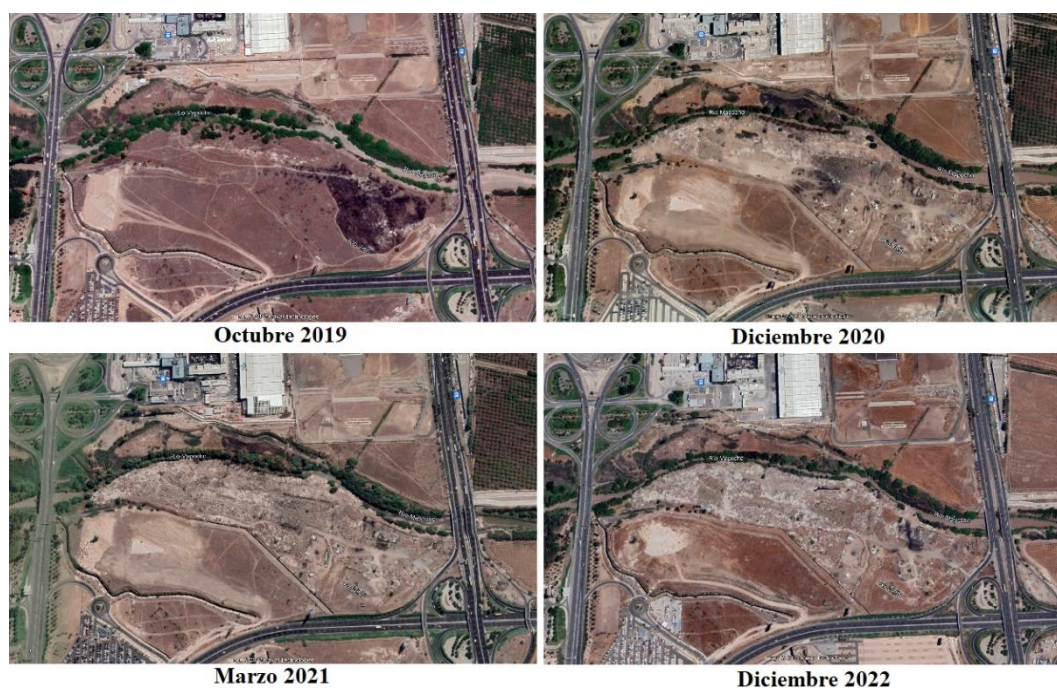


### 3.3 Distribución geográfica de botaderos, vertederos y plantas procesadoras de RCD

#### 3.3.1 Distribución geográfica zonas de disposición de residuos sólidos

Enmarcado en el contexto chileno respecto a la generación de residuos y la gestión de éstos para su disposición final, se tiene que Chile, al 2021 generó un total de 19,6 millones de toneladas de residuos sólidos anuales, siendo casi la totalidad de ellos de carácter no peligroso. De estos últimos, el 49% de los residuos es de origen industrial y el 46,1% domiciliarios (municipales). El destino de estos residuos se distribuye de dos formas: 20% se valoriza o recicla y el 80% se va a eliminación, siendo dispuestos en rellenos sanitarios y vertederos de forma legal, o ilegalmente en zonas de microbasurales no autorizados, ante la realidad mencionada anteriormente, se tiene que este tipo de locaciones no hacen más que crecer con el pasar de los años.

Ejemplo del crecimiento incontrolado de los sitios ilegales de disposición de residuos es el vertedero ubicado en las cercanías del Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez en la comuna de Pudahuel, específicamente en la ribera sur del Río Mapocho, entre las autopistas Vespucio Norte, Costanera Norte y Av. Armando Cortínez, zona de la ciudad de Santiago que desde el año 2021 ha recibido una cantidad indiscriminada de escombros de la construcción, tal como se observa en la serie de registros a continuación.



*Figura 3.4: Evolución de vertedero ilegal, comuna de Pudahuel.*

*Fuente: (Google Earth, 2019-2022)*

De la cantidad total de residuos producidos a nivel nacional, aproximadamente un 47,4% de los residuos municipales son generados exclusivamente en la Región Metropolitana, seguido por la región de Valparaíso y Biobío con un 11,7% y 6,5% respectivamente (Ministerio del Medio Ambiente, 2023). Ante lo anterior, se observa una concentración considerable de generación de residuos en la macrozona central, asociado principalmente a la presencia de grandes ciudades y asentamientos humanos en esta parte del territorio y su directa relación a las actividades

comerciales, industriales, nivel de desarrollo y tamaño de la población de esta zona

Respecto a los puntos de disposición final de residuos sólidos, éstos se encuentran contabilizados y dispuestos en la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, por medio del documento **“Disposición final de residuos sólidos: Rellenos Sanitarios, vertederos y basurales”**. Dicho documento informa que la disposición final a nivel nacional durante el año 2020 se realizó en 124 sitios establecidos y regulados, ubicados principalmente en las regiones de Aisén, Los Lagos, Araucanía y Antofagasta, concentrando en conjunto el 53.2% de los sitios activos. Por otro lado, los vertederos ilegales y microbasurales contabilizados al año 2021 ascendieron a 3.735, cuya superficie estimada asciende a una superficie de 1.444,8 hectáreas [ha], equivalente al 101% del área del municipio de Providencia; dichos puntos se distribuyen entre 1492 microbasurales (sitios menores a 1 hectárea [ha]) y 243 vertederos ilegales (sitios mayores a 1 hectárea [ha]), ubicándose 113 de ellos exclusivamente en la Región Metropolitana según catastros realizados por la Gobernación Regional (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023).

Respecto a los sitios de disposición final ilegal de residuos, éstos se reparten en las 16 regiones de Chile, cuya distribución a nivel regional presenta diferencias notorias en base a factores mencionados anteriormente tales como extensión, población, existencia de sitios de disposiciones legales de residuos, actividades productivas y comerciales, entre otros. Dicha distribución, año 2021 presenta poca homogeneidad, dado que 5 regiones (equivalente al 31,25% de las regiones) concentran el 72,74% del total nacional, siendo esta situación una de las reportadas en el **“Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos”** (Ossio & Faúndez, 2021), documento que expone las regiones que cuentan con mayor cantidad de sitios ilegales de disposición final y que se exponen a continuación.

*Tabla 3.4: Regiones con mayor porcentaje de sitios de disposición ilegal a nivel Nacional.*

*Fuente: (Ossio & Faúndez, 2021)*

Región	Total sitios de disposición final ilegal	Sitios disposición ilegal a nivel Nacional [%]	Estimación superficie total [ha]
Metropolitana	931	24,93%	208,72
Valparaíso	603	16,14%	45,84
Coquimbo	413	11,06%	8,96
Araucanía	396	10,60%	9,75
Biobío	374	10,01%	4,14

Dentro del informe mencionado anteriormente, también se expone un desglose a nivel comunal que permite identificar y disminuir el rango de incertidumbre respecto a las comunas que cuentan con mayor número de sitios de disposición final ilegal, permitiendo así concentrar los esfuerzos tanto de las autoridades gobernantes y administrativas, como también de las instituciones encargadas de fiscalizar, regularizar y controlar este tipo de prácticas ilegales. Los datos expuestos corresponden a lo informado por un 3,15% de los municipios participantes de dicho diagnóstico (10 comunas), las cuales en conjunto concentran un 31,06% de los sitios de disposición final ilegal a nivel nacional, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.5: Comunas con mayor porcentaje de sitios de disposición ilegal a nivel Nacional.  
Fuente: (Ossio & Faúndez, 2021)

Región	Comuna	Total sitios de disposición final ilegal	Sitios disposición ilegal a nivel Regional [%]
Coquimbo	Ovalle	201	48,67%
Araucanía	Temuco	187	47,22%
Valparaíso	Valparaíso	157	26,04%
Coquimbo	La Serena	130	31,48%
Metropolitana	Renca	117	12,57%
Valparaíso	Casablanca	98	16,25%
Biobío	Los Ángeles	76	20,32%
Metropolitana	La Pintana	69	7,41%
Valparaíso	Puchuncaví	63	10,45%
O'Higgins	Rancagua	62	23,75%

### 3.3.2 Situación nacional Residuos de Construcción y Demolición (RCD):

A nivel mundial, la industria de la construcción y producción de insumos de construcción son las actividades que presentan las más altas tasas de consumo de materiales a nivel mundial, siendo estos insumos principalmente extraídos de la naturaleza para la construcción de edificación e infraestructura, destacándose la extracción y explotación de áridos, cemento, hierro, aluminio, cobre, madera, asfalto, yeso, ladrillos y plásticos. Dichos recursos no siempre son utilizados de forma óptima por parte de las entidades ejecutantes del proyecto, lo cual se evidencia en la generación de volúmenes de materiales y recursos que no permanecen dentro del alcance de las obras, y cuya disposición final terminan siendo en vertederos o escombreras que distan a lo que inicialmente se contempló, catalogando a este tipo de componentes como “Residuos de Construcción y Demolición” o RCD.

En línea con lo mencionado, se tiene que los residuos de la construcción corresponden a ineficiencias de los procesos constructivos, los cuales generan pérdidas económicas al proyecto, inciden en la productividad y afectan en la seguridad de las obras y quienes trabajan en ellas, siendo ésta una realidad en la que Chile no se mantiene ajeno. Según disposiciones de la Cámara Chilena de la Construcción en su “**Manual de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición: Detalles de Implementación**”, cada 17 pisos ejecutados en obras de edificación a nivel nacional, se generan aproximadamente 2 pisos de residuos, siendo éste el doble del estándar internacional (Cámara Chilena de la Construcción, Manual de Gestión de Residuos de Construcción y demolición: Detalles de implementación, 2023), evidenciando el poco control que se tiene de los materiales en la construcción chilena, la baja productividad y el nivel de calidad de los ejecutables del proyecto.

El origen de este tipo de residuos proviene principalmente de las siguientes actividades humanas:

3. Obras de construcción nuevas
4. Obras de rehabilitaciones o reparaciones de estructuras existentes
5. Obras de excavaciones y demoliciones

Asociado a la clasificación de este tipo de residuos, se identifican 2 grupos principales denominados “Peligrosos” y “No peligrosos”, los cuales deben ser correctamente seleccionados y dispuestos en locaciones independientes dentro de la obra. Dentro del grupo de Residuos No peligrosos, existen 3 subcategorías de clasificación, diferenciando así los “Residuos inertes”, Residuos no inertes” y “Residuos asimilables a domiciliarios”. El detalle de dicha clasificación en base al nivel de peligrosidad de los RCD se presenta en el documento normativo “**NCh3562: Gestión de Residuos – Residuos de construcción y demolición (RCD) – Clasificación y directrices para el plan de gestión**”, cuyo extracto se presenta en la tabla a continuación:

*Tabla 3.6: Clasificación de RCD en base a su peligrosidad.  
Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2019)*

Clasificación de RCD		Detalle
Peligroso		Residuo peligroso es todo aquel material que al ser desechado tiene potencial para dañar la salud humana, animal o de algún ecosistema en general, ajustándose a alguna característica de peligrosidad de acuerdo con la legislación vigente.
No peligroso	Inertes	Residuo inerte es todo aquel que no experimenta transformaciones ni reacciones físicas, químicas ni biológicas significativas, cuya disposición no presenta una amenaza de afección de la salud humana ni del medio ambiente.
	No Inertes	Residuo no inerte es todo aquel que dada sus característica, no es posible catalogar como inerte o asimilable a domiciliario.
	Asimilables a domiciliarios	Residuo asimilable a domiciliario es todo aquel que por sus características físicas, químicas y biológicas, puede ser dispuesto en un relleno sanitario en coexistencia a residuos domiciliarios sin alterar el funcionamiento normal de este tipo de locaciones, siendo estas últimas diseñadas, construidas y operadas para reducir riesgos sanitarios y ambientales.

En base al documento normativo mencionado anteriormente y en complemento con el documento normativo “**NCh382: Sustancias Peligrosas – Terminología y clasificación general**”, se identifican las clases de residuos que comúnmente son catalogados como “Peligrosos” y “No peligrosos” y que potencialmente pueden ser generados durante la etapa constructiva de un proyecto. El detalle de los RCD que son considerados en la clasificación descrita anteriormente se expone en la siguiente tabla.

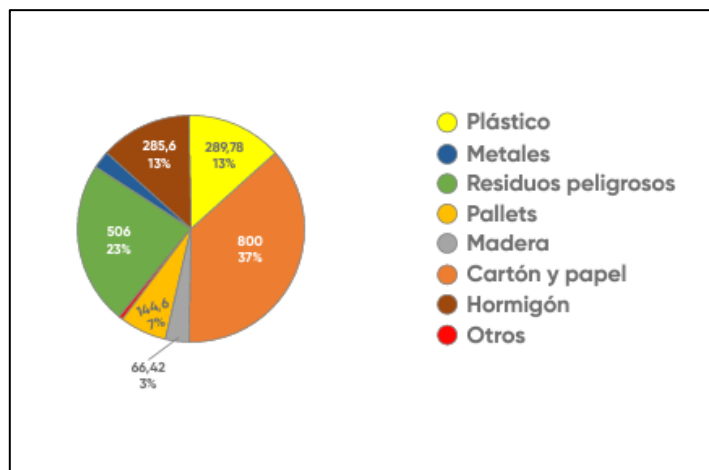
Tabla 3.7: RCD considerados en obra según clasificación de peligrosidad.

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2019)

Clasificación		RCD considerados
Peligroso		Clase 1: Sustancias y objetos explosivos Clase 2: Gases Comprimidos, licuados, disueltos a presión o criogénicos Clase 3: Líquidos Inflamables Clase 4: Sólidos Inflamables Clase 5: Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos Clase 6: Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas Clase 7: Sustancias radiactivas Clase 8: Sustancias corrosivas Clase 9: Sustancias peligrosas varias
No peligroso	Inertes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigón</li> <li>- Ladrillos</li> <li>- Tejas y materiales cerámicos</li> <li>- Vidrios</li> <li>- Vidrio espejo o multicapas</li> <li>- Tierra y piedras libres de sustancias peligrosas</li> <li>- Absorbentes y materiales de filtración</li> <li>- Envases de madera</li> </ul>
	No Inertes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Madera libre de impregnación o pinturas</li> <li>- Madera impregnada o pintada</li> <li>- Plástico PVC (policloruro de vinilo)</li> <li>- Plástico PPR (polipropileno R)</li> <li>- Plástico PEAD</li> <li>- Otros plásticos, como PEBD o PET</li> <li>- Mezclas bituminosas</li> <li>- Cobre, bronce, latón</li> <li>- Aluminio</li> <li>- Zinc</li> <li>- Hierro y acero no galvanizado</li> <li>- Hierro y acero galvanizados</li> <li>- Metales mezclados y/o piezas con más de un metal</li> <li>- Materiales de construcción en base a yeso, libres de sustancias peligrosas</li> <li>- Pinturas, tintas, adhesivos y resinas libres de sustancias peligrosas</li> <li>- Papel y cartón</li> <li>- Envases de papel y cartón</li> <li>- Envases plásticos</li> </ul>
	Asimilables a domiciliarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envases de vidrio</li> <li>- Envases metálicos</li> <li>- Residuos biodegradables de parques y jardines</li> <li>- Residuos biodegradables de cocina y restaurantes</li> <li>- Ropa</li> </ul>



De los materiales considerados RCD mencionados en la tabla anterior, los más abundantes dentro de todas las obras gruesas de un proyecto en etapa de ejecución corresponden al hormigón, fierro y madera de diferente naturaleza, mientras que, en terminaciones, los materiales más abundantes corresponden a cartón, plásticos, yeso, cerámica y porcelanato. A continuación, se presenta los porcentajes de residuos más comunes de encontrar en obras de construcción medida en 1 metro cúbico de escombros o RCD en base a lo indicado en el “**Manual de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición: Detalles de implementación**” (Cámara Chilena de la Construcción, Manual de Gestión de Residuos de Construcción y demolición: Detalles de implementación, 2023).



*Figura 3.5: Porcentajes de residuos más comunes de encontrar en obras de construcción en Chile.*

*Fuente: (Cámara Chilena de la Construcción, 2023)*

Ya indicando números concretos respecto a la producción de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Chile, se contabiliza a nivel nacional la generación anual de casi 3 millones de metros cúbicos [ $m^3$ ] de este tipo de residuos, cuyo destino es similar al 80% de los residuos sólidos mencionado en el subcapítulo anterior. Del total de RCD producidos, la mitad de ellos provienen de la Región Metropolitana, llegando a la cifra de 1.151.299 [ $m^3$ ], le siguen las regiones de Valparaíso (351.454 [ $m^3$ ]) y la región del Biobío (263.708 [ $m^3$ ]). (Ossio & Faúndez, Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos, 2021)

El desglose del volumen generado de RCD en Chile fue catastrado en 2021 por los académicos Felipe Ossio y Javier Faúndez en su **“Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos”**, los cuales en colaboración con 317 municipalidades que participaron en su investigación, lograron levantar información respecto al volumen de RCD generado en 1 año a nivel comunal. El resumen de dicho desglose se expone en las siguientes tablas a continuación.

*Tabla 3.8: Generación de RCD por región a nivel Nacional.*

*Fuente: (Ossio & Faúndez, 2021)*

<b>Región</b>	<b>Volumen de RCD generado anualmente [<math>m^3</math>]</b>	<b>Generación de RCD a nivel Nacional</b>	<b>¿Cuenta en su territorio con sitio de disposición final de RCD? (cantidad)</b>	<b>Comunas donde se ubican sitio de disposición de RCD (cantidad)</b>
Arica y Parinacota	30.027	1,10%	No (0)	-
Tarapacá	36.701	1,30%	Si (3)	Alto Hospicio (2) Iquique (1)
Antofagasta	53.388	1,90%	No (0)	-
Atacama	22.123	0,80%	Si (3)	Calera (1) Copiapó (2)
Coquimbo	108.346	3,90%	No (0)	-
Valparaíso	351.454	12,80%	No (0)	-
Metropolitana	1.151.299	41,8%	Si (10)	Cerrillos (1) La Florida (1) Pudahuel (2) Puente Alto (2) San Bernardo (4)
O'Higgins	112.204	4,10%	Si (3)	Rancagua (3)

Tabla 3.9: Generación de RCD por región a nivel Nacional (parte 2).

Fuente: (Ossio & Faúndez, 2021)

Región	Volumen de RCD generado anualmente [m <sup>3</sup> ]	Generación de RCD a nivel Nacional	¿Cuenta en su territorio con sitio de disposición final de RCD? (cantidad)	Comunas donde se ubican sitio de disposición de RCD (cantidad)
Maule	186.114	6,80%	Si (1)	Talca (1)
Ñuble	67.285	2,40%	Si (26)	Chillán (8) Chillán Viejo (15) Quillón (1) Ranquíl (1) Yungay (1)
Biobío	236.708	8,60%	Si (22)	Arauco (4) Coronel (6) Concepción (1) Los Ángeles (3) Talcahuano (5) Tucapel (1) Yumbel (1)
Araucanía	172.776	6,30%	Si (10)	Angol (1) Carahue (1) Collipulli (1) Lautaro (1) Nueva Imperial (1) Padre Las Casas (2) Pucón (1) Temuco (1) Vilcún (1)
Los Ríos	78.936	2,90%	Si (18)	Lanco (1) Los Lagos (1) Máfil (1) Mariquina (5) Panguipulli (2) Valdivia (7)
Los Lagos	101.360	3,70%	No (0)	-
Aysén	11.459	0,40%	No (0)	-
Magallanes	33.347	1,20%	No (0)	-

Análogo a la situación nacional asociada a la generación de residuos sólidos, se observa que las regiones con mayor porcentaje de generación de RCD son aquellas en las que se encuentran las principales áreas urbanas del país en donde reside la mayor parte de la población. Esto se debe a que las áreas urbanas suelen ser polos de actividad económica y desarrollo, generando de esta manera polos de mayor inversiones en infraestructura para impulsar dicho desarrollo y todo lo que ello conlleva (construcción de edificaciones nuevas, mantención y reparación de infraestructura existente o demolición de inmuebles en desuso). De esta manera, la Región Metropolitana se impone con un 41% del total nacional, seguido de las regiones de Valparaíso (12.8%) y Biobío (8.6%). Adicionalmente, se observa que, en Chile, al 2021 existen 7 regiones que no cuentan con un sitio de disposición final de residuos de construcción y demolición dentro de su territorio (Arica y Parinacota, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, Los Lagos, Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, y Magallanes y de la Antártida Chilena). Lo anterior tiene una implicancia perjudicial tanto en los territorios generadores de RCD como en las zonas donde se dispone finalmente dichos materiales, lo cual es informado por los autores del Diagnóstico en las conclusiones de dicho

documento, indicando lo siguiente:

*“Se observa una estrecha relación entre la generación de RCD y la existencia de sitios de disposición ilegal, la cual aumenta al no contar con sitios de disposición legal específicos para los Residuos de Construcción y Demolición”* (Ossio & Faúndez, 2021).

Dicha realidad corresponde a una desventaja de estas regiones respecto al manejo y disposición de RCD, siendo una problemática para trabajar tanto desde el ámbito público como también privada. En la actualidad, si las organizaciones, empresas constructoras y otros actores generadores de RCD decidieran disponer de forma legal y regularizada este tipo de residuos, deberían trasladar estos por largas distancias hasta una región aledaña que pudiese receptor este tipo de materiales con todos los costos que esto implica, tales como gasto de combustible, pago de tarifas por transitar vías concesionadas, emisiones gases contaminantes por parte de los vehículos de transporte, permisos de traslado y recepción de escombros y residuos, entre otros; así como también se estaría extendiendo la externalidad de la presencia de escombros y RCD a comunidades que no tienen vinculación directa alguna con los entes generadores.

Lo anterior corresponde a una afección directa a las condiciones ambientales, de salud y bienestar de los habitantes de comunidades cercanas a los sitios de disposición final, ya que un manejo inadecuado de los residuos de construcción y demolición (RCD) puede producir efectos negativos para el medio ambiente y la salud de las personas, lo cual se potencia sobre todo al crearse vertederos ilegales, basurales y microbasurales que afectan tanto a las comunidades humanas que habitan en la cercanía de estos puntos, como también sitios con alto valor ambiental, arqueológico, histórico y/o cultural.

Cabe destacar los sitios disponibles para el depósito de RCD a nivel nacional sólo contemplan su recepción, y no su tratamiento, en dónde el modelo de trabajo de estos sitios es disponer de grandes extensiones de terreno para descargar los RCD y posteriormente enterrarlos, siendo escasas las organizaciones y empresas encargadas de su revalorización a gran escala en el territorio nacional, tal como se menciona en subcapítulos posteriores.

A modo de resumen, se muestra un mapa político de Chile con los porcentajes de RCD generados y el volumen en metros cúbicos [ $m^3$ ] equivalentes por región, indicando la cantidad de puntos de disposición final legal de este tipo de materiales.

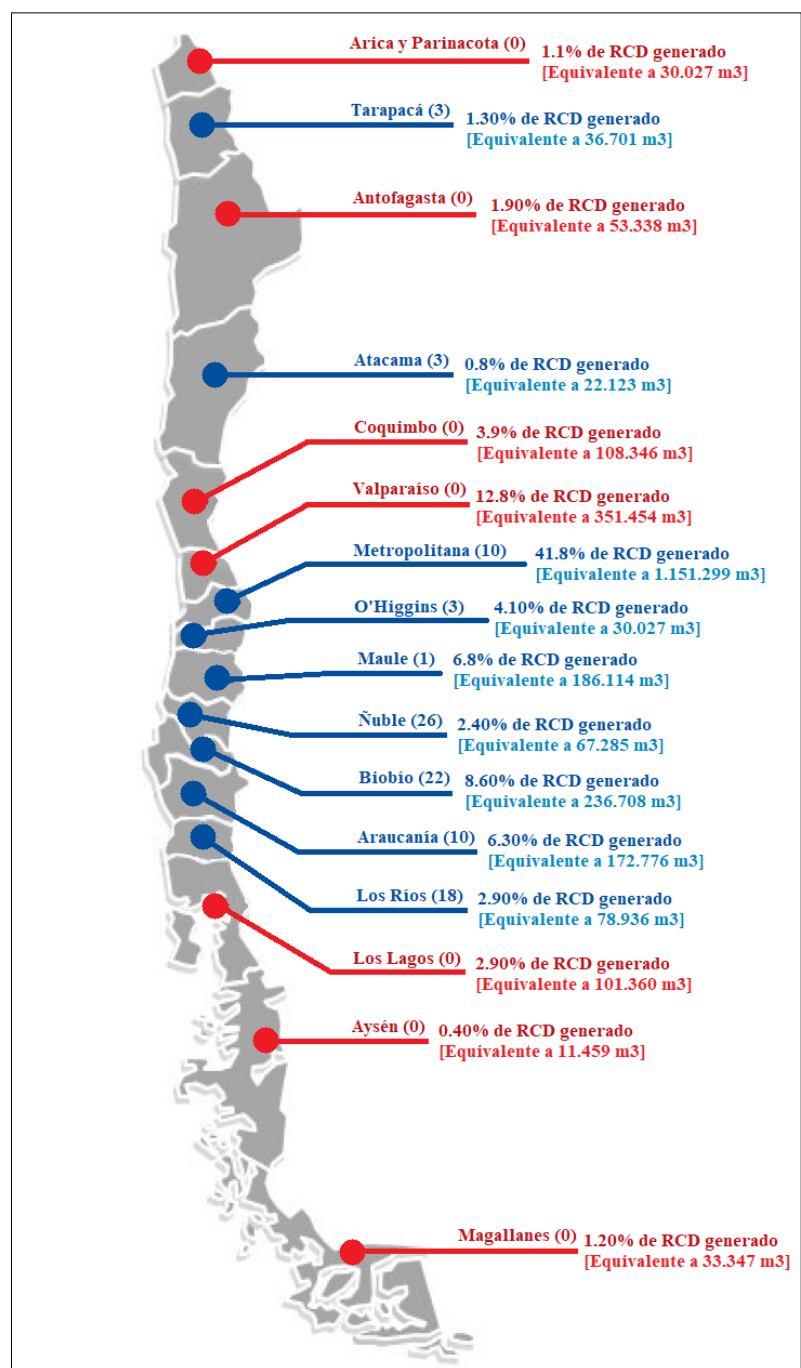


Figura 3.6: Porcentajes de residuos más comunes de encontrar en obras de construcción en Chile.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3 Valorización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Organizaciones y empresas nacionales

La valorización de residuos de construcción y demolición, o RCD por su abreviatura se define como la correcta clasificación y separación de los residuos remanentes que se disponen en obra como consecuencia de las faenas constructivas de un proyecto, cuyo material puede ser trabajado con el fin de lograr que los residuos cobren una finalidad útil y reintegrarlo a la cadena de valor por medio de producción y sustitución de otros materiales.

Según la información levantada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción a partir de un formulario difundido el segundo trimestre de 2022, se identificaron diversas iniciativas asociadas a la Economía Circular en la construcción, dentro de las cuales se seleccionaron 35 de ellas como aplicadas y/o desarrolladas según el documento “*Desarrollo de una Guía y Catálogo de Aplicación de Economía Circular para la Construcción en Chile*” (Cárcamo, 2022). A partir de dicho documento, se presentan las siguientes iniciativas, organizaciones y empresas nacionales con potencial impacto en la Construcción Vial hacia una Economía Circular sustentable, cuya tipología de trabajo principal para este tipo de obras consiste en el uso de residuo como recurso para su posterior uso o valorización.

*Tabla 3.10: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 1).*

*Fuente: (Cárcamo, 2022)*

<b>Nombre Empresa</b>	<b>Criterio de Información</b>	<b>Detalle de información</b>
Rund	Nombre Iniciativa	Aditivos de plástico reciclado para mezclas asfálticas.
	Descripción Iniciativa	Aditivos de Plástico reciclado enfocados en reemplazar un porcentaje del ligante de las mezclas asfálticas. Permitiendo así disminución en costos de construcción, reducción de huella de carbono. Existe un primer piloto en Chile, específicamente en la ruta del Maipo, donde resultados han sido favorables.
	Atributos circulares	Reciclaje y Disminución de Huella de Carbono.
	Estrategia Utilizada	- Aumentar la eficacia de los materiales. - Reducir el uso de materiales altos en carbono.
Construambiente SpA.	Nombre Iniciativa	Desarrollo de mobiliario urbano a partir de escombros de la construcción, un enfoque desde el desarrollo de la economía circular.
	Descripción Iniciativa	Desarrollo de mobiliario urbano a partir de escombros de la construcción, un enfoque desde el desarrollo de la economía circular.
	Atributos circulares	Disminución de escombros.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales.

*Tabla 3.11: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 2).*

*Fuente: (Cárcamo, 2022)*

<b>Nombre Empresa</b>	<b>Criterio de Información</b>	<b>Detalle de información</b>
Azul Austral	Nombre Iniciativa	Revalorización de vidrio para la construcción generando arena de vidrio
	Descripción Iniciativa	Somos un emprendimiento natalino, y revalorización transformando el vidrio en arena de vidrio para ser aplicado en prefabricados de hormigón.
	Atributos circulares	Su uso ofrece ventajas en su uso en mezclas en frío y mejora la resistencia al deslizamiento del pavimento. Por otro lado, la operación de arenas de vidrio genera empleos a nivel local al contribuir a promover emprendimientos locales de valorización de los residuos.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales, Disminuir el uso de materiales nuevo y no renovables.
B-MORPH	Nombre Iniciativa	B-MORPH.
	Descripción Iniciativa	Poseemos una tecnología aplicable a distintas materialidades que purifica el aire.
	Atributos circulares	Reutilizamos materia prima secundaria para la mayoría de nuestros productos, actualmente contamos con B-TILE en comercialización, un revestimiento fabricado con plástico reciclado que degrada gases contaminantes atmosféricos.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales, Disminuir el uso de materiales nuevo y no renovables.
Río Claro Ltda.	Nombre Iniciativa	Áridos artificiales y reciclados.
	Descripción Iniciativa	Valorizamos residuos sólidos industriales como escoria negra para áridos artificiales y reciclamos hormigón de demolición y/o obra para áridos reciclados, nuestra planta de reciclaje cuenta con resolución sanitaria de la RM y reconoce la conversión de residuos a productos aptos para la construcción.
	Atributos circulares	Materia prima alternativa y sustentable para la construcción.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales, Disminuir el uso de materiales nuevo y no renovables.

Tabla 3.12: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 3).

Fuente: (Cárcamo, 2022)

Nombre Empresa	Criterio de Información	Detalle de información
Siena S.A.	Nombre Iniciativa	Circuito infinito de agua.
	Descripción Iniciativa	Reutilizamos el 100% del agua utilizada para el lavado de la bomba de hormigón en el proceso de hormigonado (1-2 m3 día de ahorro).
	Atributos circulares	Cuidado hídrico a través de la valorización.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales.
DOKMAR	Nombre Iniciativa	Valor social Interdisciplinario.
	Descripción Iniciativa	Como gestores de RCD, la misión que tenemos es gestionar residuos no valorizables que tienen disposición final a vertedero en otras industrias, contemplando la reinserción social y asistencia instituciones con recursos acotados.
	Atributos circulares	Aportar valor en la cadena de valor mediante la reciclaje de residuos no valorizados que tiene disposición final a vertedero.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales, Disminuir el uso de materiales nuevo y no renovables.
Patagonia Huella Cero SpA.	Nombre Iniciativa	Patagonia Huella Cero.
	Descripción Iniciativa	Esta iniciativa busca implementar un sistema de gestión de los RCD de las obras y empresas del sector en la región, que permita la trazabilidad de los residuos, su reutilización a través del procesamiento o redimensionamiento, su reciclaje y valorización, asociado a ello, generar acciones de mitigación o compensación ambiental de las obras y los servicios asociados (logística), por la emisión de CO2. Esto, a través de la implementación de centros de reciclaje para la comunidad y de actividades, como la habilitación de centros de compostaje, por ejemplo. Ello, en toda la región de Aysén y Palena.
	Atributos circulares	Permite reutilización de los RCD, su transformación y valorización, además de permitir que los residuos no lleguen a los rellenos sanitarios y vertederos, que en la región están saturados.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales, Reducir el uso de materiales altos en carbono.



Tabla 3.13: Iniciativas y organizaciones nacionales con potencial impacto en la construcción vial (parte 4).

Fuente: (Cárcamo, 2022)

Nombre Empresa	Criterio de Información	Detalle de información
Recylink	Nombre Iniciativa	Recylink
	Descripción Iniciativa	Plataforma para la gestión de residuos. Mediante la digitalización de la operación, conexión con otros actores y trazabilidad damos visibilidad a la gestión de residuos, permitiéndoles medir y después mejorar por medio de indicadores y reportabilidad.
	Atributos circulares	Conectamos a los generadores de residuos con transportistas y destinatarios finales, con el fin de aumentar la valorización de residuos.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales.
REVALORIZA	Nombre Iniciativa	Primera planta de valorización de residuos de la construcción de Chile.
	Descripción Iniciativa	REVALORIZA, es una empresa de la V región que tiene como propósito la instalación de tecnología que permita disminuir la problemática socioambiental y económica que existe en relación con la gestión actual de los residuos de la construcción y demolición, en adelante RCD, en diversas ciudades de Chile y Latinoamérica a través de la incorporación de tecnología de alta gama junto a una plataforma digital que permite vincular a todo los actores involucrados en la cadena (constructoras-transportistas recicladores de base comunidad autoridades). Este nuevo modelo, permite profesionalizar el servicio actual de RCD y otros tipos de residuos que pueden ser valorizados y concientizar sobre el triple impacto, a través del Centro Revaloriza el cual contará con un espacio de visitas y prototipado con las principales universidades locales y operativamente evolucionar la gestión de residuos, obteniendo materias primas secundarias las que permitirán la generación de nuevos productos y a su vez la creación de nuevas fuentes de empleos verdes y la transformación conjunta de ciudades sostenibles, innovadoras y resilientes con múltiples alianzas colaborativas que impulsan la economía circular.
	Atributos circulares	Recuperación de materias primas contenidas en los residuos que vuelven a ser incorporados a la construcción o a nuevos procesos productivos, eliminando la disposición final de ellos.
	Estrategia Utilizada	Aumentar la eficacia de los materiales.

La información descrita en las tablas anteriores permite evidenciar el surgimiento de empresas que ven en las externalidades de la construcción una oportunidad de negocios e inversión, mostrando así el interés del mundo privado en la colaboración y procesamiento de residuos para darles una segunda oportunidad en la cadena de valor. De esta manera, a nivel nacional existen alternativas que pueden ser utilizadas por parte de las empresas constructoras de proyectos viales así como de empresas ejecutoras de otro tipo de proyectos que deseen contribuir en la disminución de la huella de Carbono a en la industria de la construcción.

Si bien, el número de iniciativas es acotada, su existencia y presencia se asocia a la intención que se tiene por parte de las empresas mandantes e instituciones de exigir a las constructoras y entes ejecutantes la utilización de metodologías y materiales que permitan un ahorro de recursos y cuyo uso genere un menor impacto al ecosistema y los habitantes de las zonas de influencia, cuya masificación permite un impacto colectivo positivo.

## 3.4 Marco Normativo y regulaciones

### 3.4.1 Normativa legal y regulaciones vigentes a nivel nacional:

Actualmente, en Chile no existe una normativa específica que aborde de manera integral el concepto de Economía Circular en el ámbito de la construcción y la sostenibilidad en las carreteras. A pesar de los avances en materia ambiental y de infraestructura, la ausencia de legislaciones vigentes dedicadas a promover prácticas sustentables en la industria de la construcción de carreteras ha generado un vacío normativo que limita el progreso hacia modelos de diseño y construcción más eficientes y respetables desde el punto de vista medioambiental, quedando la toma de decisiones y voluntad de acción en manos de las organizaciones y empresas ejecutantes al momento de presentar sus ofertas técnicas y económicas durante las licitaciones de los proyectos.

A pesar de lo anterior, existen estudios realizados tanto por académicos como por organizaciones que exponen la realidad chilena en función de la legislación vigente asociada a la valorización de residuos en obras y el paradigma que enfrenta la adaptación de un modelo de Economía Circular en la Construcción. Tal es el caso de la investigación liderada por el profesor Marcos Díaz denominada *“Reciclaje de Áridos en la Construcción: Análisis de las brechas entre las realidades chilena y española”* (Díaz, Almendro, Blanco, & Jordán, 2019), siendo uno de los pocos análisis comparativos entre países en lo que respecta al reciclaje de áridos y su reutilización en obras viales y vías urbanas. A partir de ello se expone el marco legal que rige en el territorio nacional asociado a la Economía Circular en la construcción vial.

A continuación se exponen los documentos normativos más relevantes mencionados en la investigación nombrada anteriormente, cuya introducción y alcance se expone en mayor detalle en el **“Anexo B”** de este documento.

- **Constitución Política de la República de Chile.**
- **Ley Chilena N° 19300 – Ley de Marco General Ambiental.**
- **NCh 3562: Manejo de Residuos – Residuos de Construcción y Demolición y Materiales de Excavación – Clasificación y Lineamientos para un Plan de Manejo.**
- **NCh 163: Áridos para morteros y hormigones – Requisitos.**
- **Ley Chilena N° 20920 – Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Ampliada del Productor y la Promoción del Reciclaje.**

En línea con el uso de materiales de origen no natural, tales como los áridos reciclados y artificiales, por parte del Instituto Nacional de Normalización (INN) a petición de Construye 2025 de Corfo es que actualmente se encuentran elaborando 4 normas nuevas para el uso de estos materiales en obras viales, específicamente como material de base y subbase, dichos proyectos de norma se encuentran en proceso de consulta pública para su posterior revisión y publicación, siendo las indicadas a continuación y descritas con mayor detalle en el “**Anexo B**” de este documento.

- **NCh 3848: Pavimentos – Áridos reciclados en base a residuos de construcción y demolición (RCD) inertes no peligrosos – Trazabilidad y requisitos para incorporar en bases y subbases de pavimentos.**
- **NCh 3849: Áridos – Áridos reciclados en base a residuos de construcción y demolición (RCD) inertes no peligrosos – Clasificación, ensayos y requisitos de caracterización, y directrices para la trazabilidad.**
- **NCh 3850: Pavimentos – Áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico – Trazabilidad y requisitos para incorporar en bases y subbases de pavimentos.**
- **NCh 3851: Áridos – Áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico – Clasificación, ensayos y requisitos.**

En línea con la normativa chilena vigente, se tiene el documento del Ministerio de Obras Públicas denominado “*Manual de Planes de Manejo Ambiental para Obras Concesionadas*” (Ministerio de Obras Públicas, 2013), específicamente en la Versión N°7 de este documento se expone un apartado de Contenidos mínimos del Plan de Manejo que debe considerar cada frente de trabajo de una obra concesionada (Capítulo 1.3.1.2), en dicho capítulo se expone el Marco Jurídico Aplicable que debe considerar la sociedad concesionaria, siendo dicha normativa de carácter general para este tipo de proyectos, cuya consideración solo debe tomar en cuenta aquellas indicaciones atinentes a la localización y actividades a realizar por parte de la entidad concesionaria.

Si bien, solo existe un porcentaje de la vialidad nacional que se encuentra operando actualmente en base a contratos de mantenimiento y explotación bajo el sistema de concesiones, la legislación mencionada en este documento es de carácter general, siendo aplicada a cualquier tipo de obra vial y/o de otra categoría o funcionalidad. El manual expuesto hace diferencia respecto a 9 categorías de clasificación de las leyes y decretos que limitan el diseño y planes de ejecución de las obras, las cuales se mencionan a continuación:

- A. Aire.
- B. Agua.
- C. Ruido.
- D. Suelo.
- E. Patrimonio Cultural.
- F. Flora y Fauna.
- G. Sustancias Peligrosas, Explosivos y Combustibles.
- H. Transporte.
- I. Otras.

El detalle de los decretos que forman parte del marco jurídico ambiental a respetar por las entidades concesionarias en base a las disposiciones del Ministerio de Obras Públicas se encuentra en el “**Anexo B**” de este documento, cuyo contenido se clasifica en base a las categorías antes mencionadas.

Pasando a la documentación Técnica que rige el diseño, construcción y mantención de proyectos y obras viales en Chile, se tiene el Manual de Carreteras, publicación elaborada por el Ministerio de Obras Públicas. Dicha documentación se encuentra organizado en una serie de volúmenes, en donde cada uno de ellos aborda asuntos específicos del diseño y gestión de la vialidad, los cuales se exponen a continuación.

- 1. Manual de Carreteras Volumen N°1: Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos.**
- 2. Manual de Carreteras Volumen N°2: Procedimientos de Estudios Viales.**
- 3. Manual de Carreteras Volumen N°3: Instrucciones y Criterios de Diseño.**
- 4. Manual de Carreteras Volumen N°4: Planos de Obras Tipo.**
- 5. Manual de Carreteras Volumen N°5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción.**
- 6. Manual de Carreteras Volumen N°6 Seguridad Vial.**
- 7. Manual de Carreteras Volumen N°7: Mantenimiento Vial.**
- 8. Manual de Carreteras Volumen N°8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control.**
- 9. Manual de Carreteras Volumen N°9: Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales.**

Si bien, todos los capítulos permiten informar y conocer a detalle la documentación y tópicos importantes detrás de un proyecto vial, esta investigación pone especial énfasis en el último volumen N°9 del Manual de Carreteras Chileno, cuyos capítulos asociados a la fase de Construcción de la vialidad son el “*Capítulo 9.300: Consideraciones Generales para Estudios Ambientales en proyectos Viales.*” y el “*Capítulo 9.700: Consideraciones Ambientales durante la Construcción de Obras Viales.*” (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

El capítulo 9.300 aborda la metodología general para la evaluación de los impactos ambientales que eventualmente se generarán durante las actividades desarrolladas en las etapas de construcción, explotación y mantenimiento de la vialidad, siendo dichas etapas las finales a ejecutar en la vida del proyecto vial. Dentro de dicho capítulo se encuentra información que permite guiar tanto a las entidades encargadas del anteproyecto y diseño de ingeniería del proyecto vial, como también a aquellos actores encargados de la ejecución y el desarrollo, siendo las secciones más relevantes aquellas relacionadas a los siguientes tópicos:

- Contenidos mínimos para la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- Contenidos mínimos para la presentación de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA).
- Formato de presentación de un EIA o una DIA.
- Evaluación preliminar de la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
- Evaluación social de proyectos para niveles de idea y perfil de proyecto.
- Medidas Ambientales: impactos ambientales y medidas preventivas, de mitigación, de reparación y/o compensación.
- Especificaciones ambientales específicas.

Por otro lado, el capítulo 9.700 aborda las consideraciones ambientales durante la construcción de obras viales, entregando los requisitos ambientales a tener presentes en todo contrato de construcción elaborado por la Dirección de Vialidad. De esta manera, el capítulo especifica las medidas a tomar para tratar los impactos ambientales durante la ejecución de obras, las cuales se definen principalmente en una serie de Planes de Manejo Específicos y Especiales, siendo éstos los indicados en las tablas 9.702.3.A y 9.702.3.B del capítulo, que se exponen a continuación:

*Tabla 3.14: Planes de Manejo Específicos y Secciones del Volumen N°5 del MDC.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

<b>Plan de Manejo Específico</b>	<b>Sección</b>
9.702.301 Plan de Manejo para Instalación de Faenas y Campamentos	5.106
9.702.302 Plan de Manejo para Apertura, Uso y Abandono de Botaderos	5.804
9.702.303 Plan de Manejo para Apertura, Explotación y Abandono de Empréstitos	5.210
9.702.304 Plan de Manejo para Plantas de Producción de Materiales	5.307

*Tabla 3.15: Planes de Manejo Especiales y Secciones del Volumen N°5 del MDC.  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

<b>Plan Especial</b>	<b>Sección</b>
9.702.305(1) Plan de Manejo para Corta y Reforestación de Bosques para Ejecutar Obras Civiles	5.107
9.702.305(2) Plan de Revegetación	5.805
9.702.305(3) Plan de Rescate y Relocalización de Flora con problemas de Conservación	5.806
9.702.305(4) Plan de Rescate Arqueológico	5.108

El contenido de dichos planes hace mención de los criterios de localización de cada partida o categoría a considerar, además de las consideraciones ambientales para la instalación de faenas, y frentes de trabajo, operación y explotación de botaderos, producción de materiales y el cierre adecuado que se deben realizar al finalizar la etapa constructiva de la vialidad y el abandono de las instalaciones, sirviendo dichos documentos como una guía a seguir para el desarrollo de buenas prácticas constructivas que minimicen el impacto y afección de la zona a intervenir.

### 3.3.2 Normativa legal y regulaciones vigentes a nivel internacional

Continuando con la normativa legal a nivel internacional, se dará especial énfasis a marcos jurídicos que marcan una notoria diferencia con el caso nacional, siendo los casos expuestos un ejemplo de políticas a seguir en nuestro país. Tal como se mencionó en el subcapítulo anterior, el académico Marcos Díaz realizó un análisis comparativo entre la realidad chilena y española en lo que respecta al uso de áridos reciclados en obras viales y vías urbanas (Díaz, Almendro, Blanco, & Jordán, 2019), evidenciando una serie de leyes y normas técnicas implementadas en el país Vasco que lo posicionan como una referencia a seguir por parte de otras naciones.

En España, se cuenta con una amplia experiencia asociado al reciclaje de áridos y su reutilización, dado que cuenta con una cultura del reciclaje que genera un ambiente propicio para el desarrollo de éste, el cual se evidencia en los resultados que se han observado en la reutilización de áridos, manejo de residuos, revalorización de materiales, entre otras propuestas, destacándose la siguiente documentación cuya introducción y alcance se expone en mayor detalle en el “**Anexo B**” de este documento.

- **Constitución Española.**
- **Ley Española 10/1998, de 21 de abril, de residuos.**
- **Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.**
- **Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero.**
- **Orden ACC/9/2023, de 23 de enero.**
- **Decreto 112/2012, de 26 de junio.**
- **Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero.**

Adicional a los decretos y normas mencionadas, España cuenta con planes de manejo y gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), identificando las bases y objetivos ecológicos para una adecuada gestión ambiental de este tipo de materiales, identificándose los siguientes documentos:

- **Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (I PNRCD) (201-2006)**
- **Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD) (2008-2015)**
- **Plan Marco de Gobierno para la Gestión de Residuos (PEMAR) (2016-2022)**

# Capítulo 4: Entrevistas





## 4.1 Preguntas realizadas

Se presenta en este apartado, las preguntas realizadas a los profesionales entrevistados para el desarrollo de este trabajo:


1. ¿En qué se desempeña actualmente, y cuál ha sido su experiencia en obras viales?
2. En base a sus conocimientos ¿Puede describir ejemplos concretos de proyectos viales en los que se hayan aplicado métodos de construcción o tecnologías sustentables?, siendo esto el uso de materiales reciclados, metodologías que disminuyan el uso de recursos, emisiones de contaminantes, entre otros aspectos.
3. En relación con esos métodos y/o tecnologías, ¿cómo fue su aplicación? Es decir, ¿qué dificultades tuvieron en el proceso, resultó exitosa su aplicación?
4. ¿Cuáles son los beneficios económicos, medioambientales observados al utilizar materiales y métodos de construcción sustentables en obras viales?
5. Durante la fase de ejecución de un proyecto vial, ¿Qué partidas o actividades dentro de la obra son aquellas donde es más sencillo implementar cambios para desarrollar el proyecto de forma tal que disminuya el impacto ambiental y al entorno sin afectar la calidad y serviciabilidad del producto?, entendiéndose como producto la obra vial en construcción.
6. ¿Qué tecnologías emergentes o innovaciones en el campo de la construcción pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las obras viales en el futuro?

Para efectos de este trabajo de título, los profesionales entrevistados expertos en el sector construcción son los mencionados en la tabla a continuación:

*Tabla 4.1: Profesionales entrevistados.*

Profesional entrevistado	Cargo profesional	Empresa u organización
Gabriel Opazo	- Jefe de Producción obra "Segunda Concesión Carretera de la Fruta - Tramo B5", Sacyr	
Silvana Frontier	Jefe de Proyecto de la Dirección General de Concesiones, MOP	
Marcos González	Académico del Departamento de Ciencias de la Construcción, UTEM	
Víctor Reyes	Jefe de Unidad Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad, MOP	



Katherine Martínez	Líder de Sostenibilidad Ambiental en la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT	
--------------------	--	---

## 4.2 Análisis de entrevistas y comparación de respuestas

En base a la información recolectada, se expone a continuación las respuestas brindadas por los profesionales del rubro consultados en diferentes tablas, cuyo formato resume de forma gráfica los comentarios realizados por cada profesional, comparando sus respuestas en función de los puntos abarcados por las preguntas indicadas en el apartado anterior.

*Tabla 4.2; Comparación respuestas de entrevistas (parte 1)*

Profesional entrevistado	Aplicaciones en proyectos	Nivel de éxito y dificultades observadas
Gabriel Opazo	<p>Sistema de <b>recolección, almacenamiento y tratamiento de aguas grises.</b></p> <p>Sistemas de <b>iluminación y señalamiento vial</b> alimentado por paneles solares.</p> <p><b>Reutilización de material de fresado</b> para acondicionamiento de caminos secundarios.</p> <p>Implementación de instalaciones de <b>faenas móviles y autosustentables</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La aplicación de estas nuevas tecnologías durante la ejecución del proyecto ha sido exitosa, logrando un desarrollo favorable en los aspectos energéticos y económicos.</li> <li>- Principal dificultad tras implementar las alternativas mencionadas radica en la disponibilidad de personal capacitado para desarrollar y mantener los equipos implementados, como también en la tardanza que presenta la comunicación entre la obra y los proveedores.</li> </ul>
Silvana Frontier	<p><b>Método de Rubblizing:</b> Fracturación de losas de hormigón para ser reutilizadas como base estabilizada. Menciona la implementación de esta metodología en el mejoramiento de Camino a Melipilla.</p> <p><b>Losas cortas:</b> Uso de losas de menor longitud a las tradicionales que presentan un menor nivel de alabeo.</p> <p>A nivel de diseño de proyecto, considerar trazados y soluciones ingenieriles que reduzcan el volumen de material a excavar y/o rellenar.</p>	<p>La implementación de innovaciones en Obras Públicas es impulsada principalmente por el sector privado ejecutor de las obras, por lo que desde el Estado, se tiene una predominancia al uso de metodologías tradicionales que han demostrado resultados convincente y óptimos a lo largo de los años. Validación de nuevos sistemas se encuentra basado en lógicas de gran antigüedad, cuyo ambiente y procedimiento de implementación no es propicio para la aplicación de nuevas soluciones constructivas.</p>
Marcos González	<p><b>Método de Rubblizing:</b> Fracturación de losas de hormigón preexistentes en proyectos de mejoramiento o reacondicionamiento de carreteras</p> <p><b>Uso de árido reciclado y artificial en Hormigones y Morteros:</b> Incorporación de</p>	<p>Alta efectividad en la aplicación de la primera metodología, permitiendo la reutilización de la infraestructura existente con resultados de calidad. Se experimentó dificultades en la aplicación de esta metodología en una obra desarrollada en la</p>

	<p>estos materiales como estrategia sostenible, en base a indicaciones de la actualización de la norma NCh 163.</p>	<p>ciudad de Los Ángeles (Chile), dada la existencia de una doble losa de hormigón de la cual no se tenía conocimiento previo. Respecto al proyecto de investigación que busca reacondicionar la ruta entre Puerto Natales y Punta Arenas, no se observan dificultades técnicas para su implementación, sin embargo, al no haber sido ejecutado aún, no es posible determinar el nivel de éxito de dicho proyecto.</p>
Víctor Reyes	<p>Uso de <b>Mezclas tibias</b>, elaboración de mezclas con material reciclado en adición al <b>asfalto espumado</b>.  <b>Uso de RAP</b> (pavimento asfáltico reciclado)</p>	<p>Varía según tecnología aplicada, algunos casos de mayor éxito que otros. Principal dificultad respecto a punto de vista práctico, se requiere capacitación y aprendizaje previo a la utilización de nueva tecnología.</p>
Katherine Martínez	<p><b>Uso de áridos reciclados</b> en mezclas asfálticas, productos en base a <b>caucho reciclado</b>, mejoramiento en base a <b>reutilización de RAP</b>.  Uso de <b>elementos prefabricados</b>.</p>	<p>Destaca éxito en las metodologías sostenibles implementadas. Señala una serie de barreras normativas que impiden la masificación de estas alternativas en obra y su mención en bases de licitación. Menciona el interés de varias empresas que buscan reincorporar material de desecho dentro de obra, con el fin de minimizar externalidades negativas generadas en procesos constructivos.</p>

Tabla 4.3: Comparación respuestas de entrevistas (parte 2).

Profesional entrevistado	Beneficios económicos	Beneficios medioambientales
Gabriel Opazo	Optimización de desplazamientos dentro de la obra: La instalación de faenas y frentes de trabajo móviles ha reducido los viajes para el traslado tanto de recursos como de trabajadores hacia faenas fijas, disminuyendo el uso de vehículos motorizados y las consecuentes emisiones de CO2 asociadas.	<p><b>Reducción de la polución</b> generada por el tránsito de vehículos y maquinaria en zonas con terreno suelto.</p> <p><b>Menor emisión de CO2 y menor uso del recurso hídrico</b> para el riego de caminos de paso.</p> <p><b>Menor ruido:</b> Al mantener los caminos de paso en buenas condiciones implica menor ruido emitido.</p>
Silvana Frontier	Potencial ahorro de recursos materiales y monetarios por parte del ente ejecutor al reciclar el 100% del Asfalto existente. Reducción de costos de obra y transporte al utilizar mezclas innovadoras y materiales reciclados.	<p>Uso de materiales reciclados disminuye la dependencia y extracción de áridos en zonas donde existe escasez de empréstitos.</p> <p>La utilización de técnicas de mejoramiento de suelo, como geomallas o anclajes se refleja en un menor impacto a la zona afectada por la vialidad al reducir los volúmenes de material excavado y retirado.</p>
Marcos González	<p><b>Reducción de costos de transporte:</b> La implementación del método Rubblizing y el uso de áridos reciclados in situ permiten reducir significativamente los costos asociados al transporte de materiales.</p> <p><b>Aprovechamiento de Recursos locales:</b> Al utilizar áridos tanto reciclados como artificiales que provienen de fuentes locales (dentro de la misma obra como de proveedores cercanos), se disminuye la dependencia de recursos importados desde regiones lejanas del territorio.</p>	<p><b>Reducción de Residuos y menor dependencia de recursos nuevos:</b> La aplicación de Rubblizing en obras competentes permite aprovechar la infraestructura disponible de forma beneficiosa para la nueva obra, evitando labores de demolición y traslado de materiales tanto de la faena de trabajo hacia vertederos, como de empréstitos de áridos hacia la obra, disminuyendo así las emisiones de CO2 producto de los viajes realizados por vehículos motorizados.</p> <p><b>Descontaminación y Recirculación de Materiales:</b> Uso de materiales In Situ evita la necesidad de enviar desechos a vertederos, siendo una acción directa de descontaminación por parte de la constructora. Al recircular dichos materiales en la cadena productiva, se promueve un enfoque sostenible y en línea con la economía circular de la actividad productiva.</p>
Víctor Reyes	No menciona	Disminución en emisiones de CO2 durante construcción, aunque no se posee metodología propia para medir aquello
Katherine Martínez	Se evidencia una relación entre la aplicación de alternativas sustentables y aumento de la productividad. Disminución en los tiempos de construcción y material requerido al utilizar alternativas prefabricadas.	<p>Disminución en el uso de materias primas vírgenes al reincorporar materiales a la cadena de valor, disminución en la huella de carbono de la obra.</p> <p>Menor volumen de material dispuesto en vertederos.</p>

Tabla 4.4: Comparación respuestas de entrevistas (parte 3).

Profesional entrevistado	Partidas con potencial de implementar cambios	Tecnologías emergentes o innovaciones de impacto positivo en sostenibilidad
Gabriel Opazo	<p>Movimiento de tierras se identifica como la de mayor impacto y magnitud en obra vial, pero con menor avance en la implementación de medidas sustentables para su ejecución.</p> <p>Partidas más pequeñas que involucran iluminación y señalización han logrado implementar acciones directas sostenibles.</p>	<p>Se destaca la necesidad de mejorar los tipos de hormigón utilizados en obra, específicamente la utilización de hormigones reciclados, hormigones con porcentaje de dosificación de polímeros. Lo anterior con la finalidad de reducir la sobreutilización de recursos naturales y explotación de empréstitos.</p>
Silvana Frontier	<p>La profesional hace referencia a ciertos factores a considerar durante la etapa de diseño de la vialidad, como lo son:</p> <p><b>Reducción del Movimiento de Tierras:</b> para ello, considerar dentro de lo posible la utilización de técnicas como estabilización de suelos, anclajes, geomallas, entre otras. Menciona como ejemplo la obra Nuevo peaje Angostura en la salida Sur de la ciudad de Santiago.</p> <p><b>Optimización de las estructuras y recursos a utilizar</b> para su ejecución: Para ello se indica la realización de ensayos y modelos que permitan conocer a mejor detalle el suelo donde se emplazará la vialidad y el comportamiento de la estructura.</p>	<p><b>Equipos guiados por GPS:</b> Utilización de maquinaria que permita medir y controlar la colocación de materiales y el desarrollo de partidas, como optimizar el uso de agua, el paso de rodillos compactadores mediante la medición en tiempo real de la humedad y densidad del terreno.</p> <p><b>Automatización y Seguridad:</b> El uso de equipos automatizados disminuye la influencia humana en las labores constructivas, reduciendo accidentes y aportando en la seguridad de los operarios.</p> <p><b>Sensores en infraestructura:</b> Dichos sensores en colaboración con sistemas de comunicación y transferencia de datos permite la toma de decisiones en tiempo real por parte de los profesionales y de forma remota.</p>
Marcos González	<p>El profesional hace referencia a las labores de gestión y dirección del proyecto en la etapa constructiva, destacando las siguientes actividades a modificar:</p> <p><b>Programación eficiente de Obras:</b> Programación sólida de las tarea a ejecutar, apoyado de software y métodos que permite anticipar cantidades de material a reciclar y gestión eficiente de recursos</p> <p><b>Planes de acción durante etapa Constructiva:</b> Al momento de desarrollar partidas claves, se pueden implementar planes de acción que permitan gestionar los recursos para un menor porcentaje de pérdida, considerando prácticas de reciclaje de materiales</p>	<p><b>Maquinaria especializada</b> para estructura de pavimentos, como tren pavimentador y cercha.</p> <p><b>Pavimentos prefabricados de Hormigón</b> que considere ductos y atraviesos.</p> <p><b>Inteligencia Artificial para diseño y dosificación de hormigones.</b></p>

Víctor Reyes	Transporte de materiales se debe considerar, ante grandes volúmenes es fundamental	Mezclas asfálticas tibias, áridos reciclados y artificiales, elementos prefabricados, diseño optimizado de estructuras, optimización del transporte y uso de energía.
Katherine Martínez	La profesional menciona las etapas de Diseño y Planificación de Proyectos como aquellas de mayor impacto para la implementación de cambios. Una vez iniciada la obra se tiene poco margen de cambios significativos al proyecto.	Se destaca el impulso de la <b>construcción industrializada</b> como una alternativa favorable en la construcción vial. Desarrollo de nuevos materiales tales como nuevas mezclas asfálticas o materiales de subbase con contenido de reciclado.

# Capítulo 5: Proyectos, metodologías y tecnologías viales sustentables – Casos de aplicación

## 5.1 Avances, proyectos y casos de aplicación

En lo que respecta a proyectos y casos de aplicación que promueven la ejecución de obras viales sustentables, se cuentan con algunas iniciativas impulsadas tanto por el Estado, a través de la dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, como también por empresas privadas asociadas al rubro de la construcción o cuya producción se encuentre ligada a proveer materias primas utilizadas en obras viales.

Las acciones emprendidas son variadas y van desde investigaciones en laboratorio hasta la creación de tramos experimentales, pasando por la implementación de soluciones innovadoras y la reintegración de recursos ya existentes en el ciclo de la construcción. Este enfoque integral busca no solo mejorar la eficiencia en la ejecución de obras viales, sino también reducir el impacto ambiental y fomentar la reutilización de recursos. En las próximas secciones, nos adentraremos en estas iniciativas y proyectos, proporcionando un análisis descriptivo de sus procedimientos, niveles de éxito y detalles que proporcionen valiosa información a considerar. Siendo el objetivo de este capítulo exponer las alternativas e innovaciones que se han realizado, sin profundizar en el detallamiento técnico o comportamiento estructural de los contenidos presentados.

### 5.1.1 Reutilización de material de pavimento asfáltico recuperado (RAP)

Dada la explotación creciente de recursos y materias primas claves en la industria constructiva, es que se ha innovado en las prácticas desarrolladas para la ejecución de proyectos, tanto en el ámbito de maquinarias como también de materiales. Ante lo anterior, se tiene como opción la utilización de pavimento asfáltico recuperado (RAP en inglés), cuyo uso en carreteras se ha convertido en una estrategia importante para ayudar a compensar el sobreuso de áridos naturales y cuyo uso logra revalorizar material dispuesto en obras viales que buscan ser mejoradas, reacondicionadas o mejorar su estándar.

Los materiales asfálticos recuperados durante operaciones de rehabilitación o reconstrucción pueden tener múltiples usos que ayudan a extender la vida útil de los materiales, siendo posible utilizarlos nuevamente en mezclas asfálticas como agregado y ligante complementario, o incluso como agregado en la elaboración de bases granulares en la carpeta estructural. Para ello inicialmente se debe recuperar el material a través de maquinaria especializada que permita fresar el asfalto a remover, o bien demoler dicho asfalto por medios mecánicos percutores y corte de la capa de rodante. Según el documento “*Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP)*” (Leiva Villacorta & Vargas Nordcbeck, 2017), la utilización de este procedimiento

estima un ahorro de hasta un 34% en un análisis de beneficio-costos en mezclas que contienen hasta un 50% de RAP en base a la proporción de peso total de la mezcla, adicionalmente se conserva la energía requerida para la ejecución de las partidas asociadas a la mezcla, se preservan los recursos naturales dado una menor necesidad de explotar empréstitos y se reduce la cantidad de residuos de construcción derivadas a vertederos.

Para el uso de esta práctica se debe tener especial énfasis en el manejo del material recuperado, específicamente en el almacenamiento de éste previo a su utilización en la mezcla. Las técnicas por utilizar deben considerar la eliminación de la contaminación, la separación de los apilamientos de RAP de diferentes fuentes, el procesamiento (trituración o fraccionamiento) del RAP, su almacenamiento en superficies pavimentadas e inclinadas para minimizar el contenido de humedad, y la caracterización del material en base a parámetros como el grado de desempeño, granulometría del material, gravedad específica, entre otros parámetros.

Adicionalmente, cabe mencionar algunos de los ensayos requeridos para el aseguramiento de la calidad del material en base al documento mencionado en párrafos anteriores, los cuales en forma resumida se exponen a continuación:

- Ensayos para evaluar el desempeño del ligante asfáltico.
- Ensayo de agrietamiento por fatiga.
- Ensayo para evaluar la susceptibilidad al daño por humedad.
- Ensayo de deformación permanente
- Análisis Termogravimétrico.
- Análisis de Calorimetría de Barrido Diferencial.
- Análisis Infrarrojo con Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier.
- Análisis de contaminantes en el RAP.

A nivel nacional, se cuenta con experiencias en el uso de material RAP para la confección de material utilizado como base estabilizada en obras viales de carreteras y aeroportuarias, siendo la Empresa Quilín un ejemplo de aplicación de la estrategia descrita. La Empresa Quilín, con una trayectoria de más de 42 años en el mercado, ha consolidado su posición como un actor fundamental en el ámbito de la ejecución, conservación y reciclaje de obras de pavimentación, así como en la fabricación de mezcla asfáltica. Su contribución a la industria no solo se mide en términos de longevidad, sino también en términos de impacto, se destaca la producción de más de 13 millones de metros cúbicos [m<sup>3</sup>] de áridos chancados, abarcando una amplia gama de productos, desde bases estabilizadas hasta ripio, arena gravilla, polvo de roca y arena, entre otros.

Dentro de las contribuciones e innovación en la construcción vial en Chile que ha realizado esta empresa, se mencionan los siguientes proyectos ejecutados:

### **Región de Valparaíso**

- **Recuperación y reciclaje de pavimento y base existente en planta de pista aeropuerto de Mataverí, Isla de Pascua (Rapa Nui, 2023):** Para efectos de este proyecto se recicló el 100% del asfalto y base existente en la pista del aeropuerto, cuya ejecución equivale a un ahorro de 26.000 toneladas [ton] de áridos nuevos, si consideramos una densidad aproximada de 2.4 ton/m<sup>3</sup> para un árido nuevo, se tiene que el volumen ahorrado es equivalente a algo más de 3 piscinas olímpicas, cuyo volumen estimado es de 3.375.000 [m<sup>3</sup>]. Debido a la condición insular

del territorio donde se emplazaron los trabajos, se considera esta obra un gran aporte a la sustentabilidad y optimización de recursos, además de un plan logístico eficiente entre la Dirección de Aeropuertos y Pavimentos Quilín Ltda.

### **Región Metropolitana**

- **Apertura y Pavimentación con RAP en frío de ampliación Av. Diagonal Las Torres (Peñalolén, 2012).**
- **Recuperación y reciclaje de pavimento y base existente in situ de pista de aeródromo Tobalaba, utilizando emulsión asfáltica (La Reina, 2020):** Las obras ejecutadas corresponden a la aplicación de carpeta asfáltica elastomérica, cuyo espesor fue de 5 [cm], y adicionalmente se realizaron trabajos de reciclado del pavimento existente, cuyo material fue utilizado en conjunto con base estabilizada y emulsión CSS1H para las labores de asfaltado en la pista principal “01/09”, pistas de rodaje “Kilo”, “Bravo” y “Charlie”.

Según palabras del Subsecretario de Obras Públicas de aquel entonces, Cristóbal Leturia, las obras entregadas corresponden a una *“Técnica verde, donde la antigua pista fue demolida y ese mismo material se utilizó como base para la pista que vemos hoy, una pista reciclada, que reduce la huella de carbono, de primer nivel y que respeta nuestro planeta”* (DGAC, 2020), dichas palabras cobran sentido al considerar las estimaciones iniciales del proyecto por parte del mandante en las etapas de licitación (MOP), quien en base al itemizado adjunto en la página de mercado público, indica que las obras correspondientes a “Base Reciclada y estabilizada con emulsión asfáltica in-situ” ascienden a 3711 [ $m^3$ ]. (MOP & DGAC, 2020), lo cual se logra ejemplificar en la planimetría del proyecto, la cual permite dimensionar la magnitud de las labores ejecutadas.





*Figura 5.1: Extractos de “Plano general situación inicial” y “Zonificación Tratamientos de Conservación” Aeródromo Eulogio Sánchez.*

*Fuente: (MOP & DGAC, 2020)*

Se observa que, en base a la leyenda de la planimetría expuesta, las áreas a intervenir con nueva superficie asfáltica en colaboración con base reciclada/estabilizada corresponden a las mencionadas al inicio de este caso ejemplo, distinguiéndose con un achurado gris que presenta diagonales ascendentes desde la zona inferior izquierda, hasta la zona superior derecha del área destacada.

### Región del Biobío

- **Recuperación y Reciclaje en planta de base granular en planta en ruta 160 incorporando cemento (Región del Bío Bio, 2019):** Dicha ruta, que une las comunas de Concepción con Lebu.
- **Recuperación y reciclaje de pavimento y base existente en planta de pista de aeródromo María Dolores, utilizando emulsión asfáltica (Los Ángeles, 2020).**
- **Recuperación y reciclaje de base estabilizada existente in situ de Ruta P-500, incorporando RAP y emulsión asfáltica (Cañete, 2022).**

A modo de resumen, se muestra en la siguiente figura los proyectos ejecutados por la empresa en los cuales han logrado implementar técnicas de reciclaje de materiales en obra para su posterior uso in situ.



Figura 5.2: Proyectos sustentables desarrollados por Empresa Quilín.

Fuente: (Quilín, 2023)

Respecto al uso de material con contenido de RAP, como lo son su uso en la producción de pavimentos en sitio, o su procesamiento en planta, se logran identificar una serie de ventajas y desventajas tanto económicas, como técnicas, medioambientales y energéticas. Para efectos de este trabajo se dará especial énfasis a los factores medioambientales y energéticos que presenta el procesamiento y utilización de estos materiales (Marín, 2016):

#### Ventajas y desventajas medio ambientales:

- El RAP puede ser considerado como una fuente artificial de agregados pétreos, con alto potencial de utilización según la calidad del material, permitiendo así la dependencia de las obras viales a la cantidad de agregados vírgenes para la fabricación de mezclas asfálticas, preservando canteras y conservando fuentes naturales de agregados como riveras de ríos, empréstitos de montañas cerros, entre otros.
- Un menor requerimiento de asfalto virgen para la producción de mezcla asfáltica permite menor necesidad de asfalto en planta de producción, reduciendo así la cantidad de viajes realizados desde planta y así contribuyendo a una disminución de los gases contaminantes productos de esta actividad.
- La reutilización del material dentro de la construcción permite disminuir los viajes de traslado destinado a botaderos, generando una disminución de los gases contaminantes y disponiendo las zonas destinadas a botaderos para otros fines.
- Dependiendo de la técnica utilizadas para la recuperación de RAP, puede existir contaminación ambiental por el medio aéreo a través de partículas en suspensión y ruido durante la extracción, por lo que se debe monitorear y controlar adecuadamente su producción.
- Posibilidad de sobrecalentamiento del RAP durante producción de mezclas asfálticas recicladas en caliente al no tenerse los filtros adecuados.

**Ventajas y desventajas de consumo energético:**

- Dependiendo de técnica de reciclado empleada en base a la maquinaria utilizada existe un ahorro energético, maquinaria que procesa este material in-situ en base a material reciclado presenta ahorros energéticos.
- Utilización de RAP en mezcla asfáltica caliente (MAC) puede contribuir en ahorro de energía de un 15% hasta un 40%, equivalente a la energía requerida para el transporte de agregados y asfaltos vírgenes desde plantas de producción.
- Altas incorporaciones de RAP conllevan a sobrecalentamiento de agregados vírgenes para adecuada incorporación a la mezcla, requiriendo un mayor consumo de combustible y por consiguiente mayor energía. Existe estudio en el cual mezclas asfálticas con contenido de RAP de 20% y 70% de su masa presentaron un ahorro de 6.7% y 13.5% respectivamente en las emisiones de gases contaminantes (Marín, Pavimentos Asfálticos de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a Través de un Modelo Físico Experimental, 2016).

## 5.1.2 Método Rubblizing o Fracturación por Resonancia

El método constructivo denominado como “Rubblizing” o “Fracturación por Resonancia” en español, corresponde a una tecnología de reciclado in-situ de pavimentos de concreto, utilizada para la reutilización de pavimentos existentes formados por losas de hormigón. La finalidad de esta técnica es convertir la losa existente en una base granular de altas prestaciones y comportamiento mecánico a partir de la fracturación del hormigón de pavimento en trozos angulares y entrelazados, utilizando para ello una maquinaria especializada denominada “Rompedor Resonante” el cual mediante un martillo rompedor aplica una carga vibratoria de alta frecuencia y baja amplitud en la superficie del pavimento, siendo ésta una de las técnicas con mejor relación entre costo y efectividad.

A diferencia de otras técnicas, el método de Rubblizing es la única que no utiliza energía potencial para la fracturación del concreto, sino que la fractura se produce por energía resonante que provoca una grieta desde la superficie que posteriormente se va ampliando hasta la interfaz de la capa de concreto con la siguiente capa inferior, la cual no presenta alteraciones dada una disipación de la energía del 100%.

Para la aplicación de esta metodología, existen 2 variables que difieren entre ellas respecto a la forma de aplicar la energía por parte de la maquinaria especializada, siendo éstas el **Rubblizing por medio de martillo de caída (Drop Hammer)** y **Rubblizing por medio de rompedor resonante.**, cuyo detalle se expone a continuación en base a lo indicado por Julio Aguirre en su estudio denominado “*Diseño estructural y análisis de método Constructivo de Pavimento para Proyecto Municipal de Remodelación Avenida Independencia – Pichidegua*” (Aguirre Leiva, 2021).

### - **Rubblizing por medio de martillo de caída (Drop Hammer)**

El Drop Hammer corresponde a una maquinaria utilizada para la fisuración de losas de hormigón a través de la caída de martillos sobre dichas estructuras. Posee entre 12 a 16 martillos cuyo peso varía entre 455 y 680 kilogramo fuerza [Kgf] cada uno y dispuestos de a pares en 2 filas colindantes. Esta maquinaria permite realizar 35 ciclos de impacto por minuto como máximo, cuya amplitud de energía liberada es tal que puede afectar las capas subyacentes a la losa dada la caída de los martillos, siendo ésta una de las desventajas de su aplicación. Adicionalmente se requiere de una compactación adicional de los elementos fisurados mediante el uso de rodillo vibrador luego de ejecutar la trituración de la losa. A continuación se presenta una figura esquema del funcionamiento del Drop Hammer.

## FUNCIONAMIENTO DEL DROP HAMMER

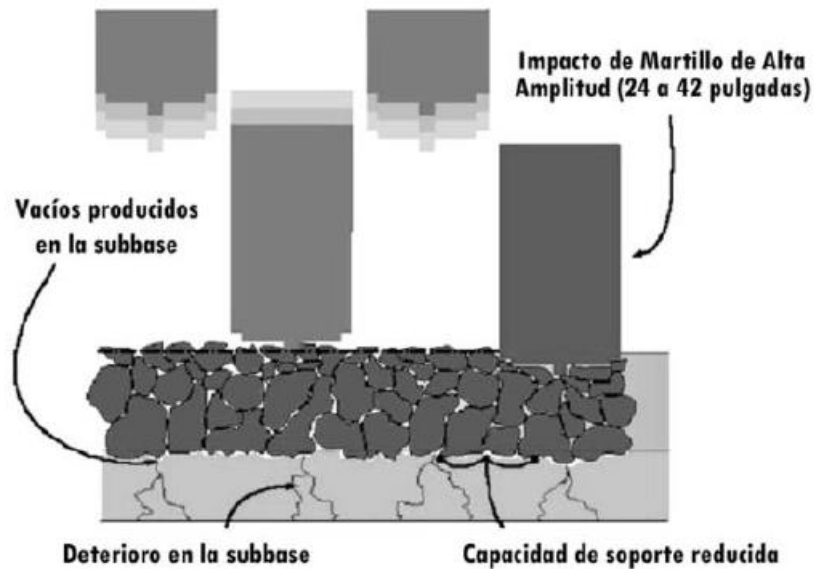


Figura 5.3: Aplicación de Drop Hammer, como método para producir trituración /pulverización del pavimento.

Fuente: (Aguirre Leiva, 2021)

### - Rubblizing por medio de rompedor resonante

Por otro lado, la tecnología de Rubblizing por medio de la trituración/pulverización presenta una alternativa de mejor desempeño en comparación con las otras metodologías de rehabilitación y demolición de pavimentos. Su forma de operar es similar a la antes descrita, con la diferencia de que el número de ciclos realizados aumenta considerablemente a 45 golpes por segundo (45 Hz) o 2700 golpes por minuto, cuya amplitud entre la superficie que cae y el pavimento es tan solo de 2 centímetros, lo cual permite obtener una capa granular de alta capacidad estructural, excelente comportamiento frente al agua y sin alteraciones originales a la subbase existente. Adicionalmente no se presentan alteraciones ni afectaciones a la subbase granular o subrasante ubicadas en niveles inferiores a la losa debido a que se distribuye completamente la energía a la losa triturada sin traspaso a otras capas. A continuación se presenta una figura que esquematiza el funcionamiento de la trituración/pulverización mediante rompedor resonante y la afección que experimenta la losa de hormigón.

## TRITURACIÓN/PULVERIZACIÓN RESONANTE

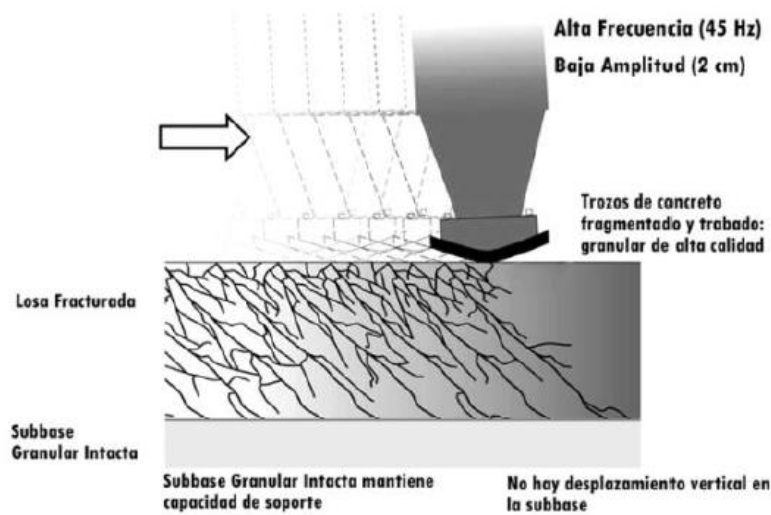


Figura 5.4: Aplicación de Drop Hammer, como método para producir trituración /pulverización del pavimento.

Fuente: (Aguirre Leiva, 2021)

### 5.1.2.1 Aplicación Rubblizing en vialidad chilena

A nivel nacional, el reciclado de pavimentos de hormigón mediante Rubblizing ha sido utilizado en proyectos de mejoramiento de infraestructura vial, con una tasa de rendimiento considerablemente alta, llegando a los 7.000 [m<sup>2</sup>] de superficie procesada por día, y una rápida entrega al tránsito usuario de la vialidad. Dentro de los proyectos donde se ha implementado esta tecnología se destacan los siguientes (Sandoval, 2016):

- **Concesión Autopista Concepción – Cabrero:** Para efectos de esta concesión, se consideró la pulverización de pavimento de hormigón (Rubblizing), su posterior compactación y colocación de carpeta asfáltica entre los tramos Dm. 68.000 – Dm. 70.000.

### 5.1.2.2 Aplicación Rubblizing en el extranjero

- Autopista del Sol – Costa Rica: La aplicación de esta solución constructiva permitió rehabilitar un pavimento de hormigón que presentaba claras muestras de “pumping”

### 5.1.3 Asfalto Espumado o Mezclas Templadas

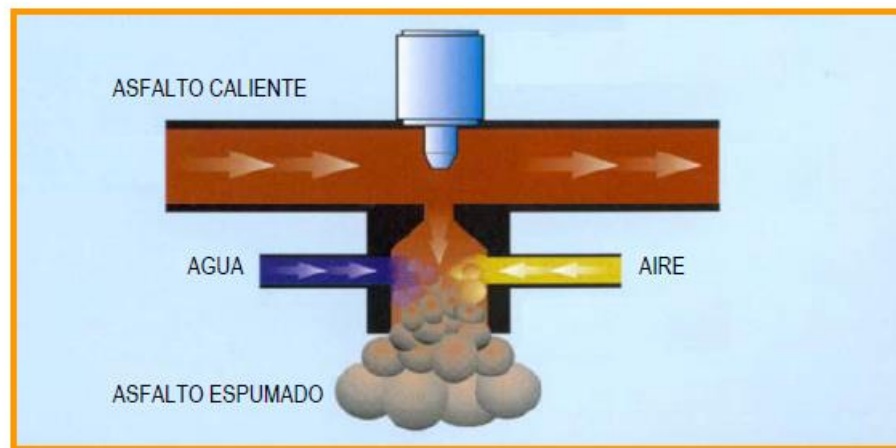
El asfalto espumado corresponde a una técnica de pavimentación relativamente nueva en su uso, y cuya producción difiere a los sistemas tradicionales. Su comportamiento estructural es similar a una mezcla de asfalto tradicional, sin embargo, difiere en su estructura interna.

El desarrollo de dicha tecnología se remonta al año 1956, específicamente desarrollada en la Universidad de IOWA, cuyo procedimiento de producción consistió en la inyección de vapor para formar la espuma; posteriormente fue la empresa Mobil Oil quien adquirió los derechos de la

invención y mejoró esta técnica al desarrollar la primera cámara de expansión que mezcla agua fría con asfalto caliente para la producción de espuma. No fue hasta el vencimiento de dicha patente en el año 1991 cuando la producción y aplicación de esta metodología se hizo masiva.

Según lo indicado por Guillermo Thenoux y Andrés Jamet en su revisión bibliográfica denominada “*Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla*” (Thenoux & Jamet, 2002), desde el punto de vista constructivo, el empleo de nuevas técnicas y equipos de construcción desarrollados para este tipo de aplicación confiere ventajas asociadas a factores energéticos y ambientales.

Su proceso de producción se logra mediante la inyección de una pequeña cantidad de agua fría (1 a 2 % del peso de asfalto a utilizar) y aire comprimido a una masa de asfalto caliente, cuya temperatura se encuentre entre 160°C y 180°C dentro de una cámara de expansión, generando una espuma de forma espontánea. Dicho procedimiento se expone en la figura a continuación.



*Figura 5.5: Cámara de expansión producción de Asfalto Espumado.  
Fuente: (Thenoux & Jamet, 2002)*

Respecto a la producción de mezclas utilizando asfalto espumado, el agregado a utilizar, sea éste de carácter virgen o reciclado debe ser incorporado mientras el asfalto se encuentre en estado de espuma, dado que al desintegrarse las burbujas presentes en la espuma, las gotitas de asfalto se aglutinan con las partículas más finas del agregado, generando así una pasta de filler y asfalto que permite actuar como una especie de mortero entre las partículas más gruesas del agregado. Siendo dicho proceso esencial para alcanzar las propiedades mecánicas del material.

Dentro de las aplicaciones en las que se puede implementar este material, se encuentra el reciclado en frío de pavimentos asfálticos y la estabilización de suelos, detallándose lo siguiente. (Thenoux & Jamet, 2002)

- **Reciclado en frío de pavimentos asfálticos**

Mediante la recuperación de pavimento asfáltico existente o RAP, el cual es mezclado con el asfalto espumado y con agregados nuevos en caso de ser necesario, se puede elaborar una base asfáltica colocada tanto en el mismo lugar de recuperación de RAP como en otra localización. Para ello se debe considerar un equipo fresador-mezclador que disgregue el material, el cual puede incluir agregados aportados por base y subbase granular que deben ser considerados al momento de la implementación de la tecnología in situ el cual tenga la capacidad de remover, triturar, mezclar el material recuperado y por último disponerlo nuevamente posterior a la elaboración de la mezcla.

- **Estabilización de suelos**

Aquellos suelos que presenten una baja plasticidad relativa cuyo origen puede provenir de caminos sin pavimentar, o contener áridos de nuevos pozos, tienen la opción de ser tratados mediante esta tecnología, en donde se debe utilizar agregados recuperados en conjunto con áridos nuevos que mejoren la granulometría disponible y por consiguiente se obtengan mezclas de bajo costo.

Finalmente, se debe considerar el sello de la vialidad ejecutada mediante esta tecnología, correspondiente a la carpeta de rodado, ante lo cual se puede implementar lechada asfáltica, sello de agregados, carpeta asfáltica, entre otras opciones.

Otras ventajas por considerar respecto a la producción de mezclas asfálticas tibias en comparación con la producción de mezclas asfálticas en caliente (sistema tradicional) son las siguientes:

- Reducción de emisiones.
- Reducción del gasto energético al no requerir grandes temperaturas.
- Posibilidad de transportar mezclas por mayores distancias dado bajo enfriamiento.
- Posibilidad de incluir mayor contenido de RAP.

En relación con la temperatura de fabricación de las mezclas asfálticas, se tiene una relación directa entre el incremento de la temperatura de fabricación y un aumento en la producción de gases de efecto invernadero (kg CO<sub>2</sub> emitidos) dado mayor cantidad de combustible requerido para secar el agregado, evaporar la humedad residual y alcanzar la temperatura de mezcla.

En base a lo anterior, se presenta la siguiente figura que expone la clasificación de las mezclas según su temperatura de fabricación, identificándose las “Mezclas medio tibia”, “Mezclas tibias” y Mezclas calientes” en compañía de las temperaturas requeridas según sea el tipo.



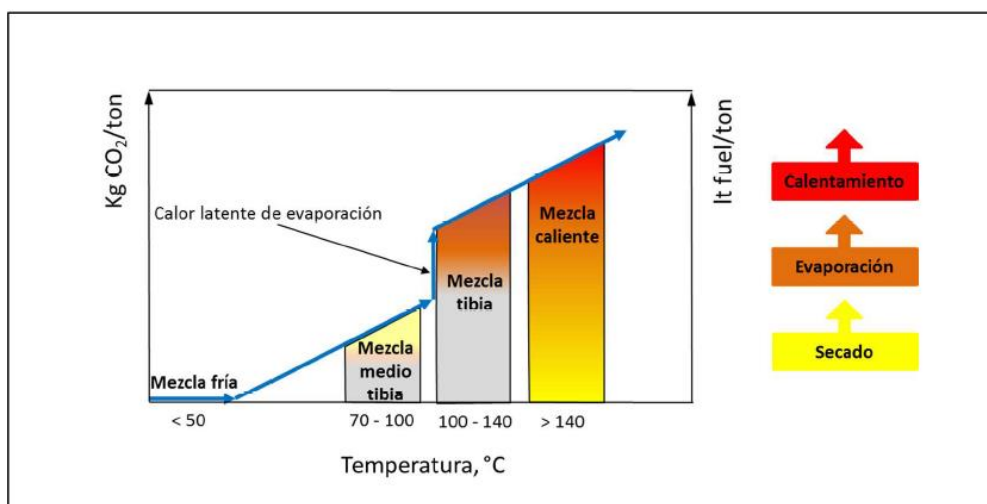


Figura 5.6: Tipos de mezclas asfálticas en base a su temperatura de fabricación.  
Fuente: (Marín, 2016)

#### 5.1.3.1 Aplicación mezclas templadas en vialidad chilena

A nivel nacional, la aplicación de mezclas templadas con emulsión Superestabilizada ha sido utilizada para el mejoramiento de estándar de la carpeta de rodado en variadas carreteras y obras viales. Dentro de los proyectos donde se ha implementado esta tecnología se destacan los siguientes (Sandoval, 2016):

- **Concesión Ruta 5, Tramo La Serena – Vallenar:** En marco de un proyecto I+D Corfo denominado “*Proyecto Pasos – Investigación y Desarrollo de nuevos pavimentos asfálticos*” la filial SACYR Chile desarrolló las labores de asfaltado en un sector del tramo mencionado anteriormente, en el cual se fabricaron mezclas a temperaturas cercanas a  $100^{\circ}\text{C}$ , incorporando hasta un 43% de RAP en dichas mezclas.

#### 5.1.3.2 Aplicación mezclas templadas en el extranjero

A nivel internacional, se han construido tramos experimentales en varios estados de Estados Unidos, utilizando variados aditivos para su confección, destacándose los siguientes (Lesme Brun, 2015):

- **Florida, USA (2005):** Producción de mezclas asfálticas en caliente (MAC) y mezclas asfálticas tibias (MAT) con adición de zeolita, aplicándolo en un tramo experimental de 3,2 km.
- **Iowa, USA (2008-2009):** Construcción de 4 tramos experimentales utilizando diferentes técnicas o aditivos para la fabricación de mezclas asfálticas tibias (MAT), siendo éstas Evotherm, Revix, Sasobit y Double Barrel Green Foam.
- **Nebraska, USA (2008):** Construcción de tramos experimentales empleando aditivos Evotherm y zeolita para fabricación de mezclas asfálticas tibias (MAT), evaluados durante 2 años con desempeños adecuados sin presencia de grietas u otro tipo de fallas.

#### 5.1.4 Pavimentos articulados de bloques asfálticos con RAP

Continuando con el uso del RAP en la ejecución de obras viales, pero desde otro sistema constructivo, se tiene la utilización de pavimentos articulados elaborados en base a bloques asfálticos que contienen material RAP al momento de su producción. Dichos bloques de hormigón llevan varios años de existencia y aplicación, presentándose como una alternativa de elemento prefabricado y cuya producción es de carácter industrializado, permitiendo así disponer de todas las ventajas que presentan este tipo de soluciones, como lo son las terminaciones de construcción con mayor garantía de calidad, posibilidad de almacenamiento en bodegas y facilidad de transporte ante futuras reparaciones.

Desarrollados inicialmente en Holanda a finales de 1940, en reemplazo a las existentes calles de ladrillo de arcilla, y establecido en el Sur y Centro de América a mediados de 1960, este tipo de pavimentos ha permitido configurar superficies decorativas y atractivas a los usuarios de vialidad principalmente urbanos, como aplicaciones en centros comerciales, vías urbanas e industriales. Su uso se ha extendido desde pavimentos articulados extendidos en zonas residenciales hasta espacios de grandes solicitaciones de carga como pavimentos portuarios o en aeropuertos. (Marín, Pavimentos Asfálticos de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a Través de un Modelo Físico Experimental, 2016)

Según lo indicado en la Tesis doctoral “Pavimentos Articulados de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a través de un modelo físico Experimental” (Marín, Pavimentos Asfálticos de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a Través de un Modelo Físico Experimental, 2016), la utilización de pavimentos articulados presenta una serie de ventajas y limitaciones

##### **Ventajas de aplicación:**

- Bloques no experimentan fractura por fatiga, al no transmitir esfuerzos de momento entre elementos durante el tránsito.
- Rápido periodo de transición entre la puesta en operación de la vialidad y la finalización de instalación de los bloques no requiere procesos de curado o similar.
- Rápido reemplazo de piezas en caso de reparación o de acondicionamiento, fácil acceso a los servicios existentes que pasan por debajo de la vialidad (agua, electricidad, sanitario, etc.)
- Permiten la instalación artesanal o mecánica con equipo especializado.
- Bloques pueden ser reutilizados y/o reciclados, reduciendo los desechos de materiales de construcción.

##### **Limitaciones al momento de su aplicación:**

- Ante inadecuados procesos de confinamiento de los bloques, éstos pueden desplazarse y generar espacios entre ellos que impidan su trabazón y afecten a capacidad estructural.
- Requieren de programas de mantenimiento y control periódicos de operatividad, eliminando malezas, especies vegetales y contaminantes que pueden acumularse en las juntas de los bloques.

- No son recomendables para vialidades cuya velocidad de tránsito sean superiores a 60 km/h, dado la generación de ruido durante el paso de vehículos por sobre los bloques, afectando tanto al usuario como comunidades vecinas.
- Dada la posibilidad de colocación de esta alternativa por medio artesanal (mano de obra), puede darse el caso de que la mano de obra encargada de la colocación no esté calificada, requiriendo así supervisión y control estricto de las faenas.

Respecto al uso de esta tecnología a nivel nacional, se tiene la construcción de un tramo de prueba para una investigación desarrollada por la Universidad Católica de Chile denominada “*Pavimentos de bloques asfálticos para vías de bajo volumen de tránsito*” (Marín, Thenoux, Saldaña, & Lucero, 2018), el cual fue construido en cooperación de la empresa Quilín Asfaltos mencionada en apartados anteriores. La obra localizada en un área propiedad de la misma empresa, y cercana a la Ruta 68 y al sector poblado de Noviciado, contó con un ancho de 4 metros y una longitud de 20 metros.

El ancho de la vialidad mencionada fue dividido en dos pistas o carriles de 2 metros de ancho cada uno, a los cuales le correspondían diferentes tamaños de bloques de hormigón fabricados. Se estimó que los bloques debían soportar una condición de carga de 20 KN equivalentes a un eje estándar de rueda doble, y una presión de inflado de neumático que oscila entre los 520 y 690 KPa. A partir de los requerimientos anteriores se determinó la utilización de 2 tipos de bloques:

- Bloque de sección cuadrada de 20 cm x 20 cm.
- Bloque de sección rectangular de 25 cm x 15 cm.

Cada tipo de bloque poseía 3 variantes internas, las cuales dependían del contenido de RAP utilizado para su elaboración, donde se utilizaron las configuraciones de mezcla de 0% RAP, 15% RAP, 25% RAP en base al peso de la mezcla.

La elaboración de este tramo de pruebas permitió la colaboración entre instituciones académicas y empresas privadas, generando así bloques asfálticos con incorporación de RAP desarrollado de manera no tradicional, que si bien es un método provisorio y viable, debe ser ajustado para garantizar no solo la producción en masa de los bloques, sino las tolerancias de sus dimensiones según el requerimiento de su diseñador (Marín, Thenoux, Saldaña, & Lucero, 2018).

## 5.2 Avances, proyectos y casos de aplicación Internacional

Si bien existe una serie de innovaciones realizadas a nivel internacional, cuya idealización e inversión de recursos viene tanto del mundo académico como así de iniciativas privadas, para efectos de este trabajo se destacan 2 proyectos desarrollados de fácil implementación a nivel nacional, los cuales se exponen a continuación.

### 5.2.1 Mezclas Asfálticas elaboradas con plásticos reciclados

En Argentina, el Laboratorio Vial-IMAE-FCEIA-UNR ha desarrollado diferentes proyectos que buscan el estudio y análisis de mezclas y materiales a partir del empleo de residuos los cuales pueden ser utilizados en la industria vial. Dentro de dichos proyectos se encuentra uno enfocado en el uso de plásticos reciclados provenientes de Silo Bolsa y envases de Fitosanitario en mezclas asfálticas, aportando así a la sustentabilidad del medio ambiente y revalorizando residuos y materiales sobrantes de la cadena productiva de otras industrias.

En base a la literatura recopilada en el estudio denominado “*Carreteras Sustentables- Tramo Experimental con mezclas asfálticas*” (Cauhape, y otros, 2021) se identifica que el uso de plásticos compuestos por polietileno de alta densidad reciclado como modificador de asfaltos proveen mejor resistencia las deformaciones permanentes en mezclas asfálticas utilizado para pavimentos flexibles, el cual debe ser administrado mediante vía húmeda a la mezcla para obtener un cemento asfáltico modificado. Adicionalmente, se consideró que las propiedades reológicas de las mezclas presentan un significativo cambio a medida que aumenta el porcentaje de plástico incorporado.

Dicho estudio contribuye directamente a la reutilización de nuevos procedimientos de fabricación de materiales, considerando que del total de residuos sólidos generados en Argentina, un 15% de los residuos corresponden a plásticos urbanos, materiales difícilmente biodegradables, y que de dicho porcentaje, un 41% corresponde a polietileno de baja densidad (Cauhape, y otros, 2021). Adicionalmente, se estima que los residuos rurales generados en dicha nación que incluyen plásticos provenientes de silos bolsa y bidones alcanzan un total de 70.000 toneladas por año (Cauhape, y otros, 2021), desechos que en su mayoría no poseen un proceso de tratamiento post uso y quedan dispuestos en las zonas rurales.

Ante esta realidad, el laboratorio desarrolló un tramo piloto en terreno, ubicado en la Ruta Provincial N°18 de la Provincia de Santa Fe. La elección de esta ruta se basa en el alto tránsito de camiones que experimenta la vialidad (tránsito de 3200 TMDA, con 25% de vehículos pesados), evaluando para ello la utilización de asfalto con incorporación de 2 tipos de plásticos:

- Pellets de Polietileno de baja densidad proveniente de Silos Bolsas, color negro, en forma de lenteja, con un tamaño aproximado de 4 mm, con una densidad media de 0.913Kg/dm<sup>3</sup>.
- Pellets de Polietileno de alta densidad proveniente de Bidones, color verde, en forma de lenteja, con el mismo tamaño que los SB, con una densidad media de 0.930Kg/dm<sup>3</sup>.

Dichos plásticos en formato de lenteja que fueron adicionados a la mezcla asfáltica se presentan en la siguiente figura.

SB: Pellets de Silo Bolsas



B: Pellets de Bidones



*Figura 5.7: Formato de plásticos reciclados adicionados a mezcla asfáltica.  
Fuente: (Cauhape, y otros, 2021)*

Como se mencionó anteriormente, la incorporación de dicho plástico debe ser mediante “vía húmeda” para obtener un “ligante asfáltico modificado”. Según los investigadores, la mejor aplicación de este tipo de materiales corresponde al uso como capa de base y no como capa de rodadura, siendo ésta la condición más desfavorable dado las cargas directas a las cuales se encontraría sometido. Para el tramo experimental se considera la construcción de 5 tramos con diferente composición de plásticos reciclados, detallándose a continuación:

- Tramo 1 con mezcla asfáltica elaborada con incorporación del plástico proveniente de SB, Silos Bolsas, por vía seca: **CAC-CA20+SBVS**
- Tramo 2 con mezcla asfáltica elaborada con asfalto modificado con el plástico proveniente de SB, Silos Bolsas, por vía húmeda: **CAC-CA20+SBVH**
- Tramo 3 con mezcla asfáltica elaborada con incorporación del plástico proveniente de B, Bidones, por vía seca: **CAC-CA20+BVS**
- Tramo 4 con mezcla asfáltica elaborada con asfalto modificado con el plástico proveniente de B, Bidones, por vía húmeda: **CAC-CA20+BVH**
- Tramo 5 de control con mezcla asfáltica elaborada con asfalto CA30: **CAC-CA30**

Donde la abreviación de las siglas corresponde a los siguientes materiales:

- SB: Plástico reciclado de Silo Bolsa compuesto por polietileno de baja densidad.
- B: Plástico reciclado de Bidones compuesto por polietileno de alta densidad.
- M: Micronizado.
- CA30: tipo de ligante asfáltico de control.
- CA20: tipo de ligante asfáltico de base.
- VS: Incorporación de plástico por vía seca.
- VH: Incorporación de plástico por vía húmeda.

Se consideró la ejecución de 5 tramos experimentales dispuestos en uno de los carriles de la vialidad para el estudio de las mezclas mencionadas anteriormente, cada uno de ellos de una extensión de 100 m. Por otro lado, en el carril opuesto se consideró exclusivamente la utilización de 1 tipo de material para evaluar su desempeño, cuya distribución total se expone a continuación.

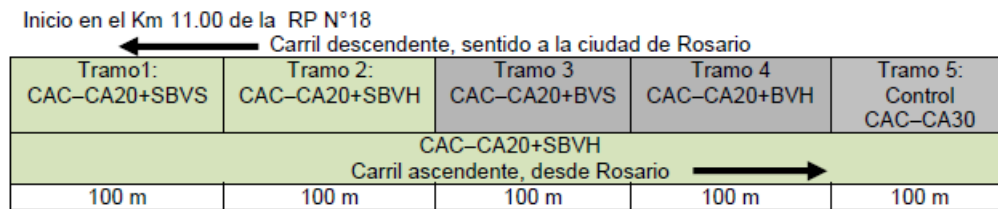


Figura 5.8: Disposición final de mezclas con plástico reciclado en tramo experimental.

Fuente: (Cauhape, y otros, 2021)

Durante la fase constructivas se realizaron una serie de ensayos que permitieron monitorear el comportamiento de la mezcla dispuesta, donde se deben realizar ensayos a los diferentes materiales que componen la mezcla, incluyendo:

- Ensayos sobre ligantes asfálticos de base y control.
- Ensayos sobre ligantes asfálticos modificados.
- Penetración y punto de ablandamiento de los asfaltos modificados.
- Viscosidad mediante Viscosímetro Rotacional
- Recuperación elástica torsional.
- Ensayo DSR.
- Ensayo MSCR.
- Ensayos sobre mezclas asfálticas colocadas (Densidad, % vacíos, Fluencia, entre otros).

Como conclusión del trabajo realizado, éste correspondió a la primera experiencia in situ en Argentina utilizando mezclas asfálticas con la incorporación de plásticos reciclados, en donde el uso de este tipo de materiales requiere de mejores cuidados del manejo de sobrecalentamiento de la mezcla, y que no se produzcan bruscas pérdidas de temperatura durante su colocación previo a la compactación del material, teniéndose que el enfriamiento de la mezcla por debajo de los 140°C durante la compactación impide una terminación superficial de calidad y produce un exceso de vacíos que afectan al comportamiento del material durante la fase de explotación de la vialidad (Cauhape, y otros, 2021).

Aquellos tramos construidos con plástico incorporado por vía seca (VS) sufrieron desprendimiento a los 14 meses, de servicio, mientras que los tramos compuestos por plásticos administrados por vía húmeda (VH) no presentaron deterioros visibles durante la última inspección realizada a los 22 meses luego de su construcción, por lo que se considera como un valioso antecedente para ser replicado este tipo de materiales en caminos de mediano y alto tránsito vehicular.



## 5.2.2 Gestión de RCD en Etapa Constructiva de nuevo acceso al Hospital de Cruces desde Carretera BI-10, dirección Bilbao

Pasando a otro ejemplo de práctica sustentable durante la ejecución de obras viales, se tiene el caso de un “Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición” durante desarrollo de un proyecto de conectividad vial, que permite una salida desde la Ruta BI-10 hacia el hospital de Cruces, ubicado en el municipio de Baracaldo, España. Dicho plan se refleja en un informe técnico desarrollado durante las etapas de adjudicación del proyecto, en el cual la empresa contratista dispuso de información que cuantifica los residuos estimados a generar durante la construcción de la vialidad solicitada.

Respecto a información de la fase constructiva del proyecto, éste se ejecutó en un periodo cercano a 1 año y se invirtieron alrededor de 3.9 millones de euros para su culminación, permitiendo así a los 175.000 habitantes de Ezkerraldea y Meatzaldea gozar de un acceso directo al recinto hospitalario y los servicios de emergencia, quienes previo al proyecto debían utilizar rutas más largas, congestionando la vialidad colindante y aumentando el riesgo de accidentes (Gobernación de Vizcaya, 2023).



Figura 5.9: Situación inicial de acceso a Hospital de Cruces y nuevo acceso previsto en el proyecto.

Fuente: (Gobernación de Vizcaya, 2021)

La imagen anterior expone el recorrido que debían realizar los habitantes que requieren acceder al hospital desde la ruta BI-10 en dirección a Bilbao y las maniobras necesarias para llegar a destino, en conjunto con la solución prevista por las autoridades.

El plan de gestión de residuos consideró exclusivamente aquellos residuos generados en obra que son mencionados en la “Lista Europea” establecida en la orden MAM/304/2002, identificando inicialmente las siguientes obras susceptibles a generar residuos (Gobernación de Vizcaya, 2021):

- Trabajos de Excavación.
- Demolición de obras de fábrica existente.
- Suministro de Materiales a la obra que podrán estar envasados en recipientes que una vez utilizados serán convertidos en residuos.
- Excedentes de las labores de hormigonado.
- Residuos de madera de recortes procedentes de los encofrados.
- La actividad en obra de los trabajadores y generación de residuos asimilables a domiciliarios.
- Excedentes de labores de pavimentado.

Para la estimación de los datos de partida y volúmenes de RCD a generar, la empresa adjudicada del contrato se basó en las mediciones de materiales del presupuesto de ejecución, y se desestimaron aquellos materiales cuyas estimaciones en proyecto resultan de unidades enteras indivisibles, que pueden ser sobrantes (como arquerías, postes, soleras, etc.) y reutilizadas en futuros proyectos o devueltas al proveedor.

Luego de dicha investigación, y utilizando la metodología indicada en la “*Guía metodológica para la elaboración de proyectos de demolición selectiva de la CAPV*”, se determinaron las siguientes cantidades de residuos a generar en obra.



Código LER	Residuo	m <sup>3</sup> de RCD	Densidad media (tn/m <sup>3</sup> )	Tn de RCD
<b>RCD NIVEL I</b>				
170504	Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03	1.552,97	1,25	1.941,21
<b>RCD NIVEL II Naturaleza no pétreo</b>				
170302	Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla <10%	292,44	1,3	380,17
170201	Madera	126,05	0,6	75,63
170407	Metales mezclados	37,82	1,5	56,72
030308	Papel y cartón	25,21	0,9	22,69
170203	Plástico	63,03	0,9	56,72
170202	Vidrio	2,52	1,5	3,78
170802	Yeso	0,00	1,2	0,00
<b>RCD NIVEL II Naturaleza pétreo</b>				
170101	Hormigón	168,91	2,5	422,28
170103	Cerámicos	75,63	1,5	113,45
170904	Otros residuos de construcción y demolición	100,84	1,25	126,05
<b>RCD NIVEL II Potencialmente peligrosos y otros</b>				
200301*	Mezcla de residuos municipales	12,61	0,9	11,34
170605*	Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas	9,45	0,5	4,73
170903*	Absorbentes, materiales de filtración [incluidos los filtros de aceite no especificados en otra categoría], trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	8,19	0,5	4,10
150202*	Líquidos de limpieza y licores madre acuosos (Sobranje de desencofrante)	7,56	0,5	3,78
130205*	Gases en recipientes a presión (incluidos los halones) que contienen sustancias peligrosas	15,76	0,5	7,88
160107*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	22,06	0,5	11,03
<b>TOTAL</b>		<b>2.521,05</b>		<b>3.243,58</b>

Figura 5.10: Residuos que se generarán en la obra del nuevo acceso al Hospital de Cruces.  
Fuente: (Gobernación de Vizcaya, 2021)

Inicialmente, la empresa encargada de la ejecución de la obra consideró medidas a adoptar para la prevención de generación de RCD, con el fin de disminuir en mayor cantidad posible las cantidades de material residual generado, para ello estimó lo siguiente:

### 1) Tierra:

- Las tierras generadas producto de las faenas constructivas serán utilizadas en la misma obra.
- Deben ser almacenados correctamente en predios cercanos o vecinos, evitando el movimiento de maquinaria sobre los montículos de almacenamiento para evitar compactación.

### 2) Naturaleza pétreo:

- Se evitará la generación de estos residuos como sobrantes de producción, aquel material que no sea colocado será devuelto al suministrador o proveedor en la medida de lo posible.
- Disponer dicho material sobre base dura para reducir los residuos, a la vez que sean separados de potenciales sustancias contaminantes.

### 3) Hormigones:

- Programar correctamente la llegada de camiones de hormigón para evitar principio de fraguado durante transporte.
- Aprovechar restos de hormigón fresco siempre que sea posible en zonas colindantes afectadas por deterioro producto del desarrollo de la obra, como accesos, zonas de tráfico, etc.

#### 4) Escombros minerales o vegetales

- Escombros vegetales acopiados en terreno con pendiente menor a 2%, distanciado a 100% de cursos de agua.
- Demolición de escombros para su posterior clasificación, los cuales luego de clasificarlos serán reciclados.
- Desbroce de especies, desde aquellas de mayor tamaño a las de menor tamaño.
- Aquellas ramas de menor tamaño y hojas sobrantes serán utilizadas para revegetar, mientras que los escombros vegetales serán destinados a compostaje.

#### 5) Madera

- Cortes requeridos para elementos de madera deberán ser realizados con precisión, aprovechando el máximo número de veces posibles el material.
- Correcto almacenaje de las maderas para protegerlos de la intemperie, humedad y agentes ambientales que potencien el deterioro de las piezas, evitando la generación de residuo.
- Acopio separado de este tipo de elementos, para su posterior reciclado o disposición de valorización.

#### 6) Plásticos, papel y cartón

- Compra de suministros consciente, evitando envoltorios innecesarios.
- Compra de materiales al por mayor en tamaños de envases tal que permita disminuir la generación de residuos de envoltorio.
- Dar preferencia a proveedores que envasan productos con sistema de embalaje que tiendan a disminuir residuos, o cuyos envoltorios tengan características de ser reciclados, biodegradables, o que puedan ser retornados para su reutilización.

Existen otros tipos de materiales incluidos en el plan de prevención de RCD, sin embargo los mencionados anteriormente corresponden a los más comunes presentes en obras viales en general.

Adicionalmente se consideran operaciones de reutilización, valorización y eliminación de residuos, siendo una de las acciones a implementar la colocación de puntos limpios dentro de obra, correspondiendo éstos a zonas de almacenamiento y acopio de materiales correctamente señalizados e identificados mediante un código de colores para cada tipo de residuos, tal como muestra la figura a continuación:

Verde	Azul	Amarillo	Marrón	Negro	Blanco	Rojo	Morado	Gris
Vidrio	Papel y cartón	Envases y plásticos	Madera	Neumáticos	Residuos orgánicos	Residuos peligrosos: aceites, filtros de aceite, toner, absorbentes	Pilas alcalinas y de botón	Inertes

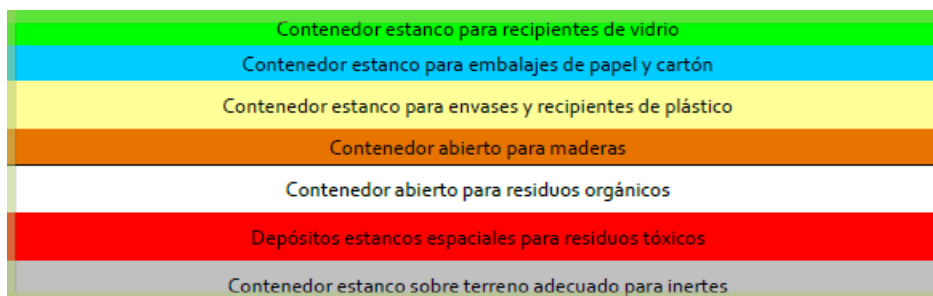
SEÑALÉTICA INTERIOR Y EXTERIOR								
MADERA	PLÁSTICO	VIDRIO	PAPEL Y CARTÓN	ORGANICO	CIENSO	ACEITES	METAL	BATERIAS

Figura 5.11: Código de colores y señalización para los contenedores ubicados en los puntos

*limpios de la obra.*

*Fuente: (Gobernación de Vizcaya, 2021)*

Se determinó utilizar como mínimo un punto limpio en las instalaciones generales de la obra con los siguientes contenedores.



El diagrama muestra una lista de siete tipos de contenedores, cada uno con un color distintivo y un texto descriptivo:

Contenedor estanco para recipientes de vidrio
Contenedor estanco para embalajes de papel y cartón
Contenedor estanco para envases y recipientes de plástico
Contenedor abierto para maderas
Contenedor abierto para residuos orgánicos
Depósitos estancos espaciales para residuos tóxicos
Contenedor estanco sobre terreno adecuado para inertes

*Figura 5.12: Características de los contenedores a utilizar para cada tipo de residuo.*

*Fuente: (Gobernación de Vizcaya, 2021)*

Dichos puntos limpios se contemplaron disponer sobre superficies impermeabilizadas, con solera de hormigón y su operación de recogida debe ser periódica y selectiva por gestores autorizados. Cada contenedor que componga el punto limpio debe estar pintado con colores que destaque su visibilidad, especialmente durante la noche, además debe indicar la información del titular del contenedor y/o empresa gestora de residuos.

Las entregas de residuos de construcción y demolición a los gestores de residuos externos a la obra deben ser constatada mediante documentos de respaldo en los cuales figure al menos:

- Identificación del poseedor de contenedores y de productor de residuos.
- Nombre o identificador de la obra de procedencia de los residuos
- Cantidad de residuos expresada en toneladas, metros cúbicos o en ambas unidades cuando sea posible, codificando el tipo de residuo con la Norma Europea Orden MAM/304/2002 del 8 de febrero, o aquella que la sustituya.

Por otro lado, aquellos residuos asimilables a domiciliarios deben ser gestados por preceptores previamente identificados y marcados en una base de datos dispuesta por la legislación y la autoridad municipal correspondiente.

Finalmente, en base a las cantidades de RCD declarados inicialmente, la empresa adjudicataria elaboró un coste previsto para una correcta gestión de RCD a generar durante las faenas constructivas, el cual incluye el alquiler de contenedores, coste de transporte, tasas y camiones de vertido, además de la gestión por parte de empresas externas. Dicho monto ascendió a una suma de veintiséis mil doscientos treinta y cinco Euros con setenta y ocho céntimos (26.235,78 €). Y su desglose se presenta a continuación.

Código LER	Residuo	T de RCD	m3 de RCD	Importe (€)
170504	Tierras y pétreos	1.941,21	1.552,97	-
170302	Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla <10%	105,54	292,44	4.450,96
170201	Madera	65,96	126,05	2.031,97
170407	Metales mezclados	7,92	37,82	609,59
030308	Papel y cartón	39,58	25,21	406,39
170203	Plástico	13,19	63,03	1.015,98
170202	Vidrio	3,78	2,52	40,64
170101	Hormigón	422,28	168,91	3.656,91
170103	Cerámicos	113,45	75,63	1.637,42
170904	Otros residuos de construcción y demolición	126,05	100,84	1.986,59
200301	Mezcla de residuos municipales	11,34	12,61	-
170101*	Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas	4,73	9,45	1.559,90
170103*	Absorbentes, materiales de filtración [incluidos los filtros de aceite no especificados en otra categoría], trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	4,10	8,19	1.351,91
170904*	Líquidos de limpieza y licores madre acuosos (Sobrante de desencofrante)	3,78	7,56	1.247,92
170101*	Gases en recipientes a presión (incluidos los halones) que contienen sustancias peligrosas	7,88	15,76	2.599,83
170103*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	11,03	22,06	3.639,77
COSTE TOTAL DE TRATAMIENTO DE LOS RCDs				26.235,78

Figura 5.13: Estimación de coste final en la gestión de RCD del proyecto.

Fuente: (Gobernación de Vizcaya, 2021)

El monto obtenido de forma concluyente en el plan de gestión de RCD elaborado por la empresa adjudicataria fue incluido dentro de las partidas presupuestarias contempladas del proyecto, por lo que la responsabilidad de la gestión de RCD fue compartida entre la constructora y el gobierno local de Vizcaya. La empresa ejecutante tomó un rol administrativo al encargarse del almacenamiento, clasificación y contacto entre las empresas gestoras autorizadas, mientras que el financiamiento de dicha acción fue desarrollado por el ente mandante del proyecto.

La situación expuesta anteriormente corresponde a un antecedente a considerar para el desarrollo de obras viales, en la cual ambas partes encargadas de un contrato unen recursos y capacidad logística para una correcta ejecución que vaya en línea con una construcción sostenible y disminuir así la cantidad de materiales y recursos que por malas prácticas o desincentivos terminan siendo dispuestos en zonas de vertederos y no son capaces de volver a entrar al ciclo productivo.

# Capítulo 6: Propuestas y planes de acción

Como se mencionó en un inicio, los proyectos viales se encuentran compuesto por variadas etapas, las cuales se desarrollan usualmente de forma secuencial, existiendo casos en los cuales se solapan algunas etapas como pueden ser Construcción y Explotación por ejemplo. Sin embargo, la etapa donde se toman el mayor número de decisiones y estudios que tendrán un mayor impacto en el proyecto es sin duda la etapa de Ingeniería conceptual (Anteproyecto y Estudio definitivo), en la cual se desarrollan los documentos bases para la posterior licitación de los proyectos, los cuales han de ser considerados por las empresas constructoras y entes ejecutantes que deseen participar en el desarrollo del proyecto.

Actualmente, los factores social y económico son los más influyentes al momento de decidir sobre cómo se realizará la vialidad, cuáles serán las zonas afectadas por el trazado, qué tipo de materiales se utilizarán y cuáles serán las dimensiones de la carretera a ejecutar, dejando así al factor medioambiental en un segundo plano que se va considerando una vez el proyecto vaya avanzando, y siendo este último factor uno de los que suelen ampliar los plazos de trabajo o retrasar las obras en algunos casos.

## 6.1 Pasos de fauna y corredores ecológicos

Se conoce que una de las externalidades relacionadas con la construcción de carreteras y con directa implicancia ambiental corresponde a la barrera que representa para la flora y fauna de un territorio este tipo de obras lineales, fragmentando así los hábitats naturales, dividiendo e interrumpiendo corredores biológicos cruciales para el movimiento de especies y control del equilibrio ecosistémico de los territorios.

### 6.1.1 Estudio de puntos calientes y zonas de impacto

Ante ello, el especialista en fauna terrestre Víctor Bravo Naranjo, quien realizó sus estudios en la Universidad Nacional de Costa Rica, ha propuesto una escala de prioridades ante construcción de obras viales que considera 3 niveles fundamentales para la toma de decisiones: Regional (1), Regional/Local (2) y Local (3), dicha pirámide presenta mecanismos a realizar y las acciones a implementar tanto en la etapa de diseño e ingeniería, como también en la etapa de construcción y operación de la vialidad.

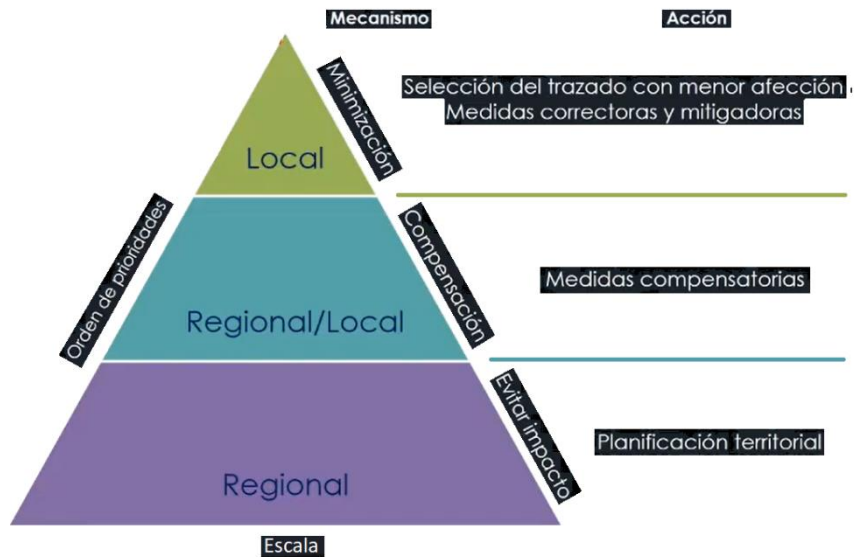


Figura 6.1: Escala de prioridades ante construcción  
Fuente: (Bravo Naranjo, 2020)

A escala “Local” (3), el procedimiento a seguir durante el desarrollo de un proyecto vial es el siguiente.

1. Identificación de áreas ambientalmente frágiles (AAF). (Anteproyecto y Estudio definitivo)
  - 1.1. Identificación de flora y fauna proclive de ser afectada. (Anteproyecto y Estudio definitivo)
2. Identificar sitio de cruce y muerte de vida silvestre (CMVS). (Anteproyecto y Estudio definitivo)
3. Rescate y/o perturbación de vida silvestre (RVS). durante construcción y operación. (Construcción, Mantenimiento y Explotación)

A escala “Regional/Local” (2), no se tiene un procedimiento como tal de aplicación, sino más bien una serie de medidas a realizar tanto por parte de la empresa constructora como así también del organismo encargado del mantenimiento y explotación de la vialidad, siendo tanto el estado en caso de vías públicas como también de concesionarias. Dichas medidas deben ser tales que permitan mitigar o contrarrestar los efectos negativos que la infraestructura vial puede tener sobre los ecosistemas y la vida terrestre, incluyendo una serie de estrategias como las mencionadas a continuación (Correa, 2020).

- Creación de pasos de fauna, del tipo elevado como también túneles, permitiendo así un cruce seguro para los animales, los cuales deben estar debidamente señalizados e incluir vallas que permita guiar a las especies como también emplear métodos de reducción de velocidad para los usuarios en estas áreas.
- Creación o restauración de hábitats alternativos para la fauna desplazada por un correcto coexistir de la infraestructura vial y el entorno.
- Medidas de mitigación del ruido dado el tránsito de los usuarios, tales como pantallas acústicas o barreras vegetales.

- Mitigación de la iluminación, minimizando el uso de elementos de iluminación, restringiendo estos últimos a los cruces de ruta, o implementando sensores que controlen el tiempo de operación de estos. Utilizar barreras opacas en zonas de curvas, compuestas tanto por elementos naturales como vegetación y tierra, como también artificiales como concreto o metal.
- Control de dispersión de fauna invasora, para ello se pueden incluir túneles y viaductos en áreas de transición de ecosistemas.

Por último, la escala “Regional” (1) está asociada a amplios territorios administrados por más de una municipalidad o provincia, por lo que para un correcto diseño y ejecución de proyectos viales que vayan en línea con la sustentabilidad de su entorno se espera el desarrollo de Planes Maestros que consideren la diversidad de elementos tanto físicos como biológicos que componen dicho territorio, desde las actividades productivas de la zona, como así también las comunidades humanas desarrolladas, las especies de flora y fauna que suelen habitar de forma permanente o migratoria en el territorio y los ecosistemas vulnerables; siendo ésta una tarea que engloba una variedad de disciplinas del mundo científico, académico, empresarial y gobernanza.

Ante la problemática de cruce de fauna silvestre, Víctor Bravo en uno de sus trabajos logró identificar cuáles son las zonas de alta densidad de cruce y muerte de aves rapaces en el tramo Los Vilos – Canela Baja de la ruta 5 Norte, logrando generar un importante material cartográfico que permite definir aquellos sectores a considerar por parte de la empresa que explota la vialidad existente para efectuar medidas de reparación o mitigación, así como también podría ser considerado por parte del Ministerio de Obras Públicas al momento de diseñar un proyecto de mejoramiento o ampliación a futuro, el material elaborado que ejemplifica esta problemática a trabajar se expone a continuación.



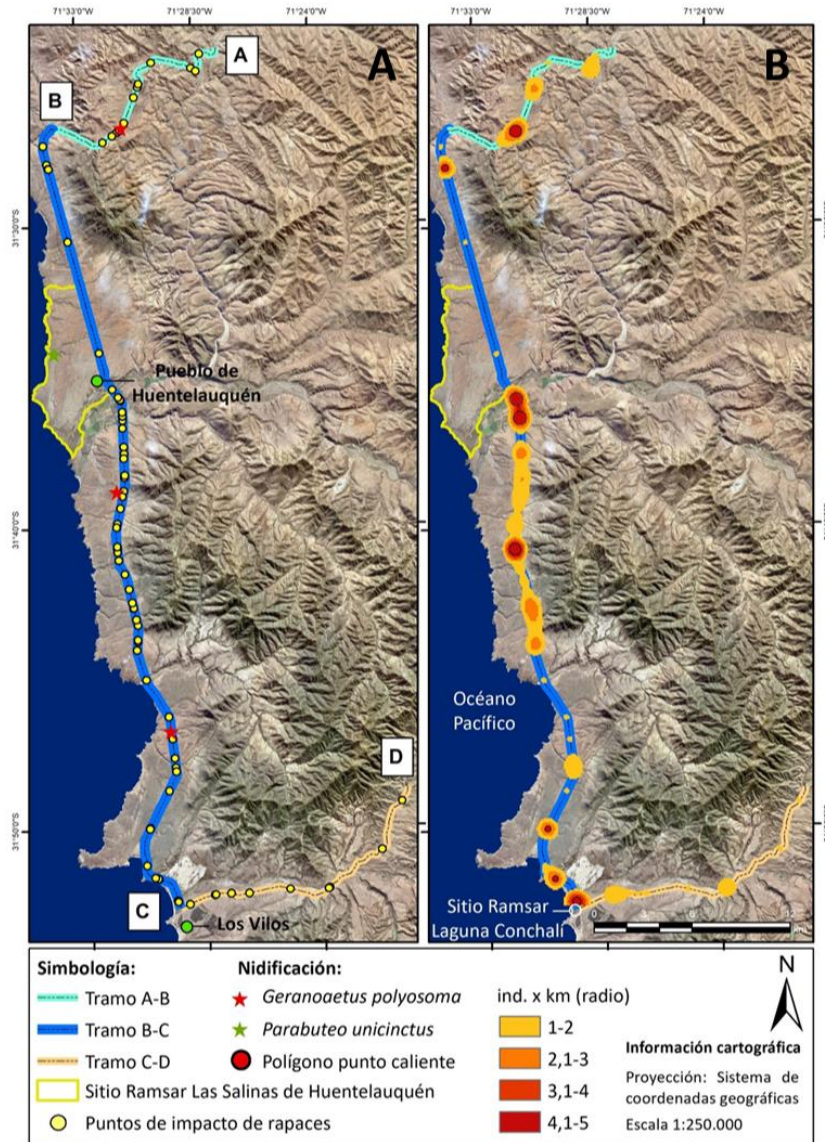


Figura 6.2: Tramos experimentales de carretera estudiada y localización de impactos, puntos calientes de colisiones de rapaces con el tráfico rodado en provincia de Choapa.  
Fuente: (Bravo Naranjo, Piñones Cañete, Norambuena, & Zuleta, 2019)

En base a dicho estudio, se expone la variabilidad en el ecosistema dada la presencia de una obra lineal, la cual afecta principalmente a fauna de carácter terrestre dado su paso obligado al tratar de cruzar la carretera, como también de especies de aves que ven en la fauna fatalizada un aumento en los recursos alimentarios y por consiguiente nuevos sitios de interacción con los usuarios de la vialidad, que en algunos casos termina de forma fatal tanto para las aves que habitan constantemente el territorio como de aquellas especies migratorias. Se tiene que en la temporada reproductiva (fines de verano) es el periodo con mayores incidentes entre los usuarios de la vialidad y la fauna, los cuales lamentablemente coinciden con los meses de mayor tránsito vehicular dada la temporada estival y el aumento en la demanda que presenta la infraestructura.



Si bien, la existencia la Autopista Concesionada “Tramo La Serena – Coquimbo” comenzó hace aproximadamente 2 décadas, y el estudio citado fue realizado hace tan solo unos años, “se prevé que los efectos de la presencia vial sobre la población de aves rapaces de la zona ha sido mayor a la reportada debido al extenso periodo de funcionamiento de la vía y los efectos acumulativos de los impactos, siendo un fenómeno multifactorial en el que algunas variables parecen influir positivamente en la ocurrencia de estos siniestros” (Bravo Naranjo, 2020). Siendo algunos de los factores con mayor potencial de implicancia la **presencia de discontinuidades en la topografía como quebradas y pies de monte, tramos rectos de larga longitud en zonas de doble vía que permiten altas velocidades, presencia de bosque nativo, humedales, playas y lagunas permanentes en cercanías de la ruta.**

Las zonas y factores mencionados corresponden a puntos estratégicos a considerar por parte de las instituciones que diseñan y generan los proyectos viales para la implementación de corredores ecológicos y pasos de fauna que permitan un adecuado y seguro desplazamiento de la fauna de la zona y permita mantener un equilibrio ecosistémico de las especies presentes.

Finalmente, como una guía para la toma de decisiones del tipo de estructura a construir para pasos de fauna de especies terrestres y aves, se tiene la siguiente cartilla que facilita la toma de decisiones a los agentes encargados de la realización del proyecto vial.

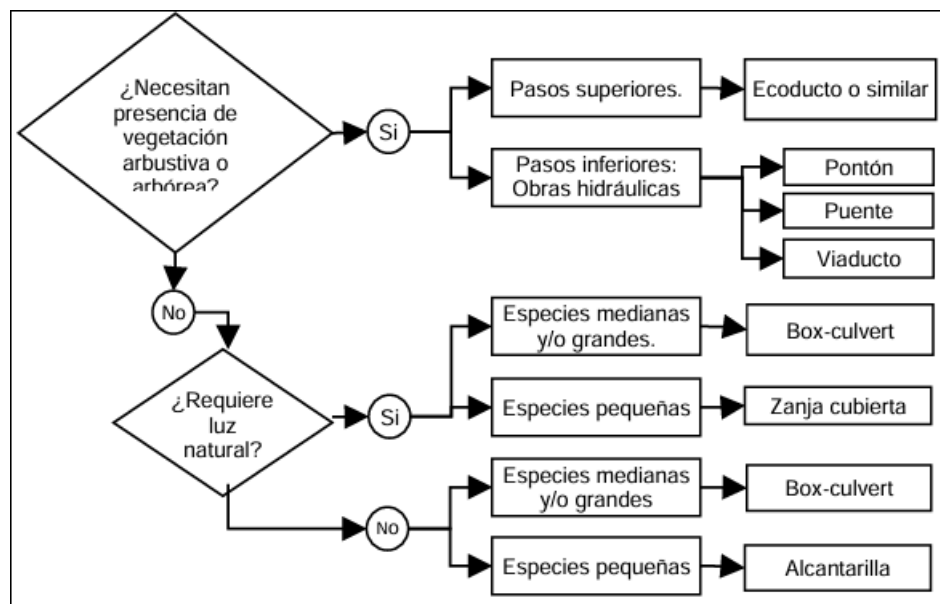


Figura 6.3: Cartilla de referencia para toma de decisiones de estructuras terrestres para especies terrestres y aves.

Fuente: (Correa, 2020)

## 6.2 Medidas de mitigación en ejecución de terraplenes

En relación con la ejecución de la vialidad, una de las actividades que presenta mayor nivel de alteración a la zona donde se ubicará el proyecto corresponde al movimiento de tierras, específicamente a la confección de terraplenes donde se emplazará nueva vialidad. Ante lo anterior, el Ministerio de Obras Públicas dispone de alternativas que puede considerar el ente ejecutante al momento de desarrollar las labores de ejecución de terraplenes, las cuales se disponen en la tabla 9.703.702.A del Volumen N°9 del Manual de Carreteras (Ministerio de Obras Públicas, 2022). Dicha tabla identifica un total de 6 elementos impactados principalmente por el desarrollo de estas faenas, complementado con el riesgo asociado y la actividad o medida a desarrollar por parte de la constructora para mitigar y/o compensar dicho impacto generado en la zona de trabajo y por consiguiente el ambiente.

ELEMENTO IMPACTADO	IMPACTO GENERADO	RIESGO ASOCIADO	ACTIVIDAD O MEDIDA
Flora y Vegetación	Reducción de Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generación de área desnudada predispuesta al desarrollo de procesos erosivos</li> <li>- Inestabilidad de la estructura</li> </ul>	<p>Mitiga el impacto, y a la vez reduce el riesgo asociado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidrosiembra en talud.</li> <li>- Plantación.</li> <li>- Cubrimiento del talud con material de escarpe.</li> </ul>
Fauna	Alteración de hábitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Migración o reducción de especies</li> </ul>	<p>El impacto se ve compensado, en tanto que el riesgo asociado se reduce:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rescate y traslado de nidos o madrigueras (en caso que existan).</li> <li>- Suspensión temporal de obras en períodos de reproducción.</li> </ul> <p>Las anteriores se complementan con aquellas definidas para la flora y vegetación, ya que ambos elementos están estrechamente relacionados.</p>
Geomorfología	Alteración de las geoformas locales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generación de área desnudada predispuesta al desarrollo de procesos erosivos</li> <li>- Inestabilidad de la estructura</li> </ul>	<p>No se mitiga o compensa el impacto, más bien se reduce el riesgo asociado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructuras de postes de maderas.</li> <li>- Malla de sombra tipo raschell.</li> <li>- Muro de postes de madera.</li> </ul>
Arqueología	Alteración o daño del Patrimonio Arqueológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de símbolos culturales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozos de sondeo.</li> <li>- Rescate arqueológico.</li> </ul>
Hidrología	Cambio en los patrones de escurrimiento superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anegamiento de zonas aledañas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obras de saneamiento (obras de arte por ejemplo).</li> <li>- Zanjas de infiltración o contrafosos.</li> <li>- Terrazas forestales.</li> </ul>
Asentamientos Humanos	Diferencia de Niveles entre rasante y terreno natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultad en los accesos a propiedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Habilitación previa de otros accesos.</li> </ul>

*Figura 6.4: Impactos y medidas asociadas a la actividad.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

Las medidas indicadas anteriormente no son de carácter obligatorio, sino más bien una guía que pueden seguir las constructoras al momento de elaborar el correspondiente Informe de Manejo Ambiental cuando presenten su oferta Técnico-Económica ante el ente licitante del proyecto.

## 6.3 Extracción adecuada de áridos en cursos de agua y cauces naturales

Dado los grandes volúmenes de material que son requeridos para desarrollar las partidas de movimientos de tierras, y creación de las capas estructurantes de la vialidad, se requieren de un abastecimiento constante de áridos para el avance de las obras, cuya elaboración y transporte usualmente es realizada directamente por la empresa constructora encargada de la vialidad. Se tiene que la extracción de áridos desde cauces de aguas superficiales es una actividad típica de un proyecto vial, por lo cual una vez obtenido los permisos por parte de la Dirección General de Aguas (DOH) se deben considerar criterios básicos para el desarrollo de dicha actividad, considerando lo siguiente (Ministerio de Obras Públicas, 2022):

- Proyecto debe basarse en un levantamiento topográfico del cauce y del para propuesta para la extracción.
- Excavaciones por realizar no deben ser tal que profundicen solo parcialmente un cauce ni dejen depresiones localizadas, labores a realizar no pueden impedir, desviar o entorpecer el normal escurrimiento de las aguas.
- No se deben proyectar empréstitos en las cercanías de puentes, tomas de canales, riberas protegidas, u otra estructura afectada por las excavaciones.
- Solo se deberá extraer áridos excedentes producto del arrastre del lecho, hasta las profundidades indicadas en proyecto.
- Excavaciones de caudal deben responder a un perfil de escurrimiento de tipo trapezoidal.

En complemento con lo anterior, el Volumen N°9 del Manual de Carreteras (Ministerio de Obras Públicas, 2022). Indica a través de 4 figuras ilustrativas esquemas de situaciones asociadas a obras de extracción de áridos mal realizadas y bien realizadas, siendo éstas las figuras 9.702.303(4). A, 9.702.303(4). B, 9.702.303(4).C, 9.702.303(4). D, cuyo detalle se exponen en el “**Anexo C**” de este documento.

Dentro de las indicaciones que se presentan en las figuras mencionadas, se destacan las siguientes prácticas (Ministerio de Obras Públicas, 2022).

### **Obras mal realizadas:**

- Excavación aguas debajo de un puente en una distancia menor a 300 metros.
- Acopio de material aguas arriba de un puente.
- Acopio de material aguas debajo de un puente.
- Acopio de material frente a acceso de curso de agua o acopio que obstruya el cauce.
- Acceso en frente de cauce, o en contra de corriente de curso de agua.
- Instalación de faenas en el cauce.
- Estrangulamiento del cauce por acopios inadecuados.
- Excavación en ribera.
- Obstrucción del cauce.
- Extracción en curva exterior de curso de agua.
- Extracción en cercanías de obras de defensas fluviales a una distancia menor a 100 metros.
- Excavación próxima a obras de arte
- Extracción sobre camino de servicio en el cauce.

### **Obras bien realizadas:**

- Excavación aguas arriba de un puente o aguas debajo de un puente a una distancia mayor a 300 metros.
- Acopio de material fuera de cauce de curso de agua.
- Material de rechazo y acopio de material fuera de cauce, y en el exterior de la curva.
- Acceso no debe enfrentar el cauce, sino ir en sentido de corriente del curso de agua.
- Extracción de material a una distancia mayor a 100 metros de obra de defensa fluvial.
- Distancia mínima entre lugares de extracción de áridos debe ser de 200 metros.

Las indicaciones anteriores permiten no solo una correcta extracción de áridos en cursos de agua, sino que también aseguran la estabilidad estructural de la infraestructura colindante al curso de agua intervenida. De esta manera no se pone en riesgo la integridad de estas construcciones ni la de sus usuarios, al mismo tiempo que se busca conservar de manera efectiva las condiciones naturales de los empréstitos desarrollados en cursos de agua, disminuyendo así los procesos erosivos del sector y las características ecosistémicas que dichos cursos de agua corresponden para la biodiversidad presente.

## **6.4 Propuestas adicionales para la construcción de obras viales**

Adicional a la información expuesta en los apartados anteriores dentro de este capítulo, se propone una serie de medidas y metodologías adicionales para una correcta ejecución de las obras viales. Si bien se ha comentado dentro de este trabajo que los proyectos viales son desafíos multidisciplinarios, compuesto de una serie de etapas de desarrollo a seguir, en las propuestas a mencionar se consideran tanto medidas e indicaciones asociadas a la fase de diseño como también a las etapas constructivas y de mantención.

### **Asociado a la fase de planificación y precio al inicio de obras, se recomienda:**

- **Realizar un plan de la gestión de residuos**, el cual debe incluir la identificación de los tipos de residuos a generar producto de la naturaleza y magnitud de la obra, en conjunto con las cantidades de material, los métodos de manejo adecuados, puntos de disposición, y acciones a realizar con dichos materiales (valorización, reutilización, reciclaje, disposición final). Para las acciones a realizar se debe especificar si las mencionadas serán responsabilidad directa de la empresa constructora o se contactará con empresas externas especializadas que presten el servicio especificado en dicho Plan de Gestión. Dicho plan debe cumplir con la normativa y legislación ambiental vigente, además de los requisitos legales y obtención de permisos y autorizaciones necesarias.
- **Implementar pasos de fauna y pasarelas ecológicas en zonas estratégicas**, para ello, el mandante del proyecto debe realizar una evaluación inicial de la biodiversidad existente, identificando especies existentes, patrones de movimiento y zonas críticas de cruce de fauna. En base a lo anterior, se toma la decisión de la ubicación de dichos pasos de fauna y como ha de ser su conexión de los hábitats fragmentados dada la proyección de la infraestructura vial. Adicionalmente, se debe considerar la instalación de medidas de seguridad hacia los usuarios ante la instalación de este tipo de infraestructura, como lo son las vallas guías y señalización, como también aquellos elementos designados para guiar a la fauna existente al uso de esta infraestructura.

- **Impulsar el uso de nuevos materiales con contenido de reciclado en su composición al diseñar nuevos proyectos**, siendo esta acción una estrategia integral que abarca desde la investigación y evaluación de materiales alternativos, hasta la colaboración entre constructora, empresas proveedoras colaboradoras y el estado. Lo anterior va de la línea con el fomento de la economía circular y la capacitación profesional, concientizando así a la fuerza trabajadora y agentes que participan en la toma de decisiones sobre los beneficios de la aplicación de estos materiales, la reducción a la dependencia de productos vírgenes naturales y le disminución del impacto ambiental de la industria.
- **Incluir más disciplinas durante el diseño de proyectos viales, ampliando la diversidad de profesionales involucrados**, considerando de esta manera a profesionales de otras especialidades además de la construcción, como agrónomos, paisajistas, ingenieros medio ambientales, antropólogos biólogos, geógrafos, ingenieros forestales, entre otros que permitan llegar a consenso para el desarrollo de proyecto sustentable en su diversidad.
- **Generación de un catastro nacional de empresas gestoras de residuos y RCD**, siendo la idea de este catastro una forma de gestionar y almacenar la información a nivel nacional de forma centralizada por parte de las autoridades mandantes de los proyectos viales, tales como el Ministerio de Obras Públicas. Dicha información debe estar disponible de forma pública y general a través de una plataforma digital donde todas las empresas relacionadas a la gestión, revalorización y procesamiento de RCD puedan registrarse y promocionar información detallada sobre sus servicios, recomendando que dicho registro sea de carácter obligatorio para mantener actualizada la información disponible de tal manera de facilitar las labores logísticas y de contacto a las empresas logísticas, generando así un canal de comunicación directo entre ambos.

**Asociado a la infraestructura e instalación de faenas, se recomienda:**

- **Contar con instalaciones de faena, puntos de descanso y comedores móviles**, tal como su nombre lo indica, que dichas instalaciones disponibles para los trabajadores permitan su movilidad de un punto de la faena a otro, siendo desplazados en conjunto con el avance de los frentes de trabajo. Dichos puntos deben contar con acceso a servicios básicos como agua potable, conexión eléctrica, instalaciones sanitarias, ventilación natural y el mobiliario necesario para satisfacer las necesidades humanas de los trabajadores. Adicionalmente dicha infraestructura móvil debe contar con elementos de señalización adecuadas para su correcto transporte e identificación en obra.
- **Implementar sistemas de captación y tratamiento de aguas grises**, En complemento con el punto anterior, y en la medida de lo posible, se recomienda disponer de contenedores que permitan el almacenamiento de las aguas grises producidas en obra por parte de las actividades humanas realizadas, dichos contenedores deben conectarse a plantas de tratamiento de aguas que permitan su procesamiento in situ y su posterior reutilización dentro de la obra, como humectación de canchas de terraplén previo a proceso de compactación, riego de especies vegetales que incluya el proyecto como también de especies colindantes, control de polvo en los caminos de acceso para disminuir la dispersión de partículas en el aire, limpieza de equipos y maquinarias, recargas de acuíferos subterráneos, usos en sistemas de descargas en baños

portátiles, entre otros.

- **Considerar la implementación de puntos limpios en frentes de trabajos e instalaciones de faena**, dichos puntos corresponden a zonas que cuentan con contenedores móviles que permiten el almacenamiento de los residuos de forma segregada y ordenada. La existencia de la infraestructura facilita la posterior recolección, traslado y tratamiento de dichos residuos.

**Asociado a la logística y gestión de la obra, se recomienda:**

- **Elaborar una lista de empresas u organizaciones encargadas de la revalorización y tratamiento de residuos**, lo cual implica una cuidadosa investigación, evaluación y selección de prestadores de servicios que cuenten con capacidad técnica y experiencia para el correcto procesamiento de residuos y materiales. Lo anterior garantiza una gestión eficiente de materiales, optimización de recursos y promoción de la economía circular, al mismo tiempo que se generan redes de contacto con empresas externas para futuros proyectos a desarrollar.
- **Dar prioridad a proveedores locales cuyos materiales y suministros no presenten el transporte de largas distancias ni la generación excesiva de envoltorios desechables**, al priorizar proveedores locales en las cercanías de las zonas de trabajo, se disminuye la huella de carbono generada por la combustión generada por los vehículos de transporte, al igual de las cadenas logísticas necesarias para disponer de dichos materiales desde la planta de producción o almacenaje, hasta su lugar final de disposición. Por otro lado, al preferir suministros cuyos materiales envoltorios o empaques no sean desechables permite controlar la generación de residuos por este concepto.
- **Priorizar la reutilización de materiales**, fomentando en lo posible este tipo de acciones mediante la recuperación y reaprovechamiento de materiales de construcción y recursos generados durante las faenas constructivas, tales como hormigón, asfalto y madera en base a las tecnologías y métodos indicados en capítulos anteriores de este documento.
- **Planificar de forma óptima y eficiente las rutas de transporte**, esto hace referencia a utilizar softwares de planificación logística que ermita reducir las distancias recorridas, los tiempos de viaje de maquinaria pesada encargados del traslado de materiales desde empréstitos hasta las zonas de disposición final, así como también el traslado de personal desde las instalaciones de faena, oficinas, bodegas, casinos, residencias, etc. Hasta sus puestos de trabajo. Para ello se recomienda el uso de vehículos eléctricos de transporte en conjunto con completar en lo posible la capacidad de transporte de dichos vehículos.
- **Implementar sistemas de gestión de inventarios que permitan controlar y monitorear rendimiento de materiales**, de esta manera, se asegura un uso eficiente de recursos, reduciendo el exceso de materiales en almacenajes de la empresa constructora, evitando el desperdicio y deterioro de estos. Lo anterior se puede complementar con una **metodología logística justo a tiempo (Just inTime)**.

**Asociado a la vinculación con el medio y la comunidad, se recomienda:**

- **Diálogo y consulta pública con comunidades afectadas por el proyecto**, lo anterior se logra

materializar a través de la realización de reuniones periódicas de diálogo y consulta con las autoridades del territorio y la comunidad que lo habita para discutir aspectos relacionados con el proyecto vial, sus impactos ambientales, sociales, las medidas de mitigación y la retroalimentación de comentarios y preocupaciones que pueden aquejar a los habitantes.

- **Desarrollo de alianzas entre la empresa constructora y las autoridades de gobierno locales para disposición de materiales a revalorizar generados en obra**, dichas alianzas pueden incluir a las autoridades y organizaciones locales, instituciones educativas, empresas u otros actores interesados en la reutilización de materiales generados en obras, además de facilitar el almacenaje y disposición de dichos materiales. En línea con las alianzas generadas entre constructora e instituciones locales, se recomienda desarrollar un programa de entrega y distribución de los materiales a revalorizar o reciclar para la comunidad, siendo responsabilidad de la constructora disponer de los materiales en localizaciones facilitadas por la autoridad para su recepción, y este último actor el encargado de realizar las gestiones pertinentes para la gestiones de distribución, además de campañas de capacitación y asistencia técnica a la comunidad sobre manejo adecuado de dichos materiales y su potencial uso en proyectos de construcción, garantizando la correcta aplicación de dichos recursos.

# Capítulo 7: Conclusiones

El trabajo de título expuesto a través de este documento se desarrolló con el fin de cumplir el objetivo principal: Identificar métodos, procedimientos y materiales de construcción sustentables que han sido utilizados en la construcción vial, además de proponer tanto prácticas vigentes como nuevas en el desarrollo de proyectos viales. El documento elaborado tuvo como finalidad orientar al lector sobre el rumbo que debe tomar la construcción en el presente y futuro cercano, potenciando el desarrollo de una industria que pase de una economía de carácter lineal a una de carácter circular a través de prácticas sustentables como la revalorización de residuos, minimizando la generación de éstos, al mismo tiempo que se mantengan y/o mejoren los estándares de las faenas constructivas.

Para cumplir con lo descrito anteriormente, el desarrollo de este trabajo abarcó una serie de etapas, tales como entrevistas realizadas a profesionales de la construcción vial, análisis bibliográfico, recopilación de normativas, documentación técnica y casos de aplicación de metodologías y procedimientos sustentables, los cuales fueron organizados y expuestos en subcapítulos dentro de este documento. En base a los resultados obtenidos en las diferentes etapas del proyecto se obtienen las siguientes conclusiones:

Respecto a las entrevistas realizadas, se observa que los profesionales contactados entienden de forma diversa el concepto de sustentabilidad, siendo éste un concepto bastante amplio y que requiere de cierto acuerdo respecto al alcance de dicha palabra, algunos de ellos lo enfocan netamente a lo ambiental, el buen uso de los recursos y disminución de impacto a los territorios a intervenir, mientras que otros lo asocian a temas de rentabilidad y mantención en el tiempo, principalmente al aspecto socioeconómico. También se observa que los proyectos que consideren la ejecución de una etapa constructiva tales como la infraestructura vial corresponden a proyectos multidisciplinarios y complejos tanto en el número de trabajadores y actores detrás del proyecto, como también de la documentación y aspectos a evaluar durante la etapa de ingeniería y de construcción, actores que no siempre están en comunicación entre ellos, sino que por medio de indicaciones y documentos van compartiendo ideas y directrices para sacar el proyecto adelante.

Dado lo anterior, es vital el contar con documentación técnica y planes de acción que permitan estandarizar y disminuir el margen de riesgo e impacto durante las etapas de idea, anteproyecto, ingeniería de detalle y construcción, siendo así los Manuales Técnicos como el Manual de Carreteras vitales para el desarrollo de un proyecto vial. Sin embargo, las disposiciones dentro de dicho documento no son suficientes dado que corresponde a un documento consultivo por parte de las empresas constructoras más que indicaciones obligatorias a seguir. Una forma de darle obligatoriedad a las indicaciones de dicho manual es incluir dentro de las cláusulas del contrato de adjudicación los volúmenes y capítulos a seguir por parte de la empresa constructora durante la ejecución de la vialidad, lo cual se realiza actualmente en la mayoría de los contratos ejecutados por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.

Continuando con las entrevistas, se destaca la idea general que se tiene en el rubro sobre desarrollar una industria constructiva que vaya en línea con la protección y resguardo del ambiente, disminuyendo las externalidades asociadas a la construcción como lo son la degradación de zonas de trabajo, la extracción excesiva de recursos y materiales, y sobre todo la generación de Residuos de Construcción y Demolición. Para ello es valorado el desarrollo de iniciativas como Construye 2025 por parte de la Cámara Chilena de la Construcción (CCHC), o la difusión de nuevas tecnologías, investigaciones y avances de la industria por parte de la Corporación del Desarrollo



Tecnológico, las cuales con la generación de Hojas de Rutas para la Economía Circular, Manuales de gestión de RCD, entre otros documentos que permiten a las instituciones y empresas contar con información útil y aplicable en los proyectos constructivos de todo tipo.

Respecto a las alternativas de materiales, metodologías y procedimientos constructivos sustentables en obras viales, los entrevistados poseen conocimiento respecto a casos de aplicación, e incluso muestran gran interés y disponibilidad en aplicar tecnologías nuevas dentro de la industria, siempre y cuando aseguren la calidad de las obras y sean rentables económicamente, además de que se tenga certeza sobre el comportamiento mecánico, resistencia y durabilidad de los materiales nuevos a implementar. Sin embargo, Chile actualmente no cuenta con carreteras sustentables a gran escala, sino que se han implementado planes pilotos en localidades puntuales, siendo esto una primera etapa de experimentación y análisis del comportamiento de estas nuevas metodologías y la ruta a seguir en un futuro cercano, brindando la oportunidad y recursos a trabajos de investigación en colaboración con Universidades, el Estado y empresas privadas que deseen contribuir en el desarrollo de una industria más robusta y seria en ámbitos de sustentabilidad vial.

Pasando a la Vialidad Nacional, se tiene que las carreteras en Chile se encuentran pavimentadas en un gran porcentaje, sin embargo aún existen rutas que presentan soluciones básicas o que simplemente no se encuentren pavimentadas, siendo esta situación una oportunidad de inversión y prueba para metodologías y tecnologías sustentables identificadas en este trabajo, especialmente con el uso de asfaltos y áridos reciclados para la confección y ejecución de nuevos proyectos.

En relación con los Residuos de Construcción y Demolición, la realidad a nivel país es preocupante si no se generan políticas que trabajen el tema de la generación de residuos en obra, siendo la existencia y proliferación de vertederos clandestinos un problema serio en algunas comunas periféricas a las grandes urbes que generan afecciones negativas tanto a los elementos ambientales del territorio impactado como también a las sociedades humanas que habitan en sus cercanías. Considerando que la industria de la construcción genera alrededor de 1/3 de los desechos sólidos del país, es necesario contar con sitios de disposición legal donde las empresas de construcción y demolición puedan descargar dichos materiales, lo cual debe ser complementado con una correcta selección y clasificación en obra que brinde la opción de almacenar los residuos en forma separada para una posterior valorización de dichos residuos.

Si bien, se identificaron iniciativas con potencial impacto en la revalorización de RCD y que utilizan el residuo como materia prima en su cadena productiva, se requiere de mayor inversión por parte del Estado, además de contar con una base de datos pública que permita conectar a las empresas e instituciones generadoras de RCD con las empresas e instituciones que revalorizan este tipo de materiales.

Continuando con la oportunidad que se ve en la trabajabilidad de los RCD y su reutilización en la industria hacia una economía circular, se ve interés por parte de la industria constructiva y el Estado en aportar con políticas y documentación normativa que permita estandarizar el manejo, clasificación y uso de estos materiales, como lo son las normas actualmente en etapa de consulta pública sobre el uso de áridos reciclados a partir de RCD y áridos artificiales generados en base a residuos de la industria siderúrgica como material componente en pavimentos, bases y subbases de obras viales. Siendo lo anterior una política que presenta referentes internacionales principalmente en Europa que permite visualizar el impacto y cambios tanto en la mentalidad de las empresas ejecutantes como también en los habitantes de dichos países, entendiéndose que más allá de desarrollar normativas e indicaciones a las constructoras, debe existir un cambio cultural y

contractual de base que vaya en línea con las nuevas políticas a implementar por parte de las empresas, la industria y la sociedad en su conjunto.

El marco jurídico actualmente vigente en el país permite limitar las libertades al momento de diseñar el trazado de la vialidad en un territorio específico, además de ir en línea con la protección de la calidad de vida de los habitantes dentro de la zona de influencia y un normal desarrollo de sus actividades durante la construcción de la vialidad, presenta ciertas deficiencias respecto a la biodiversidad en las zonas de influencia y su protección, ya que dichas leyes no son suficientes para el resguardo de sitios que no dispongan de una categorización de protección ambiental como son el caso de los Parques Nacionales, Santuarios de la Naturaleza, humedales, cursos de aguas, zonas patrimoniales, entre otras. Así mismo, las normativas y decretos expuestos tanto en este trabajo como en los Manuales de Carreteras hacen referencia a un cuidado especial con las especies de flora y fauna protegidas, sin considerar otras especies comunes.

Por último, se destaca la publicación y entrada en vigor del Volumen N°9 del Manual de Carreteras, documento normativo que permite por primera vez introducir de forma completa y detallada conceptos ambientales en el desarrollo y ejecución de proyectos viales por parte del Estado hacia la ciudadanía, siendo tanto una guía a considerar por parte de las instituciones ejecutantes como también un documento vinculante a volúmenes pasados que informan los procedimientos, consideraciones, impactos, medidas de mitigación y reparación, entre otros aspectos.

A modo resumen, este trabajo de título ha proporcionado una visión integral y general sobre los métodos, tecnologías y procedimientos sustentables que se han implementado en el rubro de la construcción de obras viales, identificando de esta manera oportunidades de aplicación a nivel nacional para mejorar la sostenibilidad en este sector, ofreciendo recomendaciones prácticas y una serie de alternativas a considerar tanto por las entidades que generan y diseñan los proyectos viales así como también por parte de las empresas ejecutoras que deseen incluir en sus ofertas técnico económicas innovaciones prácticas más sostenibles tanto en lo ambiental como en lo socioeconómico.

# Bibliografía

- [1] Colegio de Ingenieros de Chile. (2019). Obtenido de: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://doc.ingenieros.cl/transporte\\_201909.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://doc.ingenieros.cl/transporte_201909.pdf)
- [2] Dra. Brundtland, G. (1987). Nuestro futuro Común. Obtenido de: <https://slowfashionnext.com/blog/que-es-el-informe-brundtland/>
- [3] Editorial RSyS. (2022). Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos. Responsabilidad Social, Empresarial y Sustentabilidad.
- [4] González, Á., Cubrinovski, M., Pidwerbesky, B., & Alabaster, D. (2012). Desempeño de Pavimentos estabilizados con asfalto espumado en una prueba de pavimentos a escala real y carga acelerada. *Revista Ingeniería de Construcción*, 13.
- [5] Marín, C. (2016). Pavimentos Asfálticos de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a Través de un Modelo Físico Experimental. Pontificie Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, 231.
- [6] Ministerio de Obras Públicas. (1994). Manual de Carreteras, Volumen 1 - Tomo II, Evaluación de proyectos interurbanos, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- [7] Ministerio de Obras Públicas. (2022). Manual de Carreteras, Volumen 9 - Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales.
- [8] Observatorio Logístico. (2022). *Observatorio Logístico*. Obtenido de: [https://www.observatoriologistico.cl/infraestructura/red-vial/?id=5d719224d2c6f20029110412#:~:text=La%20red%20vial%20nacional%20\(de,vi al%20nacional%20en%20ese%20a%C3%B1o.\)](https://www.observatoriologistico.cl/infraestructura/red-vial/?id=5d719224d2c6f20029110412#:~:text=La%20red%20vial%20nacional%20(de,vi al%20nacional%20en%20ese%20a%C3%B1o.))
- [9] Organización de las Naciones Unidas. (1992). Obtenido de <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992>
- [10] Quilín, S. (2023). *Sustentabilidad Quilin*. Obtenido de <https://www.quilin.cl/sustentabilidad/>
- [11] Thenoux, G., González, Á., & Dowling, R. (2007). Energy consumption comparison for different asphalt pavements rehabilitation techniques used in Chile. *Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile*, 15.
- [12] Aguirre Leiva, J. (2021). *Diseño estructural y análisis de mpetodo constructivo de pavimento para proyecto municipal de remodelación Avenida Independencia - Pichidegua*. Obtenido de <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/items/b94e6be2-82f4-43c1-b937-64a27ff7ae6d>

- [13] Biblioteca del Congreso Nacional. (2011). *Decreto 301: Aprobación de nuevo decreto que establece normas para la numeración y clasificación de caminos.*
- [14] Biblioteca del Congreso Nacional. (2015). *Ley 20879: Sanciona el Transporte de Desechos Hacia Vertederos Clandestinos.* Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1084262>
- [15] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (Marzo de 2023). *Biblioteca del del Congreso Nacional de Chile.* Obtenido de Disposición final de residuos sólidos: Rellenos sanitarios, vertederos y basurales: [https://www.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34063/1/BCN\\_Disposicion\\_final\\_de\\_residuos\\_solidos\\_Chile\\_2023\\_FINAL.pdf](https://www.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34063/1/BCN_Disposicion_final_de_residuos_solidos_Chile_2023_FINAL.pdf)
- [16] Bravo Naranjo, V. (2020). Ecología de carreteras y nuestro rol en Chile. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=4XW6vP3qoI&ab\\_channel=redobservadores](https://www.youtube.com/watch?v=4XW6vP3qoI&ab_channel=redobservadores)
- [17] Bravo Naranjo, V., Piñones Cañete, C., Norambuena, H., & Zuleta, C. (2019). Puntos calientes y factores asociados al atropello de aves rapaces en una ruta costera de la zona semiárida de Chile central. *Sociedad de Ornitología Neotropical.*
- [18] Cámara Chilena de la Construcción. (2014). *Guía de Instalación de Faenas.*
- [19] Cámara Chilena de la Construcción. (2023). *Manual de Gestión de Resíduos de Construcción y demolición: Detalles de implementación.* Obtenido de [https://cchc.cl/uploads/comunicacion/archivos/tool\\_manual\\_gestion\\_residuos\\_construccion\\_y\\_demolicion.pdf](https://cchc.cl/uploads/comunicacion/archivos/tool_manual_gestion_residuos_construccion_y_demolicion.pdf)
- [20] Cárcamo, Á. (2022). *Desarrollo de una guía y catálogo de economía circular para la construcción en Chile.* Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/192605>
- [21] Cavieres, W. (2008). Comportamiento de las soluciones básicas de carpetas de rodadura aplicadas a caminos de bajo tránsito.
- [22] Colegio de Ingenieros de Chile. (2019). *Colegio de Ingenieros de Chile.* Obtenido de Colegio de Ingenieros de Chile: [https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://doc.ingenieros.cl/transporte\\_201909.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://doc.ingenieros.cl/transporte_201909.pdf)
- [23] Construye 2025. (2022). *Planes de Gestión - Construye 2025.*
- [24] Construye 2025. (s.f.). *Hoja de Ruta RCD: Economía Circular en Construcción 2035.*
- [25] Construye 2025, CCHC, & Instituto de la Construcción. (2020). *Introducción a la Economía Circular en la Construcción: Diagnóstico y Oportunidades en Chile.* Obtenido de <https://www.economiacircularconstruccion.cl/biblioteca/>
- [26] Correa, D. (2020). Pasos de fauna en infraestructura lineal, cartilla de referencia para la toma de decisiones. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/18.-Cartilla-pasos-de-fauna-en-infraestructura-lineal.pdf>

- [27] DGAC. (2020). AERÓDROMO TOBALABA INAUGURA REFACCIONADA PISTA. DGAC. Obtenido de <https://www.dgac.gob.cl/aerodromo-tobalaba-inaugura-refaccionada-pista/>
- [28] Díaz, M., Almendro, M., Blanco, D., & Jordán, M. (2019). *Aggregate Recycling in Construction: Analysis of the Gaps between the Chilean and Spanish Realities*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/7/154>
- [29] Dirección de Vialidad. (2022). *Red Vial Nacional, Dimensiones y Características*.
- [30] Dirección de Vialidad, & Ministerio de Desarrollo Social. (2011). Instructivo para postulación de caminos básicos intermedios.
- [31] Dra. Brundtland, G. (1987). Nuestro futuro Común.
- [32] Editorial RSyS. (2022). Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos. *Responsabilidad Social, Empresarial y Sustentabilidad*.
- [33] González Farfán, C. (26 de septiembre de 2023). *País Circular*. Obtenido de <https://www.paiscircular.cl/economia-circular/residuos-revaloriza/>
- [34] González, Á., Cubrinovski, M., Pidwerbesky, B., & Alabaster, D. (Agosto de 2012). Desempeño de Pavimentos estabilizados con asfalto espumado en una prueba de pavimentos a escala real y carga acelerada.
- [35] Instituto Nacional de Normalización. (1998). NCh382: Sustancias Peligrosas - terminología y clasificación general.
- [36] Instituto Nacional de Normalización. (2019). Gestión de Residuos - Residuos de Construcción y Demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el Plan de Gestión.
- [37] Leiva Villacorta, F., & Vargas Nordbeck, A. (2017). *Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP)*. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052017000100035#:~:text=La%20utilizaci%C3%B3n%20de%20pavimento%20asf%C3%A1ltico,de%20la%20infraestructura%20de%20transporte.](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052017000100035#:~:text=La%20utilizaci%C3%B3n%20de%20pavimento%20asf%C3%A1ltico,de%20la%20infraestructura%20de%20transporte.)
- [38] Marín, C. (2016). Pavimentos Asfálticos de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a Través de un Modelo Físico Experimental. *Pontificie Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería*, 231.
- [39] Ministerio de Obras Públicas. (1994). *Manual de Carreteras, Volumen 1 - Tomo II, Evaluación de proyectos interurbanos*, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- [40] Ministerio de Obras Públicas. (2013). *Manual de Planes de Manejo Ambiental para Obras Concesionadas (Versión 7.01)*. Obtenido de [https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://concesiones.mop.gob.cl/quienes\\_somos/funcionamientodelsistema/Documents/manual\\_planes\\_manejo\\_ambiental.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://concesiones.mop.gob.cl/quienes_somos/funcionamientodelsistema/Documents/manual_planes_manejo_ambiental.pdf)

- [41] Ministerio de Obras Públicas. (2022). *Manual de Carreteras, Volumen 3 - Instrucciones y Criterios de Diseño*.
- [42] Ministerio de Obras Públicas. (2022). *Manual de Carreteras, Volumen 5 - Especificaciones técnicas generales de construcción*.
- [43] Ministerio de Obras Públicas. (2022). *Manual de Carreteras, Volumen 8 - Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control*.
- [44] Ministerio de Obras Públicas. (2022). *Manual de Carreteras, Volumen 9 - Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales*.
- [45] Ministerio de Obras Públicas. (2023). *Visor de la red vial nacional*. Obtenido de <https://sitministerial.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ccc8ce73d80d4b48a4cbce97ff89d74c>
- [46] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, & Construye 2025. (2019). *Gestión Sustentable Residuos de Construcción y Demolición*.
- [47] Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Reporte del Estado del Medio Ambiente 2023*. Obtenido de <https://infogram.com/1ppmgeyyzd5y6urw5p0zqv3vgtzrwkp6nw?live>
- [48] MOP, & DGAC. (2020). *Mercado Público*. Obtenido de <https://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=hICuKuG3RnaMMEevRsWpSQ==>
- [49] Obregón Biosca, S. (2008). *Impactos Sociales y Económicos de las infraestructuras de transporte viario: Estudio comparativo de dos ejes, el "Eix Transversal de Catalunya" y la carretera MEX120 en México*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6628/01Saob01de01.pdf>
- [50] Observatorio Logístico. (2022). *Observatorio Logístico*. Obtenido de [https://www.observatoriologistico.cl/infraestructura/red-vial/?id=5d719224d2c6f20029110412#:~:text=La%20red%20vial%20nacional%20\(de,vial%20nacional%20en%20ese%20a%C3%B1o.\)](https://www.observatoriologistico.cl/infraestructura/red-vial/?id=5d719224d2c6f20029110412#:~:text=La%20red%20vial%20nacional%20(de,vial%20nacional%20en%20ese%20a%C3%B1o.))
- [51] Organización de las Naciones Unidas. (1992). Obtenido de <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992>
- [52] Ossio, F., & Faúndez, J. (2021). *Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos*.
- [53] Piñones Cañete, C., & Bravo Naranjo, V. (2020). *Fauna Atropellada: Problema socioambiental y oportunidad para la ciencia ciudadana y escolar*. Obtenido de [https://www.redobservadores.cl/wp-content/uploads/2020/07/Fauna-Atropellada-Problema-SocioAmbiental-y-Oportunidad-para-laCiencia-Ciudadana-y-Escolar\\_compressed.pdf](https://www.redobservadores.cl/wp-content/uploads/2020/07/Fauna-Atropellada-Problema-SocioAmbiental-y-Oportunidad-para-laCiencia-Ciudadana-y-Escolar_compressed.pdf)

- [54] Quilín, S. (2023). *Sustentabilidad Quilin*. Obtenido de <https://www.quilin.cl/sustentabilidad/>
- [55] Sandoval, G. (2016). ¿Se puede innovar en infraestructura vial en Chile? Obtenido de <https://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3498&ni=se-puede-innovar-en-infraestructura-vial-en-chile>
- [56] Thenoux, G., García, P., & Rodríguez, I. (2023). *Reciclado de pavimentos de concreto mediante tecnología de Resonant Rubblizing (micro-fracturación por resonancia): Estado del arte*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/369752014\\_RECICLADO\\_DE\\_PAVIMENTOS\\_DE\\_CONCRETO\\_MEDIANTE\\_TECNOLOGIA\\_DE\\_RESONANT\\_RUBBLIZING\\_MICRO-FRACTURACION\\_POR\\_RESONANCIA\\_ESTADO\\_DEL\\_ARTE](https://www.researchgate.net/publication/369752014_RECICLADO_DE_PAVIMENTOS_DE_CONCRETO_MEDIANTE_TECNOLOGIA_DE_RESONANT_RUBBLIZING_MICRO-FRACTURACION_POR_RESONANCIA_ESTADO_DEL_ARTE)
- [57] Thenoux, G., González, Á., & Dowling, R. (2007). Energy consumption comparison for different asphalt pavements rehabilitation techniques used in Chile.

# Anexos

## ANEXO A. TRANSCRIPCIÓN DE ENTREVISTAS REALIZADAS

### A.1. Gabriel Opazo Quezada

1. **¿En qué se desempeña actualmente, y cuál ha sido su experiencia en obras viales?**
  - Mira, yo soy Ingeniero Civil en Obras Civiles de la Universidad de Santiago (USACH), egresé el año 2019, en cuanto me titulé, empecé a trabajar en el proyecto de Américo Vespucio Oriente (3 años).
  - El sector donde yo entré era un sector con trinchera, no de túnel minero que corresponde a la parte donde se está inundando ahora la obra. La trinchera son autopistas de 2 pisos o 2 niveles (vía 1 y vía 2) en donde a nivel de obras civiles tiene de todo tipo de obra, pilotes, losas postensadas, losas normales (armadas), pavimentos de hormigón, muros pantalla o en base a Shotcrete, sistemas de drenaje, etc. De todo un poco a nivel de ing. Civil. Yo entré en la parte de Producción, la que en esta empresa suele ser la parte de terreno, es decir, el área que viene a unificar cada uno de los departamentos asociados a cada uno de los servicios que requiere una obra en sí; por ejemplo, tengo que coordinar a los servicios afectados cuando construyo una carretera (servicios eléctricos, iluminación, agua potable, alcantarillado, etc.), otro ejemplo es la coordinación con Oficina Técnica cuando existe una discordancia con respecto a planos y proyecciones que no calzan con lo que se dispone realmente en terreno.
  - Luego, en 2022, me vine como jefe de producción al proyecto de Sacyr de la “Carretera de la Fruta, tramo B5 de 15 a 25 [Km]
2. **En base a sus conocimientos ¿Puede describir ejemplos concretos de proyectos viales en los que se hayan aplicado métodos de construcción o tecnologías sustentables?, siendo esto el uso de materiales reciclados, metodologías que disminuyan el uso de recursos, emisiones de contaminantes, entre otros aspectos.**
  - Si bien, los proyectos en los que he trabajado no han sido mucho, pero han sido de larga duración, me han permitido ver hartas cosas aplicadas a instalaciones de faena. Por ejemplo, en esta ruta, para todas las faenas tenemos sistemas de recolección, almacenamiento y tratado de aguas negras que una vez tratadas son utilizadas para el riego de plantaciones agrícolas locales como frutillas que tenemos colindantes a la obra; de esta manera, estamos evitando descargar estas aguas a la red de alcantarillado local y a cursos de ríos cercanos. Por otro lado, estamos en proceso de implementar paneles solares para energizar sistemas de señalización vial que se utiliza durante la ejecución, como lo son las flechas que indican la dirección del tránsito cuando se realizan desvíos. Al final uno normalmente necesita



generadores en base a petróleo para alimentar este tipo de equipos, lo cual implica una gran emisión de CO2 tanto por la quema de combustible como también por el traslado de éste. También las torretas de iluminación ubicadas en los frentes de trabajo y puntos de acopio de materia son energizadas por paneles solares.

- Por otro lado, cuando realizamos reposición de calzadas, utilizamos el material resultante del fresado para acondicionar caminos básicos en los que tenemos acceso ya sea a empréstitos o a botaderos, es decir, utilizamos este material para caminos que son impactados por la obra y así disminuir la polución en caminos que están compuestos por materiales muy finos, en este tipo de caminos la polución es considerable, y dado el nivel de ocupación de estas vías, requieren de obras de mantenimiento adicionales a la del proyecto. Ese material de fresado, en combinación con un imprimante o con sellador asfáltico (riego de liga), sobre este camino de obra, permite generar una barrera física entre los camiones y el suelo, lo cual impide que el material suelto sea liberado al aire en forma de contaminación. Previo a ello, lo que usualmente se hace es pasar un camión aljibe por el camino a utilizar, y regar la superficie para que no desprendiera polvo, lo cual implica un gasto tanto de agua como de combustible por parte de la maquinaria utilizada, por lo que, ante la aplicación de esta nueva acción, los recorridos realizados por el camión aljibe disminuyeron de 4 viajes a 1 viaje diario ([viaje/día]) en el horario de mayor calor.
- Adicionalmente, están comenzando a implementar una instalación de faena autosustentable en donde cada trabajador pueda tener cada uno de los medios básicos, servicios y recursos necesarios que requieran. Se espera que dichas instalaciones sean similares a unas casas rodantes pero que contengan comedores, que tengan baño, agua para su servicio y operación, y que sus estanques sean rellenados periódicamente. ¿Qué implica eso?, que las personas tengan un sector hábil para sus necesidades, evitando el traslado constante de trabajadores, entenderás tú que en una obra de 15 [Km] las distancias recorridas son largas y que al disponer de unidades móviles se realizan menos emisiones de CO2 asociadas al traslado de trabajadores hacia los respectivos frentes de trabajo.

### **3. En relación con esos métodos y/o tecnologías, ¿cómo fue su aplicación? Es decir, ¿qué dificultades tuvieron en el proceso, resultó exitosa su aplicación?**

- Súper bien, cada uno de los procesos implementados asociados a sustentabilidad, ya sea por el lado energético o por el lado económico han resultado bastante bien. ¿Qué es lo que cuesta realmente?, el tener el personal capacitado que nos esté viendo los paneles solares, ese es uno de los posibles problemas.
- Yo hace un tiempo estuve viendo una opción de pintar la instalación de la faena con una pintura cuyo material basado en nanotecnología permite generar el proceso de fotosíntesis, la cual fue diseñado por unos chilenos, pero que aún no ha podido realizarse porque no he tenido respuestas de ellos. Esa es una de las falencias que implica el implementar este tipo de tecnologías, la comunicación que se realiza con el proveedor, por lo general en Chile las líneas de comunicación entre Constructora – Proveedor son interrumpidos o poco constante

al momento de dar respuesta. (Ejemplo: uno solicita un material, la empresa va a revisar a bodega si es que tienen y luego no contestan o tardan en responder), el proceso de adquisición termina siendo finalmente una limitante que atrasa.

**4. ¿Cuáles son los beneficios económicos, medioambientales observados al utilizar materiales y métodos de construcción sustentables en obras viales?**

- Medioambientales, se tiene la disminución de polución y la reducción de CO<sub>2</sub>, donde no se tiene que estar constantemente regando los caminos transitados que presentan alta polución, esto implica que el agua necesaria para mantener un acceso a obra y un camino transitado libre de polución. Menos polución son menos reclamos por parte de los vecinos, dado que, al estar trabajando en un sector agrícola, el polvo termina siendo perjudicial para otra actividad comercial como lo es la agricultura. Ejemplo de ella es la producción de frutillas en la zona, al llenarse de polvo las frutillas, éstas no realizan el proceso de fotosíntesis de forma adecuada y finalmente la calidad de la frutilla es menor (calibre, color, sabor, etc.), lo que implica afectar actividades laborales presentes en la zona. Siempre se tiene que buscar el equilibrio de la comunidad, la comunidad estará observando la ejecución de la obra, estará pidiendo cosas, solicitudes, reclamos, etc. Uno debe entender que estos proyectos de construcción de caminos van en pro del desarrollo local, un mejor camino implica mejores accesos, pero también implica externalidades que afectan a la población de la zona y el territorio, es el costo del camino. Ese tipo de problemas se tienen que equilibrar, ¿de qué forma?, como te lo mencioné anteriormente, ya sea utilizando el asfalto que no se utilizará en la obra, pero sí que pueden ser reutilizados en vías secundarias y accesos a la obra que van a disminuir la polución y cantidad de mantenciones que requerirá este camino y va a mejorar las condiciones de polución y ruido, además de otros impactos. Un camino con menos baches por ejemplo provoca que los camiones emitan menos ruidos durante su traslado. (Se tiene que, en varios casos los caminos secundarios corresponden a accesos de predios privados o caminos de paso, por lo que solo se tiene que hablar con los propietarios para gestionar este tipo de acciones).

**5. Durante la fase de ejecución de un proyecto vial, ¿Qué partidas o actividades dentro de la obra son aquellas donde es más sencillo implementar cambios para desarrollar el proyecto de forma tal que disminuya el impacto ambiental y al entorno sin afectar la calidad y serviciabilidad del producto?, entendiéndose como producto la obra vial en construcción.**

- Yo creo que el movimiento de tierras, en el sentido de que antes de ejecutar la vía proyectada del proyecto, la constructora debe realizar movimientos de tierra en grandes volúmenes, lo que implica camiones, implica ruido, polución, la molestia de los vecinos por la condición de que estén pasando camiones de alto tonelaje constantemente por la zona, ese tipo de cosas como se pueden disminuir o mitigar?, eso va muy relacionado a la etapa constructiva, a como yo diseño mi camino y a como evito que la maquinaria y vehículos de transporte realicen menos viajes de traslado. La maquinaria en general ha tenido poco avance respecto a sustentabilidad a diferencia de los medios complementarios como lo son las torretas de iluminación con paneles solares, las señaléticas, un montón de

cosas de este estilo, pero a nivel de métodos constructivos sustentables como tal no ha habido mucho avance. (las partidas más pequeñas son las que han implementado acciones directas.). Se conoce que en minería se han implementado vehículos eléctricos dado la magnitud de los recursos disponibles en comparación a lo que se invierte en el diseño y construcción de caminos públicos por parte del Estado y la empresa constructora ejecutora del proyecto.

**6. ¿Qué tecnologías emergentes o innovaciones en el campo de la construcción pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las obras viales en el futuro?**

- Desde mi punto de vista, lo que se tiene que mejorar es el tema de los hormigones, ya que actualmente existen los hormigones reciclados que no se han podido implementar por razones que no conozco, también existen hormigones con polímeros que son como hormigones aligerados que también sería bueno aplicarlos. ¿Por qué?, porque eso implicaría una menor extracción de áridos de los ríos y empréstitos, hoy en día los ríos se están viendo súper explotados por extracciones tanto legales como ilegales, entonces se tiene todo un mercado negro en el comercio de los áridos, para la fabricación de hormigones. Una consecuencia que ejemplifica lo anterior son el impacto que tienen la crecida de los ríos y la ausencia de material en su cuenca, se tiene que las crecidas son deformaciones en el cauce del río en donde no se dispone del material suficiente que sirva como resistencia al curso de agua para disminuir la velocidad del río. En temas de hormigones falta innovación por todos lados, el cómo producir hormigones, en como disminuir la cantidad de áridos pensando en que el hormigón tenga un símil con la roca en su estado natural, sin embargo, yo diría que hoy en día se pueden implementar tecnología al respecto. Al final en una obra donde tienes muchas estructuras, el hormigón es el principal factor participante, y respecto al hacer o no hay mucho que hacer, el acero termina siendo una materia prima en la cual no hay mucho que innovar o no tengo noción respecto a ello. Pero en los hormigones he visto mucho que se puede ser.
  
- Por otro lado, para la gestión de residuos se contratan empresas que te ofrecen ese servicio completo, lo otro es que, dentro de la declaración del impacto y su resolución ambientales, te piden declarar donde irán los residuos peligrosos, domiciliarios, de oficina y otros residuos, todo ello debe estar declarado y preestablecido. Al final nosotros como empresa nos preocupamos por construir, no de dónde van a parar los residuos industriales o domiciliarios.

## A.2. Silvana Frontier

1. **¿En qué se desempeña actualmente, y cuál ha sido su experiencia en obras viales?**
  - Soy ingeniera Civil en Obras Civiles de la Universidad de Santiago de Chile (USACH). Actualmente me desempeño en dos cosas, trabajo en la Dirección de Concesiones como jefe de proyecto, inspector fiscal de proyectos de concesiones viales, donde en conjunto con un equipo de trabajo preparamos los proyectos en su etapa inicial y los antecedentes de licitación. Además de eso tengo una consultora de Ingeniería urbana (Ingenio Consultores SpA.), la cual se encuentra en primera categoría MINVU, y desarrolla todo tipo de proyectos de ciudad y espacio urbano, como vialidad, paisajismo, parques y plazas.
  - Lo máximo que he realizado en el área de la construcción, han sido visitar en terreno los proyectos que hemos desarrollado en la Dirección de Concesiones en calidad de especialista del proyecto para resolver algún cambio o inquietud que se presente en la obra. Mi labor comienza en la fase de prefactibilidad, en donde luego de varias etapas se finaliza con un proyecto que es completamente construible. En otras palabras, los planos, las especificaciones y otros documentos técnicos que genero son utilizados por los constructores para la ejecución. Si surgen problemas imprevistos durante la construcción que no se habían considerado previamente, la empresa constructora se comunica con nosotros, los diseñadores, para buscar soluciones. Por ejemplo, podríamos sugerir la adición de un refuerzo de cierta altura para alguna estructura específica, pero la técnica exacta para ejecutar el proyecto, la forma de realizarlo, el orden de ejecución de actividades es un tema netamente constructivo que lo estima la empresa adjudicada. Por mi parte a lo más indico qué clase de controles se deben realizar en obra para verificar el diseño.
2. **En base a sus conocimientos ¿Puede describir ejemplos concretos de proyectos viales en los que se hayan aplicado métodos de construcción o tecnologías sustentables?, siendo esto el uso de materiales reciclados, metodologías que disminuyan el uso de recursos, emisiones de contaminantes, entre otros aspectos.**
  - Si bien, existen métodos y metodologías sustentables para ser aplicadas, en el espacio público el gran inversor es el Estado, y este último todavía licita en base a la oferta que sea más barata, por lo que mientras no se tenga una masificación de una metodología específica sustentable, es muy difícil que sea adjudicado, esto también tiene relación con el volumen y magnitud de las obras, ante ello lo más barato de hacer es lo que siempre se ha hecho durante años. Son muy pocos los caminos privados que se hacen, y en este tipo de proyectos se aprecia una adaptabilidad más rápida a los cambios culturales en comparación con el Estado.
  - Un cambio en la metodología de diseño corresponde a un cambio cultural, actualmente se tienen metodologías de diseño que existen hace muchos años (15, 20 o más años) Y no se aplican porque es típico emplear lo que siempre se ha realizado. Hacer cambios metodológicos trae dificultades para el ente encargado de ejecutar el proyecto, así también

como para el responsable que lo estudia, analiza y finalmente lo indica. Aunque no son dificultades insalvables, hay que explicarlo; dado lo anterior, la mayoría de los funcionarios prefiere no cambiar las prácticas desarrolladas hasta hoy. Por otro lado, el Estado ya ha definido algunos procesos internos para validar un nuevo sistema, cualquiera sea, y esos procesos también están bastante agotados, los cuales representan órdenes y lógicas de los años 70, ante lo anterior se ha decidido mantener las metodologías conservadoras que han dado resultados y que han funcionado a través de los años.

- Una metodología que no es nueva, pero que se ha utilizado en Chile es el “Rubblizing”, lo cual se viene haciendo hace unos 20 años atrás, y aún sigue siendo cuestionado. Y se trata de que cuando tú tienes una vía con losas de hormigón que ya presenten fracturas dado desgaste de uso, tú pasas una máquina especializada que golpea las losas, las fractura a cierta frecuencia, te las deja molidas y perfiladas de tal forma que pueden ser reutilizadas como base estabilizada. Recuerdo que por el año 2010 o 2011, parte del camino a Melipilla fue trabajado mediante este tratamiento como para mostrar y probar, yo no lo he visto mayormente expandido. Otra metodología que se ha utilizado, pero que ha sido cuestionada también es el uso de “Losas Cortas”, pero no recuerdo bien el motivo, al parecer la persona que patentó el sistema cobraba por su utilización.

**3. En relación con esos métodos y/o tecnologías, ¿cómo fue su aplicación? Es decir, ¿qué dificultades tuvieron en el proceso, resultó exitosa su aplicación?**

- En el caso de las obras públicas, si hay alguna innovación las hace algún privado por cuenta propia. En el área urbana es casi imposible que hagan alguna innovación, porque está mucho más controlado lo que se hace y el proyecto presenta mayores limitaciones, en el área interurbana ocurre algo similar. Las únicas excepciones son las concesiones, en donde las concesionarias (empresa que se adjudica el proyecto) son los que proponen algunas metodologías o propuestas nuevas que a esta altura se les llama innovación, aunque éstas existan hace 15 años. Pero cuesta mucho que las instituciones aprueben ese uso de metodologías nuevas, porque algo denominado como “nuevo” realmente es algo que está recién saliendo, no algo que se realiza hace más de 10 años.

**4. ¿Cuáles son los beneficios económicos, medioambientales observados al utilizar materiales y métodos de construcción sustentables en obras viales?**

- Si bien no puedo asegurar que existen beneficios económicos claros, sí puedo hablar sobre los potenciales ahorros o beneficios ambientales que se pueden producir al utilizar nuevas alternativas, como por ejemplo el reciclado de asfalto, hoy en día se podría reciclar el 100% de este material en obras de mantención, y el poco reciclado que hay es porque el privado no tiene la iniciativa de hacerlo. Si bien el Manual de Carreteras ha sufrido actualizaciones en los últimos años, y se menciona la posibilidad de reciclar un cierto porcentaje, la verdad es que podría reciclar el 100% en lugar de desechar el porcentaje restante de material, y no solo se podría reutilizar como carpeta de rodado, sino también como elemento que conforme la capa estructurante de la vialidad.

- En línea con lo anterior se tiene el tema de los granulares y la escasez que existe de estos materiales en algunas zonas del país, piensa en obras las cuales requieren granulares y no existen empréstitos competentes a 200 [km] o 300 [km] de distancia, imagina no solo la variable ambiental de extraer el material en zonas tan distantes a la afectada por las obras, sino el costo económico de transportar todo ese material, ¿por qué no mejor utilizar el material que está disponible en obra y reciclar el asfalto para utilizarlo como algún tipo de base?. O en caso de pavimentos de hormigón, utilizar la metodología Rubblizing como te había mencionado, la cual consiste en trabajar sobre una carpeta de rodado de hormigón que presenta fracturas y por medio de una maquinaria ir triturando las losas existentes para posteriormente compactarlas y construir la vialidad planeada sobre este material tratado, tal como se hizo con el Camino a Melipilla como te mencioné anteriormente.

5. **Durante la fase de ejecución de un proyecto vial, ¿Qué partidas o actividades dentro de la obra son aquellas donde es más sencillo implementar cambios para desarrollar el proyecto de forma tal que disminuya el impacto ambiental y al entorno sin afectar la calidad y serviciabilidad del producto?, entendiéndose como producto la obra vial en construcción.**

- Hay que entender, que previa a la etapa constructiva del proyecto, uno debe pasar por una fase de diseño de la vialidad, en la cual uno elabora un modelo de comportamiento de la estructura vial que se ejecutará en base a factores climáticos y de cargas, siendo éstas las 2 variables principales que condicionan y definen el diseño de un pavimento. Si bien, uno puede conocer nuevos materiales que se estén implementando en la industria con un enfoque más sustentable, uno tiene que conocer previamente por medio de análisis y ensayos su comportamiento, siendo ésta la única forma efectiva de poder utilizar estas nuevas alternativas, de no ser así se seguirá construyendo y diseñando con lo mismo de siempre.
- Cuando hablamos de metodologías sustentables que pueden ser utilizadas dentro de las partidas, una de las cosas que se consideran es el movimiento de tierras y evaluar la forma en cómo se disminuyen los volúmenes a trabajar, dado que es una de las partidas que mayor costo tienen dentro del proyecto, en conjunto con la partida de pavimento y la de estructuras (llevándose 1/3 del presupuesto cada una de dichas partidas aproximadamente). Dentro de lo que se puede realizar para disminuir los volúmenes se encuentra la estabilización de taludes para que los ángulos de corte sobre el terreno existente no sean tan pequeños, tal como se realizó en la salida Sur de Santiago, en la zona de Angostura de Paine, para aquel proyecto se realizaron anclajes de los taludes, en colaboración con el uso de geomallas y Shotcrete para mantener la estabilidad del terreno ante la nueva condición de corte. Dentro de la misma línea se tiene la partida de pavimento, pensando en un proyecto interurbano por ejemplo, en donde fácilmente se pueden tener 100 [km] de vialidad a ejecutar, el disminuir la estructura de pavimento implica una disminución en los movimientos de tierra y de material a utilizar, pero para ello se debe tener conocimiento previo del

comportamiento de la carpeta estructural a utilizar, sea conformada por materiales tradicionales y vírgenes como también por materiales reutilizados y alternativas sostenibles.

**6. ¿Qué tecnologías emergentes o innovaciones en el campo de la construcción pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las obras viales en el futuro?**

- En construcción, una de las cosas super buenas que está pasando hace algunos años son los equipos y maquinarias guiados con GPS, los cuales adicionalmente poseen sensores que te permiten optimizar mucho por ejemplo la colocación de agua, la cantidad de pasadas de un rodillo, eso es netamente constructivo. Es muy sabido que los sensores permiten medir e indicar la humedad que tiene tu capa de relleno, la cual, una vez alcanzada la humedad óptima de tu capa, se termina de adicionar agua por parte de la maquinaria. Anteriormente, cuando no había sensores, lo que se realizaba era pasar compactando la cantidad de ciclos indicados por proyecto. Actualmente te va indicando in Situ y puedes tomar decisiones en la construcción. Lo mismo pasa con la compactación, tal como te mencioné anteriormente se debían realizar las pasadas indicadas por proyecto.
  
- Otra tecnología emergente que se observa actualmente es el uso de equipos y maquinarias automatizadas, lo cual permite reducir accidentes dado que no se requiere personal humano al momento de operar las máquinas. También es común ver en obra maquinaria que ante labores de pavimentación y producción de mezcla asfáltica, logra regular la cantidad de asfalto que se requiere en base a la cantidad de árido que se tiene, Esta tecnología se utiliza hace mucho tiempo, pero a eso súmalo lo que es el uso de sensores, lo cual te permite saber la temperatura a la que está funcionando, la temperatura ambiente. Todas lo mencionado anteriormente contribuye al medio ambiente, optimizan el trabajo constructivo y además contribuye a la seguridad de los trabajadores.
  
- Dentro de la misma línea, se tiene el uso de sensores in situ que permite recopilar información sobre la condición a la cual se somete la vialidad, analizando factores como el clima, cargas solicitantes, humedad relativa, nivel de tráfico, entre otras variables. Complementando lo anterior con un centro de comunicaciones puedes controlar todo lo que pasa en tu ciudad u obra interurbana, monitorear y controlar el real comportamiento de las cargas a las que está sometido tu pavimento dado un sobre uso de la estructura. Esto permite diseñar en base al estado real de sollicitación de cada camino en particular, con un cierto nivel de tráfico, en una cierta ubicación geográfica y ante condiciones climáticas específicas, y no a un proyecto preestablecido o tipo.

### **A.3. Marcos González**

1. **¿En qué se desempeña actualmente, y cuál ha sido su experiencia en obras viales?**
  - Yo me desempeño como académico jornada completa aquí en el departamento de Ciencias de la Construcción de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), y dentro de los ramos que imparto (son 3) se destaca Diseño y Construcción de Obras Viales”, ve todo lo que es pavimentos de hormigón y asfalto, también me gusta estudiar el tema del asfalto, en donde he tenido la oportunidad de realizar trabajos de investigación con otras universidades con respecto al asfalto como tal.
  - Respecto a la experiencia de obras viales, previo a dedicarme a la academia, trabajé 12 años en obras de vialidad urbana, como inspección Técnica (SERVIU), Asesor de Inspección Fiscal, y como constructora, recorrí todos los ambientes. Para que tu sepas, si bien en vialidad urbana se construye de forma similar a la vialidad interurbana, son otros criterios y documentos de especificaciones técnicas que se utilizan, un ejemplo de ello es la ejecución de obras de aguas lluvias y sus diferentes consideraciones en la zona urbana y en vialidad como tal, pero el método constructivo es el mismo, los materiales son los mismos.
  - Como tenía mucha mira en el tema, estuve 12 años trabajando en lo mismo, conocí muchas cosas y eso permitió abrir mi camino donde hice clases. Hice clases en el Inacap y el vespertino aquí en la UTEM. Entonces ahí me fui metiendo e introduciendo en el tema y hago los ramos como tal de obras viales.
2. **En base a sus conocimientos ¿Puede describir ejemplos concretos de proyectos viales en los que se hayan aplicado métodos de construcción o tecnologías sustentables?, siendo esto el uso de materiales reciclados, metodologías que disminuyan el uso de recursos, emisiones de contaminantes, entre otros aspectos.**
  - Mira, dentro de mi tesis doctoral mencioné el método constructivo vial del Rubblizing, ¿cuál es la técnica detrás del Rubblizing?, yo tengo una losa de hormigón existente, cierto, lo que se hace es trabajar con un equipo mecánico que comienza a golpear la losa existente en un ángulo de 45°, lo cual produce una fisura que quiebra el hormigón de la losa existente; posteriormente pasa un rodillo vibratorio, compacta la zona de trabajo y finalmente la losa fracturada queda como base estabilizada para la nueva vialidad. Inmediatamente, tú vas a colocar sobre esa base estabilizada se colocará la nueva losa, ¿Qué permite esto?, es una técnica que la investigó o patentó un Ingeniero Civil de nombre Guillermo Thenoux, egresado de la Universidad Católica, excelente profesor con el que tuve la oportunidad de estar en congreso de Asfalto y de Hormigón, donde él expuso esta técnica bastante interesante. La verdad nunca lo he visto, pero me gustaría presenciarlo ya que en la práctica la losa se puede demoler a tal magnitud tal que el material resultante presente una granulometría de grava o arena.
  - Según el profesor el resultado es impecable, pero se debe controlar la frecuencia de la maquinaria para que el acabado final sea el deseado. Lo único malo es que una vez ocurrió



en el Sector de Los Ángeles, en una obra que se quiso implementar este método, se encontró con una obra vial existente que presentaba una doble losa de hormigón, por lo que los profesionales empezaron a demoler con el Rubblizing, y lo que pasó es que el material era tan duro, y la frecuencia utilizada de tal magnitud que provocó finalmente la destrucción de la maquinaria utilizada, fue la única vez en la que este método no funcionó.

- Otro método que no se ha visto, según la nueva norma NCh 163, la nueva norma de áridos se va a poder utilizar árido reciclado y áridos artificiales en las mezclas de hormigón y mortero. Uno de los materiales que esta actualización permite utilizar son las escorias de cobre, que son el residuo generado por la producción minera del cobre y que ahora puede ser utilizado en la mezcla. La densidad del hormigón elaborado con este material es gigantesca en comparación con el hormigón tradicional, al igual que la resistencia, entonces esta medida al corto plazo va a ser un aporte. Lo único a considerar es que, al adicionar escoria de cobre al hormigón, aumenta el cono, las partículas que tiene este material cuesta que se hidraten, por lo que al momento de hidratar el hormigón se requiere mayor cantidad de agua. No ocurre este fenómeno al adicionar árido reciclado en la producción de hormigón, dado que el cono se mantiene, no te afecta la docilidad de la mezcla.
  - Cuando se utiliza árido reciclado, se debe corregir la cantidad de agua a dosificar a la mezcla, recordando que al definir la dosificación ésta se realiza bajo el supuesto que el árido se encuentra en estado SSS (Saturado Superficialmente Seco), entonces conocer el porcentaje de absorción es uno de los requisitos solicitados en la nueva norma, la cual indica un porcentaje aproximado a un 6% o 7%.
3. **En relación con esos métodos y/o tecnologías, ¿cómo fue su aplicación? Es decir, ¿qué dificultades tuvieron en el proceso, resultó exitosa su aplicación?**
- Como te había comentado, está el método de Rubblizing que sólo tuvo 1 caso donde se presentaron dificultades para su aplicación, dado que los profesionales encargados de la construcción no tenían conocimiento de la existencia de una doble losa en el paquete estructural de la obra vial existente, y que al no calibrar la frecuencia de operación se terminó destruyendo la máquina. Y lo otro es el tema de los áridos reciclados, en donde sólo se han hecho muestras de prueba. Ahora estoy en un proyecto que debemos presentar un Fondef (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico) para el 2024 en la universidad de Magallanes, un proyecto muy entretenido. Para ponerte en contexto, entre Punta Arenas y Puerto Natales hay 250 [km] de vialidad aproximadamente, con calzadas de hormigón, y lo que se tiene que hacer es ver la posibilidad de demolerlo y volver a construir nuevamente, con la Universidad de Magallanes estamos viendo la posibilidad de hacer mezclas de prueba con la demolición de ese hormigón, pero hay que tener cuidado porque allá el árido es muy diferente al que tenemos en la zona central, porque el pH es diferente, entre otras características. Una de las cosas que la norma está pidiendo es la realización de ensayos químicos, y esos ensayos químicos que nosotros pensamos hacer con algunos memoristas de la UTEM ya lo (-...) para Magallanes, para ver cómo funciona y reacciona, y teniendo esto de hacer mezclas de prueba y canchas de prueba, eso es lo que

queremos ver con la Universidad de Magallanes.

4. **¿Cuáles son los beneficios económicos, medioambientales observados al utilizar materiales y métodos de construcción sustentables en obras viales?**

- En principio, no te puedo asegurar que al utilizar este tipo de métodos el proyecto será más económico, hay que tener ojo con eso, porque yo tengo que hacer, lo ideal es hacerle pruebas, o sea, si quiero hacer el hormigón, tengo que verlo, analizarlo en terreno mismo, y eso de reutilizarlo, hacerle el hormigón, traerlo a la misma plana, hacerlo en la misma planta como tal. Donde se puede ocupar más rápido, es hacerlo como base estabilizada, ahí es más fácil demolerlo, para que quede como base estabilizada, u ocuparlo también como relleno estructural, que también es posible hacerlo. Eso en grosso modo. Eso es más rápido porque lo vas ocupando ahí mismo.
- Ojo con eso, también no es que va a salir más económico, eso hay que verlo, analizarlo en terreno mismo y eso es lo que también causa a la empresa constructora, como que tienen cuidado con eso, recuerda que estamos recién en pañales con este tema.
- Bueno, respecto a beneficios medioambientales está el hecho de que el camión evite viajar a botaderos a dejar escombros, al evitar eso ya estoy descontaminando. Todo es que te estoy contando es hasta ahí va todo lo relacionado a lo que es medio ambiente, o sea ocupar materiales ahí mismo en obra para fabricar materiales ahí mismo eso evita de la contaminación, evitar que un camión realice viajes de ida y vuelta a un lugar específico también es un método para evitar la contaminación

5. **Durante la fase de ejecución de un proyecto vial, ¿Qué partidas o actividades dentro de la obra son aquellas donde es más sencillo implementar cambios para desarrollar el proyecto de forma tal que disminuya el impacto ambiental y al entorno sin afectar la calidad y serviciabilidad del producto?, entendiéndose como producto la obra vial en construcción.**

- O sea, yo creo que antes de las partidas debe existir una buena programación de las obras, apoyándose en los softwares y métodos de construcción, la idea es que antes de iniciar las obras de construcción, tratar de cuantificar cuanto es lo que se va a reciclar en obra, entonces si esto lo tengo cuantificado antes de las partidas, yo creo que ese es el camino. Yo no puedo esperar al momento donde ya se estén desarrollando las labores constructivas y decir “ahhh”, sabes que me sobra hormigón que acabamos de demoler, hay que dejarlo aquí” no se debe tomar esas decisiones en el momento sino que antes, ese es el truco. A lo mejor no son partidas las que se deben considerar, sino que hitos que pueden afectar o definir qué materiales sustentables puedo reciclar, entonces ojo con eso, toda partida es posible reciclar, todo lo que es construcción, demolición, algunos cuando están construyendo, por ejemplo estoy colocando hormigón, todo ese residuo que queda en el camión, en una obra que estuve aquí en la plaza de la ciudadanía, entonces qué es lo que se

hacía, colocaban uno de estos cubos de plástico de 1 [m], entonces el camión descargaba en ese cubo todo lo que sobra, entonces este cubo se iba llenando hasta completar el volumen, y después todo ese hormigón se iba sacando, entonces si este material no fue utilizado inicialmente, y que mantiene sus propiedades, uno lo puede demoler y utilizarlo en obras más pequeñas, como base estabilizada, rellenos estructurales, u otras.

**6. ¿Qué tecnologías emergentes o innovaciones en el campo de la construcción pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las obras viales en el futuro?**

- Yo creo que, a ver, las tecnologías en los pavimentos son el tren pavimentador y la cercha, que es lo más tradicional, yo creo que lo que se me imagina es algo similar a lo que vi una vez en Holanda, en donde hacen pavimentos de hormigón, pero prefabricados, o sea los van armando como cubitos, acoplando unos con otros y por debajo están los espacios por donde pasan las redes de servicios básicos como instalaciones eléctricas, agua potable y todo lo que son los atravesos van pasando por debajo. Al igual que las obras convencionales, debajo del pavimento se hace lo que es la base y subbase granular, pero el hormigón viene prefabricado, este es un tema que puede ser considerado sustentable. A lo mejor puedo hacer este tipo de materiales con árido reciclado, fabricado en plana y lo puedo trasladar a obra para estos efectos, eso es lo que se me imagina o reciclado ahí mismo.
- Es que en unas partes estas losas de hormigón tienen unos espacios en donde van pasando las tuberías u otros servicios.
- Por ejemplo, mira, en el método tradicional está el tren pavimentador y la cercha vibradora, y con esos dos métodos lo ideal es utilizar ambos, el tren pavimentador es una máquina a la cual tú le provees el hormigón y ésta te permite ir formando de forma geométrica el pavimento, si eso lo haces de hormigón sustentable, sería lo único para eso, para construir pavimentos, lo que se viene ahora es el tema de la inteligencia artificial (IA), la cual se ocupa actualmente para dosificar hormigón, y también te sirve para diseñar hormigón y revisar el cómo afecta a la construcción como tal.

#### **A.4. Víctor Reyes**

- 1. ¿En qué se desempeña actualmente, y cuál ha sido su experiencia en obras viales?**
  - Actualmente soy jefe de la Unidad Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad encargada de la actualización de los aspectos técnicos regulatorios del servicio, donde además nos preocupamos de incorporar las principales innovaciones en tecnología vial que se vayan desarrollando y probando o los resultados de investigaciones académicas en ingeniería vial. Mi experiencia es de 22 años en distintos aspectos de los proyectos viales.
  
- 2. En base a sus conocimientos ¿Puede describir ejemplos concretos de proyectos viales en los que se hayan aplicado métodos de construcción o tecnologías sustentables?, siendo esto el uso de materiales reciclados, metodologías que disminuyan el uso de recursos, emisiones de contaminantes, entre otros aspectos.**
  - Dentro de las obras que recuerdo ejemplos de tecnologías sustentables, se encuentra la Ruta 11 Ch en la primera región y el uso de Mezclas Tibias. También se encuentra el uso de mezclas con materiales reciclados en adición a asfalto espumado en la segunda región, el uso de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en algunos contratos de vialidad, entre otros.
  
- 3. En relación con esos métodos y/o tecnologías, ¿cómo fue su aplicación? Es decir, ¿qué dificultades tuvieron en el proceso, resultó exitosa su aplicación?**
  - Dependiendo de la tecnología en algunos casos fue más fácil, en otros casos, más difícil. La principal dificultad fue desde el punto de vista práctico sobre cómo utilizar la tecnología, se requiere un periodo de aprendizaje.
  
- 4. ¿Cuáles son los beneficios económicos, medioambientales observados al utilizar materiales y métodos de construcción sustentables en obras viales?**
  - Se supone que hay disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero esa es una falencia nuestra que no tenemos aún una metodología para medir esto.
  
- 5. Durante la fase de ejecución de un proyecto vial, ¿Qué partidas o actividades dentro de la obra son aquellas donde es más sencillo implementar cambios para desarrollar el proyecto de forma tal que disminuya el impacto ambiental y al entorno sin afectar la calidad y serviciabilidad del producto?, entendiéndose como producto la obra vial en construcción.**
  - El transporte de los materiales es un tema que a veces se deja de lado, pero es fundamental.
  
- 6. ¿Qué tecnologías emergentes o innovaciones en el campo de la construcción pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las obras viales en el futuro?**
  - Mezclas asfálticas tibias, áridos reciclados y artificiales, elementos prefabricados, diseño optimizado de estructuras, uso optimizado de la energía, optimizar el transporte de materiales

## **A.5. Katherine Martínez**

### **1. ¿En qué se desempeña actualmente, y cuál ha sido su experiencia en obras viales?**

- Soy arquitecta de base y me dedico a temas de sostenibilidad especialmente ambiental en el sector de la construcción, trabajo hace años en la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) que es parte de la Cámara Chilena de la Construcción, específicamente en el cargo de Líder de Sostenibilidad Ambiental. Dentro de dicho departamento, desarrollando hartos estudios al igual que vemos la forma de capacitar a las empresas del rubro para que comiencen a incorporar mejores prácticas en temas de sustentabilidad y eficiencia que vayan en pro de prevenir la generación de residuos y disminuir la huella de la industria. Respecto a obras viales, no tengo mucha experiencia al respecto, pero si he podido conocer algunas empresas que se dedican a obras viales y percibir algunos temas que son complejos para este tipo de proyectos como por ejemplo el abastecimiento de áridos y su escasez, la extracción ilegal, algunas iniciativas de reincorporar materiales de reciclado en obras viales como los áridos reciclados, entre otros.

### **2. En base a sus conocimientos ¿Puede describir ejemplos concretos de proyectos viales en los que se hayan aplicado métodos de construcción o tecnologías sustentables?, siendo esto el uso de materiales reciclados, metodologías que disminuyan el uso de recursos, emisiones de contaminantes, entre otros aspectos.**

- Hay un proyecto piloto que fue desarrollado por la empresa ISA en La Araucanía, en el cual probaron el uso de árido reciclado en las mezclas asfálticas, también está Bitumix que es otra empresa especializada en asfaltos, los cuales también han desarrollado trabajos dentro de esa línea, prototipos y proyectos de reincorporación de material reciclado en sus mezclas, ya sea el uso de árido reciclado, caucho reciclado o el uso de material de fresado. No sé si puede ser catalogado como obra vial, pero también he conocido proyectos de mejoramiento de aeropuertos donde se reutiliza material RAP.

### **3. En relación con esos métodos y/o tecnologías, ¿cómo fue su aplicación? Es decir, ¿qué dificultades tuvieron en el proceso, resultó exitosa su aplicación?**

- Lo que he podido observar, es que la aplicación de las metodologías ha sido exitosa, pero es difícil llevarlo a algo más masivo porque hay algunas barreras normativas que están limitando ese tema. Por lo anterior es muy importante que se trabaje en la generación de documentos normativos que vayan más allá de las etapas de consultas públicas y puedan publicarse lo antes posible, tales como las normas de áridos reciclados y áridos artificiales que se encuentran actualmente en desarrollo, la publicación de este tipo de documentos permitiría su inclusión en las bases de licitación para el uso de este tipo de materiales y su masificación, enfrentando así la barrera técnica que actualmente limita a la industria. Respecto a lo anterior, hay varias empresas que están buscando la reincorporación de material de desecho generado en obra, evitando así su disposición final en vertederos y el traslado de dichos materiales, así como también disminuyendo la afección de las zonas impactadas por la recepción de materiales de desecho.
- Otra limitante observada son las indicaciones que expresan las bases de licitación respecto

al manejo de materiales generados en obra y la poca autonomía que tienen los contratistas del proyecto para la disposición de dicho material, ejemplo de ello es un recambio de veredas ejecutado en Punta Arenas por la empresa Axis, en la cual se decidió cortar los paños de hormigón de la vereda existente para posteriormente ser entregados a la comunidad colindante a las mismas calles del proyecto que se viera interesada, acción que fue recriminada por parte del mandante dado que en las bases de licitación se especificaba la demolición de esta partida, siendo este caso otra barrera que impide el desarrollo de prácticas sostenibles que vayan en pro de la economía circular.

**4. ¿Cuáles son los beneficios económicos, medioambientales observados al utilizar materiales y métodos de construcción sustentables en obras viales?**

- Los beneficios económicos tienen relación con mejoras en la productividad y mayor eficiencia, pero no tengo conocimiento en que existan estudios específicos en obras viales que avalen lo anterior. Sin embargo, si se tiene como dato específico el impacto que se genera al evitar el uso de materia prima virgen y reincorporar distintos materiales reciclados o reutilizados, lo cual es una ventaja que si bien, no es más barato que el material virgen, si tiene un impacto en la reducción de la huella de carbono y un menor impacto ambiental. Uno no siempre puede equiparar todo con el signo peso a fin de cuentas, si haces la evaluación a corto plazo, puede darse en que el material con contenido de reciclado presente un mayor valor económico, pero si lo llevas a un análisis de largo plazo en el ciclo de vida, donde en el análisis consideras externalidades adicionales, se da el caso en que te sale más favorable el uso de materiales reincorporados, más aún si consideras una evaluación social dentro del proyecto.

**5. Durante la fase de ejecución de un proyecto vial, ¿Qué partidas o actividades dentro de la obra son aquellas donde es más sencillo implementar cambios para desarrollar el proyecto de forma tal que disminuya el impacto ambiental y al entorno sin afectar la calidad y serviciabilidad del producto?, entendiéndose como producto la obra vial en construcción.**

- En cualquier proyecto, la etapa de diseño y planificación es donde es más fácil implementar cambios, ya que ahí es donde uno puede evaluar distintas alternativas de materiales o proveedores, siendo esta etapa en donde se piensa la forma en cómo se desarrollará el proyecto en etapas posteriores, una vez que ya comienzas a ejecutar la obra se tiene poco margen de cambiar proveedores o buscar alternativas. Se tiene que en la etapa de diseño, uno debe tener ya considerado todo lo correspondiente a permisos ambientales, control de sitios funcionales, aquellos sectores susceptibles a afecciones o inconvenientes que pueden retrasar las obras como encontrarse con un hito arqueológico por ejemplo, lo cual difiere a lo planificado inicialmente, por todo lo mencionado anteriormente se tiene a la etapa de diseño como aquella con mayor impacto en la toma de decisiones dentro del desarrollo del proyecto.

**6. ¿Qué tecnologías emergentes o innovaciones en el campo de la construcción pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las obras viales en el futuro?**

- Dentro de lo que he podido observar, el tema de la construcción industrializada se presenta como una buena alternativa para la ejecución de proyectos viales, por ejemplo el tema de la producción de soleras o pasarelas prefabricadas se presentan como alternativas ventajosas dado que reduce el plazo de construcción y los costos de producción. Al utilizar elementos prefabricados controlas el uso de materiales y controlas el impacto ambiental de la obra en ejecución ya que los elementos se producen en una fábrica y no en el lugar mismo de la construcción. Por otro lado se tiene el desarrollo de nuevos materiales cuya producción permita generar menos emisiones, como el desarrollo de nuevas mezclas asfálticas o materiales de subbase que incorporen material reciclado dentro de su contenido, aquellas alternativas que vayan en línea de una economía circular y construcción industrializada pienso que son el camino hacia la sostenibilidad en un futuro.

## ANEXO B. MARCO JURÍDICO APLICABLE Y NORMAS AMBIENTALES

### B.1 Anexo Normativa Legal y Regulaciones vigentes a nivel nacional

- **Constitución Política de la República de Chile:** Según lo indica la carta magna del país, específicamente en el punto N°8 del artículo 19 asociado al capítulo III se expone como derecho y deber constitucional el garantizar el derecho a toda persona a vivir en un ambiente libre de contaminación, siendo deber del Estado porque este derecho no sea afectado y proteger la preservación de la naturaleza.
- **Ley Chilena N° 19300 – Ley de Marco General Ambiental:** Establece el marco legislativo que regula el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Adicionalmente regula los instrumentos para la gestión ambiental como los mencionados a continuación:
  - Evaluación Ambiental Estratégica.
  - Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. (SEIA)
  - Acceso a la Información Ambiental.
  - Responsabilidad por Daño Ambiental.
  - Fondo de Inspección y Protección Ambiental.
  - Institucionalidad Ambiental chilena.
- **NCh 3562: Manejo de Residuos – Residuos de Construcción y Demolición y Materiales de Excavación – Clasificación y Lineamientos para un Plan de Manejo:** Normativa que dentro de su alcance establece clasificación para Residuos de Construcción y Demolición (RCD), consideraciones mínimas para la gestión de RCD y plan de gestión de RCD generados en obras de construcción y demolición. Dicha gestión engloba todas las actuaciones operativas a las que debe corresponder una construcción, incluyendo su correcta recolección, almacenamiento, transporte, pretratamiento, tratamiento y eliminación. Dicha norma considera 5 anexos informativos, siendo los siguientes:
  - Anexo A: Lista de RCD inertes.
  - Anexo B: Lista de RCD peligrosos.
  - Anexo C: Lista de TIC similares a hogares.
  - Anexo D: Listado de materiales de excavación.
  - Anexo E: Contenidos mínimos de un plan de manejo.
- **NCh 163: Áridos para morteros y hormigones - Requisitos:** Normativa que especifica las propiedades de los áridos y filleres obtenidos tanto por medio del procesamiento de materiales naturales y/o materiales tratados, y las mezclas entre estos para la elaboración de mortero y hormigón, la cual se encuentra en un proceso de actualización que en su última versión



permitirá el uso de áridos que no sean naturales, dándole cabida al uso de áridos reciclados y artificiales en la confección de hormigón. Éstos últimos áridos pueden ser utilizados siempre y cuando cumplan condiciones de dureza y resistencia.

- **Ley Chilena N° 20920 – Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Ampliada del Productor y la Promoción del Reciclaje:** El organismo responsable de esta ley es el Ministerio de Medio Ambiente, y su objetivo es disminuir la generación de residuos y promover su reutilización, reciclaje y otras formas de valorización mediante la implementación de la responsabilidad ampliada del productor. Dentro de los principales capítulos que abarca la ley se encuentra el Capítulo II que establece lo relacionado a gestión de residuos, prevención y valorización, además de obligaciones a cumplir por parte de los generadores, gestores, importadores y exportadores de residuos; el Capítulo III que indica una lista de productos prioritarios, las obligaciones a cumplir por parte de los productores y las exigencias a los sistemas de gestión de residuos; y el Capítulo IV que indica los mecanismos de apoyo a la responsabilidad ampliada del productor.
- **NCh 3848: Pavimentos – Áridos reciclados en base a residuos de construcción y demolición (RCD) inertes no peligrosos – Trazabilidad y requisitos para incorporar en bases y subbases de pavimentos:** Normativa que especifica requisitos a cumplir por parte de áridos reciclados en base a RCD, además de ensayos a aplicar a este tipo de materiales. Dicha norma aplica a todo tipo de obras de pavimentación.
- **NCh 3849: Áridos – Áridos reciclados en base a residuos de construcción y demolición (RCD) inertes no peligrosos – Clasificación, ensayos y requisitos de caracterización, y directrices para la trazabilidad:** Normativa que establece los tipos de RCD que pueden ser utilizados para la producción de Áridos reciclados, además de una clasificación en base a la NCh3562 según composición y tamaño. Especifica las obras en las cuales pueden ser utilizados estos áridos, los ensayos y requisitos para su caracterización, directrices para su trazabilidad e informa las etapas técnicas de producción.
- **NCh 3850: Pavimentos – Áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico – Trazabilidad y requisitos para incorporar en bases y subbases de pavimentos:** Normativa que especifica los requisitos a cumplir por parte de áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico, además de ensayos a aplicar para este tipo de materiales. Dicha norma aplica a todo tipo de obras de pavimentación.
- **NCh 3851: Áridos – Áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico – Clasificación, ensayos y requisitos:** Normativa que establece una clasificación de áridos artificiales provenientes del proceso siderúrgico para la obtención del hierro y el acero. La norma establece tanto los ensayos de caracterización a implementar por los productores de este tipo de áridos, como también los requisitos de producción y requisitos a cumplir por el material para distintos usos específicos.

## H.- Marco Jurídico Aplicable<sup>(2)</sup>

El siguiente marco jurídico señala la normativa ambiental que debe cumplir la Sociedad Concesionaria.

### A) Aire

- **Decreto Supremo N°144 de 1991 del Ministerio de Salud (D.O. 18/05/61).** Establece Normas para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de Cualquier Naturaleza. Establece que los gases, vapores, humos, polvo, emanaciones o contaminantes de cualquier naturaleza, producidos en cualquier establecimiento fabril o lugar de trabajo, deberán captarse o eliminarse en forma tal que no causen peligros, daños o molestias al vecindario.
- **Decreto Supremo N° 138 de 2005 del Ministerio de Salud,** Establece Obligación de Declarar Emisiones que Indica. Esta norma contiene un mandato general aplicable a todos los titulares de fuentes fijas de emisión de contaminantes, tales como grupos electrógenos, para que entreguen a la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Salud competente los antecedentes necesarios para estimar las emisiones provenientes de cada una de sus fuentes.
- **Decreto con Fuerza de Ley N° 725/67 del Ministerio de Salud,** Código Sanitario. En los artículos 67, 82 y 89 se establecen normas referidas a la higiene y seguridad del ambiente en los lugares de trabajo. Corresponde al Servicio Nacional de Salud (hoy Autoridad Sanitaria), controlar los factores, elementos o agentes del medio ambiente que afecten la salud, seguridad y bienestar de las personas y la conservación y pureza del aire y evitar en él la presencia de, materias u olores que amenacen la salud y seguridad de las personas, entre otras.
- **Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud,** Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas aplicables a los lugares de trabajo. En lo que se refiere a emisiones y calidad del aire, los artículos 32 a 35 disponen que en los lugares de trabajo debe proporcionarse condiciones ambientales y de ventilación confortables que no causen molestias o perjudiquen la salud de los trabajadores. Se establecen, además, límites permisibles de aquellos agentes químicos y físicos que puedan provocar efectos adversos en el trabajador.
- **Decreto Supremo N° 47/92 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo,** Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. El artículo 5.8.3 establece una serie de medidas de manejo destinadas a evitar las emisiones de polvo.
- **Decreto Supremo N° 75/87 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones,** Establece Condiciones para el Transporte de Carga que Indica. Este cuerpo legal señala que los vehículos que transporten desperdicios, arena, tierra, ripio u otros materiales, ya sean sólidos o líquidos, que puedan escurrirse o caer al suelo, estarán contruidos de forma que ello no ocurra por causa alguna. Además agrega en su artículo 2, inciso 2º, que "en las zonas urbanas, el transporte de material que produzca polvo, tales como escombros, cemento, yeso, etc. deberá efectuarse siempre cubriendo total y eficazmente los materiales con lonas o plásticos de dimensiones adecuadas, u otro sistema que impida su dispersión al aire".
- **Decreto Supremo N° 185/91 Ministerio de Minería** y que Reglamenta el Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el territorio de la República.
- **Decreto Supremo N°4 de 1992 de MINSAL (D.O. 02/03/92).** Reglamento sobre norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales. Esta norma se aplica a las fuentes estacionarias puntuales y grupales que se encuentren ubicadas dentro de la Región Metropolitana.
- **Decreto Supremo N° 4/94 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (D.O. 29/01/94),** Establece Normas de Emisión de Contaminantes Aplicables a los Vehículos Motorizados y Fija Los Procedimientos para su Control.
- **Decreto Supremo N°100 de 1990 del Ministerio de Agricultura (D.O. 20/08/90).** Prohíbe el empleo del fuego para destruir la vegetación en la Región Metropolitana y en la provincia de Cachapoal de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins en el periodo que se señala, la quema de rastrojos, de ramas y materiales leñosos, de especies vegetales consideradas perjudiciales y, en general, para cualquier quema de vegetación viva o muerta que se encuentre en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal. Asimismo, prohíbe en todo el territorio nacional, la quema de neumáticos u otros elementos contaminantes para la agricultura como práctica para prevenir o evitar los efectos de las heladas.
- **Resolución N°15.027 de 1994 del Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana.** Fija el procedimiento para la declaración de emisiones de fuentes estacionarias puntuales y grupales, ubicadas dentro de la Región Metropolitana.

*Figura B.1: Marco jurídico aplicable a protección ambiental del aire.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013)*

## B) Agua

- **Decreto con Fuerza de Ley N° 725/67 del Ministerio de Salud**, Código Sanitario. El artículo 71 letra b), establece que corresponde a la autoridad sanitaria aprobar los proyectos relativos a la construcción de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües y aguas servidas de cualquier naturaleza y los residuos industriales o mineros. El artículo 73 prohíbe la descarga de las aguas servidas a ríos o lagunas, o en cualquier otra fuente o masa de agua que sirva para proporcionar agua potable a alguna población, para riego o balneario, sin que antes se proceda a su depuración en la forma que se señale en los reglamentos.
- **Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud**, Reglamento de las Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. El artículo 24 dispone que en aquellas faenas temporales en que por su naturaleza no sea materialmente posible instalar servicios higiénicos conectados a una red de alcantarillado, el empleador deberá proveer como mínimo de una letrina sanitaria o baño químico. El transporte, habilitación y limpieza de éstos será de responsabilidad del empleador.
- **Decreto Supremo N° 236/26 del Ministerio de Salud**, Reglamento General de Alcantarillados Particulares y sus modificaciones. Su artículo 3° dispone que todo edificio público o particular, urbano o rural, que se construya y cuyas aguas servidas caseras no puedan, por cualquier causa, ser descargadas a alguna red cloacal pública, deberá dotarse de un alcantarillado particular destinado a disponer de dichas aguas servidas en tal forma que no constituyan una molestia o incomodidad, o un peligro para la salubridad pública.
- **Ley N° 11.402, sobre Obras de Defensa y Regularización de las Riberas y Cauces de los Ríos, Lagunas y Esteros**, (D.O. 16/12/53). Regula materias referidas a obras de defensa y regularización de las riberas y cauces de los ríos, lagunas y esteros que se realicen con participación fiscal. Además, dispone sobre la extracción de ripio y arena en los cauces de río y esteros.
- **Norma Chilena 1333 of. 1978, aprobada por Decreto Supremo N° 867 de 1978 del Ministerio de Obras Públicas** (D.O. 22/05/78). Establece límites de calidad del agua para diferentes usos.
- **Decreto Supremo N° 609 de 1998. (D.O. 20/07/1998) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia** que establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.
- **Decreto Supremo N° 90 de 2000 (D.O. 07/03/2001) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia** que establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
- **Decreto Supremo N° 46 de 2002 (D.O. 17/01/2003) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia** que establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.
- **Ley N° 18.902 de 1990**. Crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios y regula su fiscalización sobre plantas de tratamientos de residuos y sobre los efluentes industriales.
- **Código de Aguas modificada en sus artículos 58 y 63**. No se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas y bofedales en las regiones de Tarapacá y en Antofagasta. En tanto que el artículo 63 señala que las zonas que alimentan vegas y bofedales se entenderán prohibidas para mayores exploraciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones.

## C) Ruido

- **Decreto Supremo N° 146 de 1997 del Ministerio de Salud (D.O. 17/04/98)**. Establece norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas.
- **Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud**, Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales en los Lugares de Trabajo. Establece los niveles máximos de ruido a que deben estar expuestos los trabajadores en los lugares de trabajo, distinguiendo la clase de éste, en estable, fluctuante e impulsivo.
- **Decreto Supremo N° 38 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente (D.O. 12/06/2012)\***

## D) Suelo

- **Decreto con Fuerza de Ley N° 725/67 del Ministerio de Salud**, Código Sanitario. Los artículos 79 y 80, establecen que el Servicio de Salud (actual SEREMI de Salud) debe autorizar la instalación y funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.

*Figura B.2: Marco jurídico aplicable a protección ambiental del agua, ruido y suelo.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013)*



- **Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud**, Reglamento de las Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Según el artículo 19 de este Reglamento, las empresas que realicen el tratamiento o disposición final de sus residuos industriales fuera del predio, sea directamente o a través de la contratación de terceros, deberán contar con autorización sanitaria, previo al inicio de tales actividades. Para obtener dicha autorización, la empresa que produce los residuos industriales deberá presentar los antecedentes que acrediten que tanto el transporte, el tratamiento, como la disposición final es realizada por personas o empresas debidamente autorizadas por el Servicio de Salud (actual SEREMI de Salud) correspondiente.
- **Decreto Supremo N° 148/03 del Ministerio de Salud, Reglamento Sanitario de Residuos Peligrosos**. Este Reglamento establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reuso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos. Conforme lo establece el artículo 25, las instalaciones, establecimientos o actividades que anualmente den origen a más de 12 kilogramos de residuos tóxicos agudos o a más de 12 toneladas de residuos peligrosos que presenten cualquier otra característica de peligrosidad deberán contar con un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos presentado ante la Autoridad Sanitaria. El Generador deberá presentar dicho Plan ante la respectiva Autoridad Sanitaria.
- **Resolución N°5081/93 del Ministerio de Salud**. Sistema de Declaración y seguimiento de desechos Sólidos Industriales. Establece la obligación de declarar la cantidad y calidad de los residuos sólidos industriales y el destino final escogido al momento de eliminar cualquier residuo fuera del predio industrial para las actividades industriales de la Región Metropolitana.
- **D.L. N°3.557 de 1980 (D.O. 09/02/81)**. Establece Disposiciones sobre Protección Agrícola. Establece la obligación de mantener la limpieza y buen estado de los cursos de aguas, protegiendo, así, el sistema agrícola. Prohíbe el vertimiento de desechos, sustancias u otros objetos que puedan afectar la calidad de las aguas.
- **Decreto Supremo N° 4/09 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia**, Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.
- **Ley N°18.378 (D.O. 29/12/84)**. Este cuerpo legal establece las medidas aplicables a la conservación en predios agrícolas ubicados en áreas erosionadas o en inminente riesgo de erosión.
- **D.F.L. N°458 Ley General de Urbanismo y Construcción**, en lo dispuesto en el artículo 55 respecto del cambio de uso de suelo.
- Instrumentos de Planificación Territorial aplicables, según el emplazamiento de proyecto.

#### E) Patrimonio Cultural

- **Ley N°17.288 sobre Monumentos Nacionales (D.O. 04/02/70)**. Conforme a esta Ley, el hallazgo de ruinas o restos arqueológicos con ocasión de cualquier excavación, independientemente de su motivo, debe ser inmediatamente denunciada al Consejo de Monumentos Nacionales.
- **Decreto Supremo N°484 de 1991 del Ministerio de Educación (D.O. 02/04/91)**. Desarrolla los procedimientos necesarios para ejecutar la Ley N°17.288 sobre Monumentos Nacionales.
- **Ley N° 19.253 del Ministerio de Planificación y Cooperación**, Establece Norma sobre Protección, Fomento y Desarrollo de los Indígenas y Crea la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.
- **Decreto Supremo N° 236/08 del Ministerio de Relaciones Exteriores**, promulga el Convenio N° 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre "Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes".

#### F) Flora y Fauna

- **Decreto Supremo N°4363 de 1931 (D.O. 31/07/31) del Ministerio de Tierras y Colonización**. Aprueba el texto definitivo de la Ley de Bosques.
- **Decreto Ley 701 de 1974 sobre Fomento Forestal**, modificado por Decreto Ley 2.565 de 1979 y por la ley 19.561.
- **Decreto Supremo 193 de 1998 del Ministerio de Agricultura** sobre Reglamento General del Decreto Ley 701 de 1974 sobre Fomento Forestal.
- **Decreto Supremo 259 de 1980 del Ministerio de Agricultura** sobre Reglamento Técnico del Decreto Ley 701 de 1974 sobre Fomento Forestal.
- **Ley N° 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal**.

*Figura B.3: Marco jurídico aplicable a protección ambiental del suelo, patrimonio cultural, flora y fauna.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013)*

- **Decreto Supremo N° 93/2008 del Ministerio de Agricultura**, Reglamento General de la Ley Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal
- **Decreto Supremo N° 82/2010 del Ministerio de Agricultura**, Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales de la Ley N° 20.283.
- **Ley N°19.473 que sustituye texto de la Ley N°4.601**, sobre Caza, y artículo 609 del Código Civil (D.O. 27/09/96). Prohíbe la caza o captura de ejemplares de la fauna silvestre catalogados como especies en peligro de extinción, vulnerables, raras, y escasamente conocidas, así como la de especies catalogadas como beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria, para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales o que presenten densidades poblacionales reducidas. Ordena que el reglamento señalará la nómina de las especies antes referidas. Además, prohíbe levantar nidos, destruir madrigueras o recolectar huevos y crías, con excepción de los pertenecientes a las especies declaradas dañinas.
- **Decreto Supremo N°5 de 1998 del Ministerio de Agricultura**, Reglamento de la Ley de Caza (D.O. 07/12/98). Dispone, entre otras materias, sobre las categorías de conservación de especies de fauna silvestre y sobre las especies dañinas, ejecutando el mandato de la Ley de Caza.
- **Ley 18.892 Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), el D.S. N° 430/92 y sus modificaciones**. El artículo 136 impone sanciones al que introdujere o mandare introducir en el mar, ríos, lagos o cualquier otro cuerpo de aguas, agentes contaminantes químicos, biológicos o físicos que causen daño a los recursos hidrobiológicos, sin que previamente hayan sido neutralizados para evitar tales daños.
- **Decreto Supremo N°336 de 1944 del Ministerio de Tierras y Colonización**, Regula la Explotación del Tamarugo, Algarrobo, Chañar, Guayacán, Olivillo, Carbón o Carboncillo, Espino, Boldo, Maitén, Litre, Bollén y Quillay (D.O. 30/03/44). Esta norma protege estas especies y regula su explotación.
- **Decreto Supremo N°908 de 1941 del Ministerio de Tierras y Colonización**, Declara Forestales los Terrenos que comprenden Zonas de Vegetación Natural de Palma Chilena y Reglamenta su Explotación (D.O. 26/07/41). Esta norma protege la palma chilena, especie en peligro.
- **Decreto Supremo N°490 de 1976 del Ministerio de Agricultura**, Declara Monumento Natural a la Especie Forestal Alerce (D.O. 05/09/77). Prohíbe la Corta del Alerce.
- **Decreto Supremo N°43 de 1990 del Ministerio de Agricultura**, Declara Monumento Natural a la Araucaria Araucana (D.O. 03/04/90). Prohíbe la Corta de la Araucaria.
- **Decreto Supremo N° 13 exento de 1995 del Ministerio de Agricultura** que declara Monumento Natural las especies forestales Queule, Piato, Belloto del sur, Belloto del Norte y Ruil.
- **Decreto Supremo N° 129 de 1971 del Ministerio de agricultura** que prohíbe la corta, arranque, transporte, tenencia y comercio de copihues.
- **Decreto Supremo N° 1.274 d 1938 del Consejo Nacional de Comercio Exterior** sobre requisitos para la exportación de corteza de Quillay.
- **Decreto Supremo N° 1.427/41 del Ministerio de Tierras y Colonización**, Reglamento Sobre Explotación de Yareta.
- **Decreto Supremo N° 146/74 del Ministerio de Agricultura**, Prohíbe la Corta de Árboles y Arbustos en Terrenos que Indica. El artículo 1° prohíbe la corta o aprovechamiento en cualquier forma de los árboles o arbustos que se encuentren situados dentro de los terrenos que comprende la provincia de Aysén.
- **Decreto Supremo N° 82/74 del Min. Agricultura**, Prohíbe corta de árboles y arbustos en la zona precordillera y cordillera que señala<sup>(3)</sup>.
- **Decreto Supremo N° 113, Min. Agricultura**, Prohíbe corta de árboles situados en terrenos que indica (sector de terreno adyacente al Parque Nacional de Nahuelbuta y al punto denominado "Piedra del Aguila", ubicado en la comuna y departamento de Cañete, provincia de Arauco).

*Figura B.4: Marco jurídico aplicable a protección ambiental de flora y fauna.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013)*

- **Decreto Supremo N° 438/75 del Min. Agricultura**, Declara Área de protección, el sector que indica, de las Provincias de Santiago y Valparaíso.
- **Decreto Supremo N° 276 de 1980 del Ministerio de Agricultura** que aprueba reglamento sobre roce a fuego. Ley N°19.561 de 1988, donde se definen los conceptos de Plan de manejo, forestación, reforestación y terrenos de aptitud preferentemente forestal.
- **Decreto Supremo N° 151 de 2007 del MINSEGPRES**, que Oficializa la Primera Clasificación de Especies Silvestres según su Estado de Conservación (D.O.: 24.03.2007).
- **Decreto Supremo N°, 50 de 2008 del MINSEGPRES**, que Aprueba y Oficializa Nómina para el Segundo Proceso de Clasificación de Especies Silvestres según su Estado de Conservación (D.O.: 30.06.2008).
- **Decreto Supremo N° 51 de 2008 del MINSEGPRES** que Aprueba y Oficializa Nómina para el Tercer Proceso de Clasificación de Especies Silvestres según su Estado de Conservación (D.O.: 30.06.2008).
- **Decreto Supremo N° 23 de 2009 del MINSEGPRES** que Aprueba y Oficializa Nómina para el Cuarto Proceso de Clasificación de Especies Silvestres según su Estado de Conservación
- **Decreto Supremo N° 33 de 2011 del MINSEGPRES** que Aprueba y Oficializa Clasificación de Especies según su Estado de Conservación, Quinto Proceso.
- **Decreto Supremo N°531 del Ministerio de Agricultura**, Promulga Convención para la Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América (D.O. 04/10/67). Define parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de regiones vírgenes. Esta Convención prohíbe la caza y captura de especímenes de la fauna y la destrucción y recolección de ejemplares de la flora.
- **Decreto Supremo N° 1.963 de 1994 del Ministerio de Relaciones Exteriores**, que promulga Convenio Internacional sobre Diversidad biológica.
- **Decreto Supremo N°771 del Ministerio de Relaciones Exteriores**, que Promulga la Convención sobre Zonas Húmedas de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. (D.O. 11/11/1981). Esta Convención persigue detener la ocupación y desaparición progresivas de los humedales ahora y en el futuro, reconociendo las funciones ecológicas fundamentales de las marismas y su valor económico, cultural, científico y de recreo.
- **Decreto Supremo N°141 del Ministerio de Relaciones Exteriores**, que Aprueba Convención sobre El Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). (D.O. 25/03/75). Esta Convención tiene por objetivos proteger ciertas especies en peligro de extinción de la explotación excesiva mediante un sistema de permisos de importación y exportación.

#### **G) Sustancias Peligrosas, Explosivos y Combustibles**

- **Decreto Supremo N° 78/09 del Ministerio de Salud**, Aprueba Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas. Establece las normas de seguridad del almacenamiento de sustancias peligrosas, rigiendo preferentemente sobre lo establecido en materia de almacenamiento en el D.S. 594/99 del Ministerio de Salud. Su artículo 5 dispone que toda instalación de almacenamiento de sustancias peligrosas sobre 10 t de sustancias inflamables o 12 t de otras clases de sustancias peligrosas deba contar con autorización sanitaria de funcionamiento. Señala el artículo 10 que pueden almacenarse sustancias peligrosas en instalaciones no destinadas al almacenamiento o que no constituyan bodega, cuando su cantidad total no sea superior a 600 Kg o L.
- **Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud**, Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.
- **Decreto Supremo N° 656/2000 del Ministerio de Salud**, Prohíbe el Uso de Asbesto en Productos que Indica. El artículo 1° prohíbe "en el país la producción, importación, distribución, venta y uso de crocidolita (asbesto azul) y de cualquier material o producto que lo contenga." También se prohíbe "la producción, importación, distribución y venta de materiales de construcción, que contenga cualquier tipo de asbesto" (artículo 2°); y la producción, importación, distribución, venta y uso de crisotipo, actinolita, amosita, antofilita, tremolita y cualquier otro tipo de asbesto, o mezcla de ellos, para cualquier cosa, elemento o producto que no constituya material de construcción, con las excepciones que se indican en el artículo 5° (artículo 3°).
- **Decreto Supremo N° 160/08 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción**, Reglamento de Seguridad para las Instalaciones y Operaciones de Producción, Refinación, Transporte y Almacenamiento, Distribución y Abastecimiento de Combustibles Líquidos.

*Figura B.5: Marco jurídico aplicable a protección ambiental de flora y fauna, sustancias peligrosas, explosivos y combustibles.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013)*



- **Decreto Supremo N° 29/86 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción**, Reglamento de Seguridad para el almacenamiento, Transporte, y Expendio de Gas Licuado.
- **Decreto Supremo N° 133/84 del Ministerio de Salud**, Reglamento sobre Autorizaciones para Instalaciones Radiactivas o Equipos Generadores de Radiaciones Ionizantes.
- **Decreto Supremo N° 3/85 del Ministerio de Salud**, Aprueba Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas.
- **Decreto Supremo N°12/85**. Aprueba Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos.
- **Decreto Supremo N°400**, Ministerio de Defensa (Subsecretaría de Guerra), de 1978, el cual fija el Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Ley N°17.798 Sobre Control de Armas.
- **Decreto Supremo N° 83/07 del Ministerio de Defensa Nacional**, Reglamento de Ley sobre Control de Armas y Elementos Similares.
- **Decreto Supremo 474/2004 del Ministerio de Economía**, Oficializa NCh 386/2004, Destrucción de Explosivos.

#### H) Transporte

- **Ley N° 18290 de 1984 (D.O. 07/02/84)**. Establece la Ley de Tránsito.
- **Decreto Supremo N° 298/94 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones**, Reglamenta Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos. Establece las condiciones, normas y procedimientos aplicables al transporte de carga, por calles y caminos, de sustancias o productos que por sus características, sean peligrosas o representen riesgos para la salud de las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente.

#### I) Otras

- **Decreto Supremo N° 686/98 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción**, Establece Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación. La norma tiene por objetivo prevenir la contaminación lumínica de los cielos nocturnos de la I (incluyendo actual XV Región de Arica y Parinacota), II, III y IV Regiones, de manera de proteger la calidad astronómica de dichos cielos, mediante la regulación de la emisión lumínica.
- **Resolución Exenta N° 133 del Ministerio de Agricultura**, Establece Regulaciones Cuarentenarias para el Ingreso de Embalajes de Madera y sus modificaciones, modificada por Resolución N° 2.859/2007. Dispone que los embalajes de madera utilizados para el transporte de cualquier envío, procedentes del extranjero o en tránsito por el territorio nacional, incluida la madera de estiba de carga, deberán ser fabricados con madera descortezada y tratada en el país de origen de la madera con alguno de los tratamientos que se individualizan en la citada norma y señala la rotulación o "marcas" que deben exhibir. Sanciona que si el embalaje de madera no exhibe la marca exigida, o si en cualquier pieza de embalaje se detectan insectos vivos, signos de insectos vivos o de corteza, los inspectores del Servicio Agrícola y Ganadero deberán disponer su eliminación o tratamiento mediante una Orden de Tratamiento Cuarentenario, lo que será aplicado a la totalidad del envío.
- Toda la legislación ambiental vigente atingente que no ha sido especificada en el presente documento.

*Figura B.6: Marco jurídico aplicable a protección ambiental de sustancias peligrosas, explosivos y combustibles, transporte y otras.  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013)*

## B.2 Anexo Normativa Legal y Regulaciones vigentes a nivel internacional

- **Constitución Española:** Según indicaciones de la carta magna española, específicamente en el artículo 45 ubicado en el capítulo tercero denominado **Principios rectores de la política social y económica** se indica que *“Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente adecuado para su desarrollo, así como el deber de preservarlo”*. Así también, establece el deber de los poderes públicos de vigilar el uso racional de todos los recursos naturales dentro del territorio, defender y restaurar el medio ambiente, proteger y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos.
- **Ley Española 10/1998, de 21 de abril, de residuos:** Tiene como finalidad prevenir la producción de residuos, establecer marco legal para producción y gestión, y promover la reducción, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización. Aplicable a la gestión de los residuos resultantes de la prospección, extracción, valorización, disposición y almacenamiento de recursos minerales, así como de la explotación de canteras.
- **Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados:** Tiene como finalidad regular la gestión de residuos, impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. El orden de prioridades dictado por esta ley propone en los niveles superiores y de mayor incidencia la prevención, reutilización, reciclaje, otros tipos de valorización (incluida valorización energética) y por última acción la eliminación de los residuos.
- **Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero:** Publicación de operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- **Orden ACC/9/2023, de 23 de enero:** Documento que fomenta la utilización de los áridos reciclados, estableciendo la obligación general de determinar en los proyectos de construcción de obra pública y privada el uso de áridos reciclados procedente de valorización de RCD en un porcentaje mínimo de un 5% en peso sobre el total de árido previsto.
- **Decreto 112/2012, de 26 de junio:** Por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- **Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero:** Establece el marco legal para la producción y gestión de los residuos, garantizando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir al desarrollo sostenible de la actividad constructiva.



## ANEXO C. ESQUEMA DE OBRAS MAL Y BIEN REALIZADAS EN EXTRACCIONES DE ÁRIDOS EN CURSOS DE AGUA

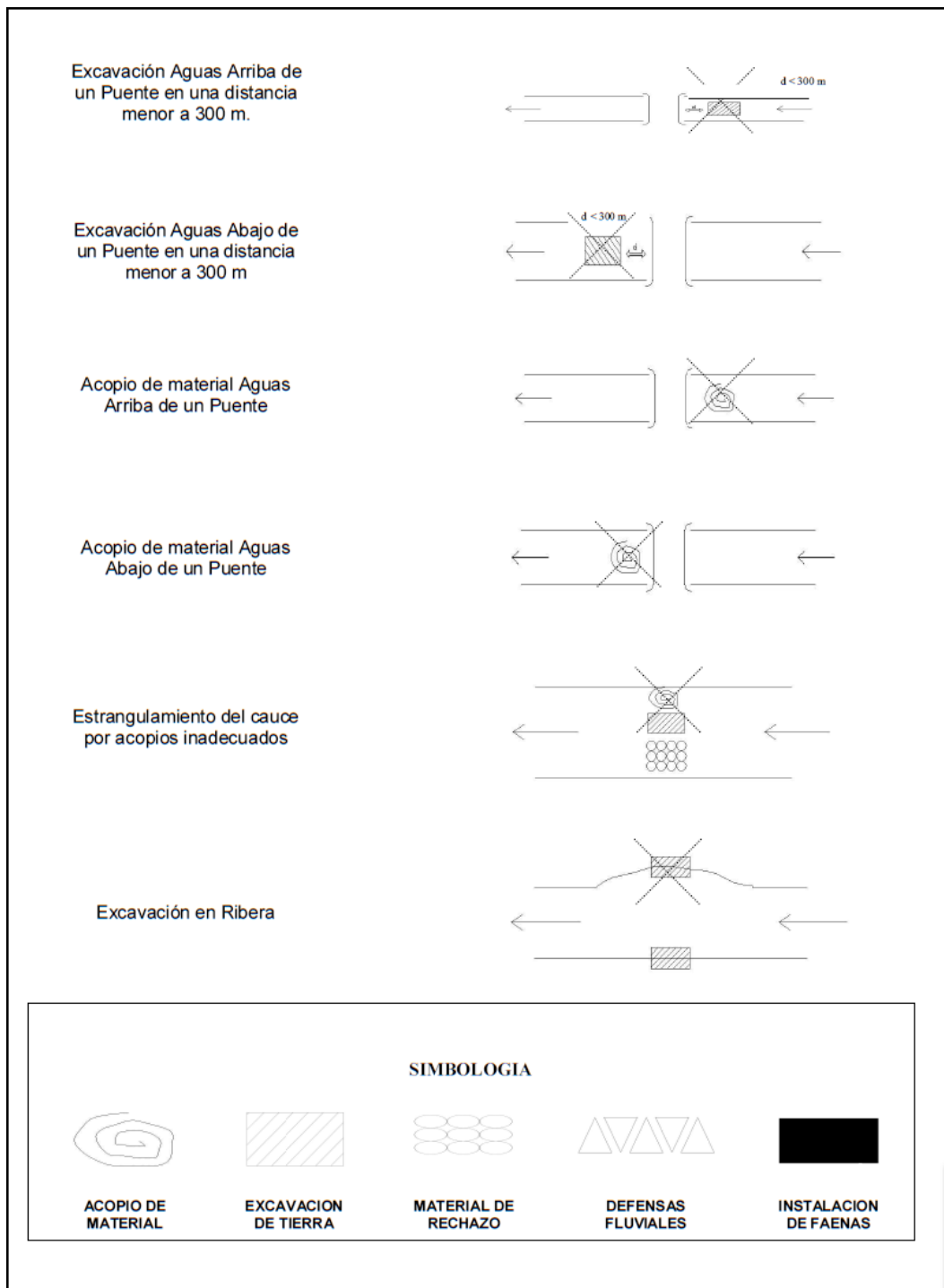


Figura C.1: Esquema de extracción de áridos en cursos de agua mal realizada (parte 1).

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

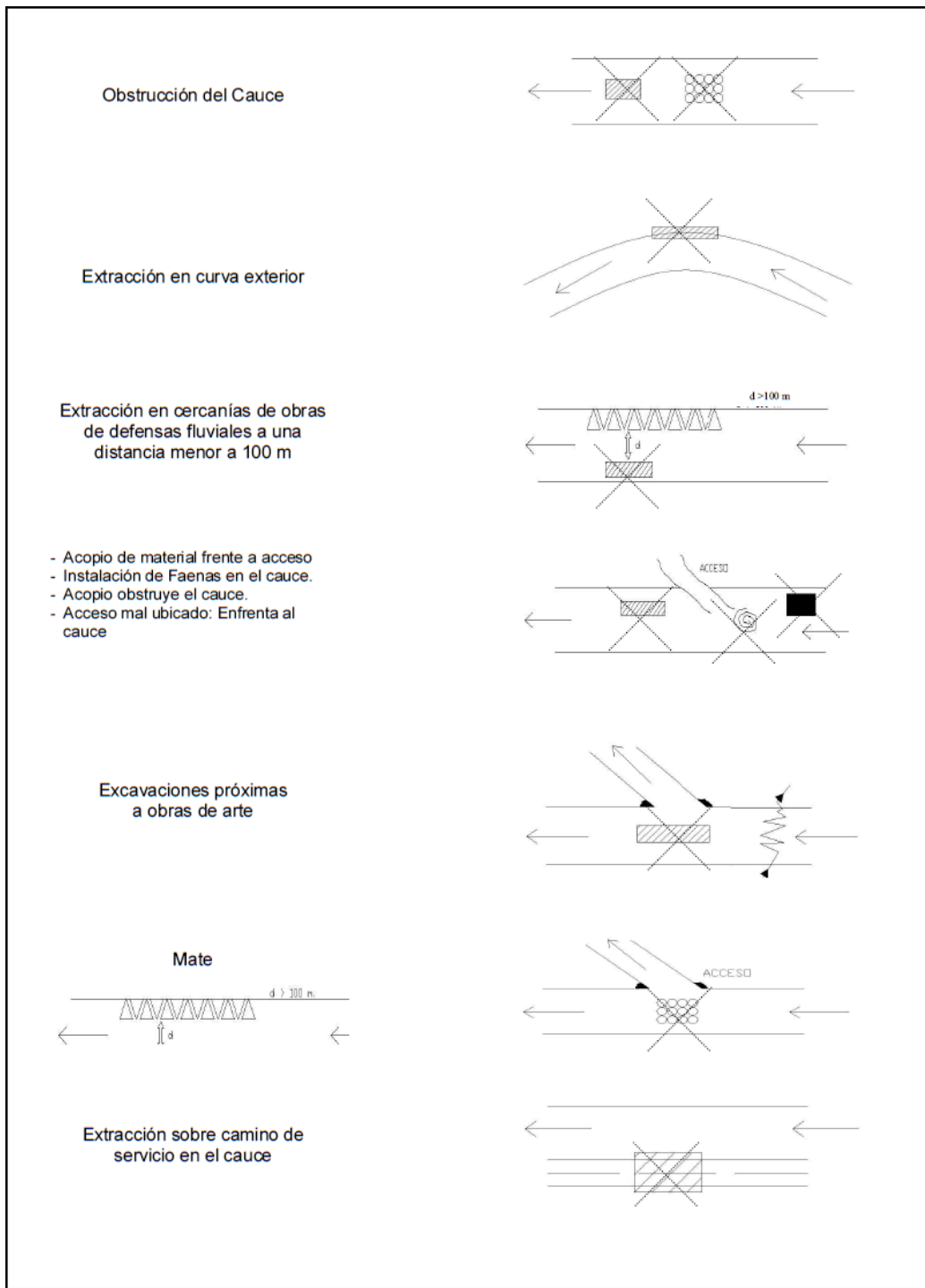


Figura C.2: Esquema de extracción de áridos en cursos de agua mal realizada (parte 2).  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

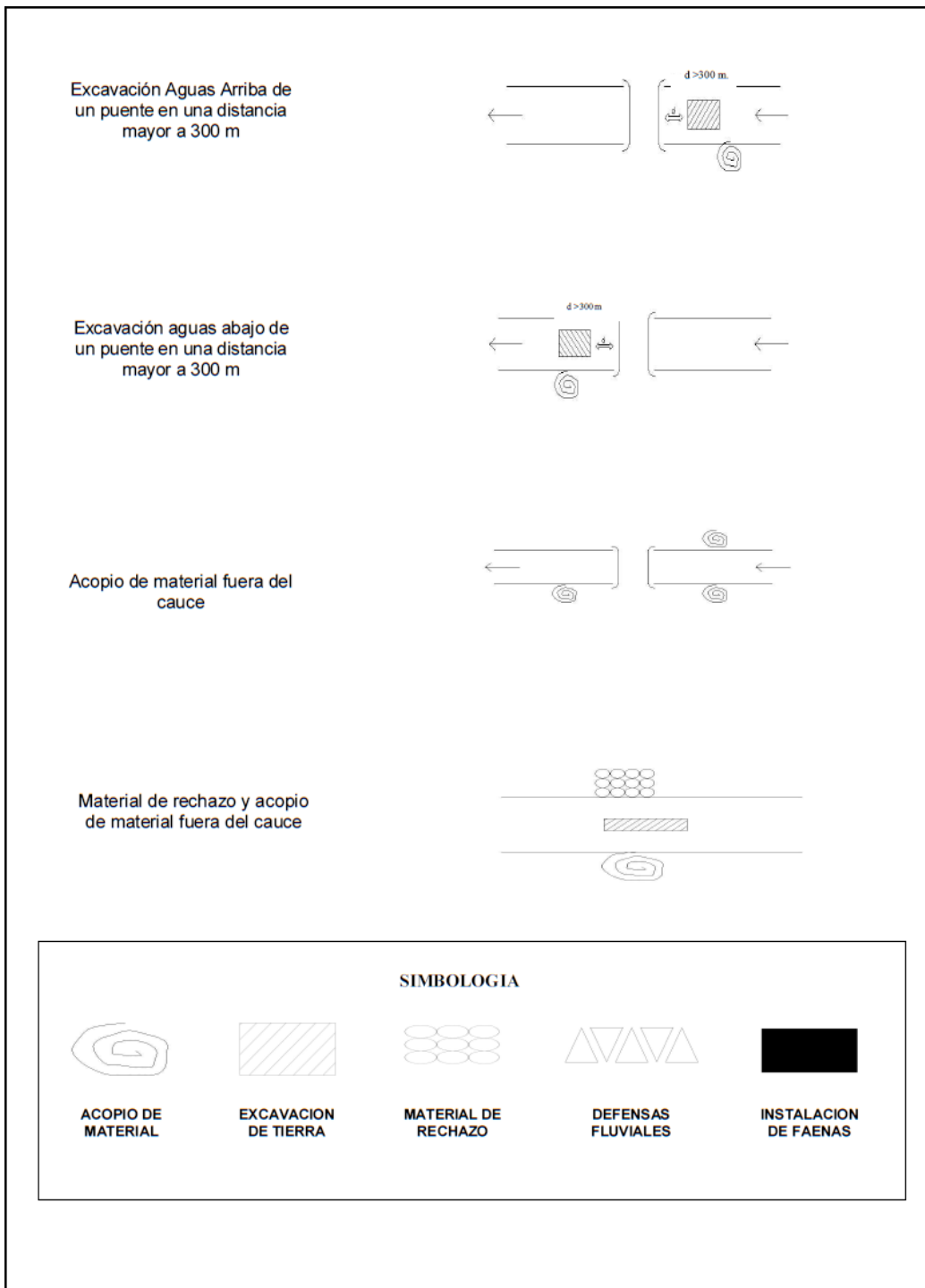


Figura C.3: Esquema de extracción de áridos en cursos de agua bien realizada (parte 1).  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

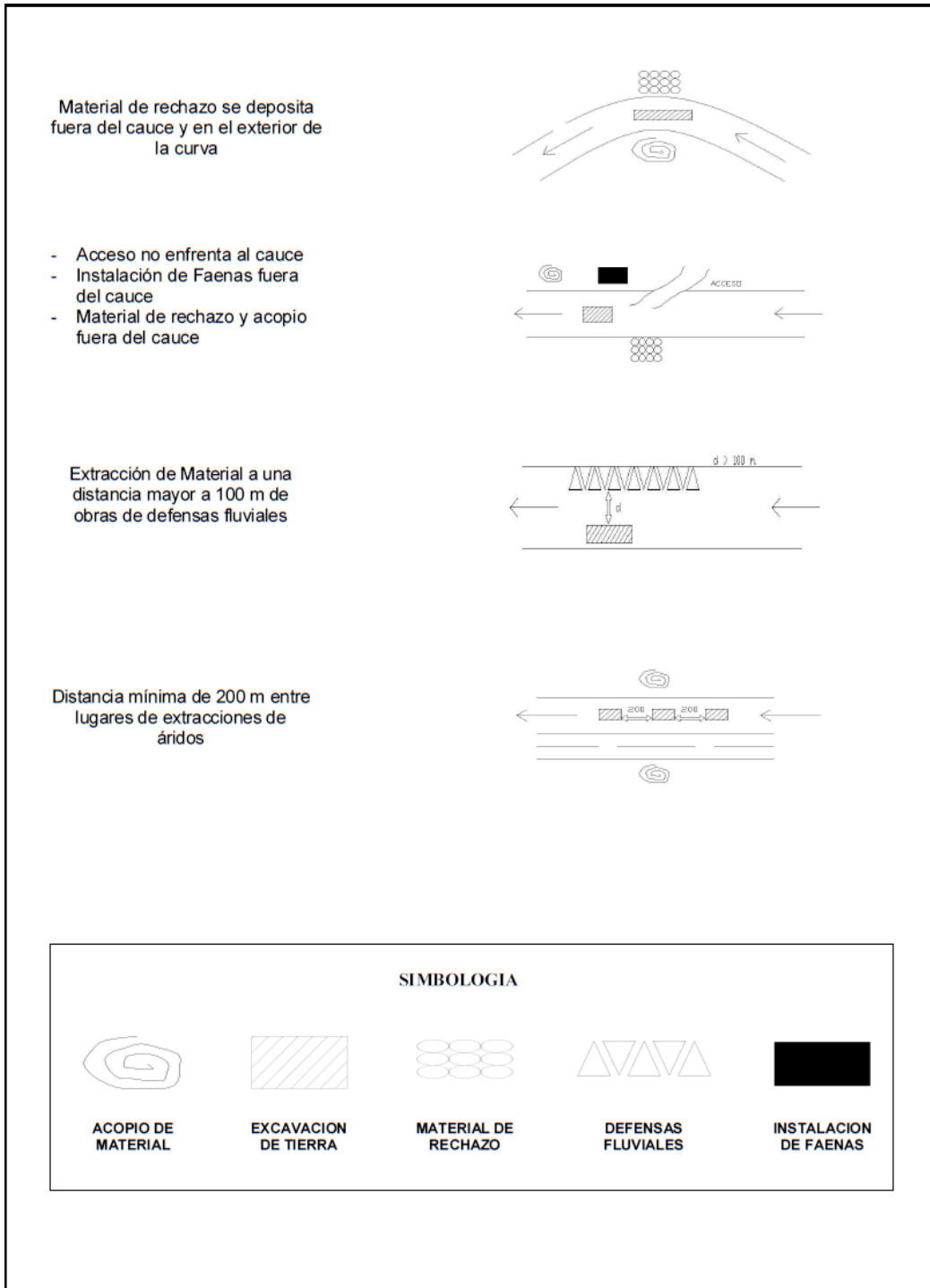


Figura C.4: Esquema de extracción de áridos en cursos de agua bien realizada (parte 2).  
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

## ANEXO D. INFRAESTRUCTURA VIAL: CLASIFICACIÓN FUNCIONAL Y CAPAS

La ejecución exitosa de proyectos viales requiere la implementación cuidadosa de una serie de procedimientos esenciales y etapas de ejecución secuenciales que aseguren un correcto cumplimiento de los alcances del proyecto. En base a las especificaciones indicadas en el **Volumen N°5 del Manual de Carreteras “Técnicas Generales de Construcción”**, se identificaron 4 procesos fundamentales a desarrollar por el ente ejecutor de la obra, siendo éstos la preparación del área de trabajo, movimiento de tierras, instalación de capas granulares y la aplicación de revestimientos y pavimentos; cada uno de ellos examinados a mayor detalle en los ítems a continuación.

### D.1 Preparación del Área de Trabajo:

De forma preliminar, antes de iniciar las faenas constructivas se debe adecuar la zona de trabajo existente para brindar las condiciones básicas que permitan la correcta ejecución de las obras, para ello, el contratista debe considerar lo siguiente:

1. **Instalación de Faenas y Campamentos:** Dentro de estas labores, se deben considerar de forma clara y detallada las labores de instalación, operación y desmonte asociadas a la instalación de faenas pertinentes para la ejecución de la vialidad, las cuales deben cumplir con un “Plan de Manejo de Instalación de Faena y Campamentos”, el cual abarca la construcción o provisión, acondicionamiento y desarme de campamentos, bodegas, oficinas, laboratorios y demás instalaciones necesarias, así como los empalmes, uniones y conexiones de servicios básicos como electricidad, agua potable, alcantarillado y calefacción que se requiera. Adicionalmente, esta partida contempla los permisos y derechos claves a solicitar que se requieran para un adecuado establecimiento de la infraestructura y puesta en marcha de las instalaciones de faena.
2. **Labores de remoción, desarme y/o demolición de las obras, elementos y estructura existentes:** Se deben identificar los elementos y estructuras existentes dentro del área de trabajo a intervenir cuya presencia interfiera en la ejecución de las obras, lo cual incluye demolición de puentes pavimentos existentes, obras hidráulicas en desuso, traslado de postaciones, elementos de seguridad vial y señaléticas, aceras, entre otros. Para lo anterior se deben realizar una clasificación y generar un inventario de aquellos componentes desarmados reutilizables que posteriormente serán trasladados a lugares de almacenamiento designados por proyecto o según orden de Inspector Fiscal. En el caso de los elementos no utilizables, éstos deberán ser trasladados a botaderos autorizados.
3. **Despeje y limpieza de faja:** Contempla las labores asociadas al desmonte, tala y eliminación de la vegetación existente dentro de la zona de trabajo a utilizar en base a las indicaciones del proyecto. Dicha limpieza implica la eliminación o poda del ramaje aéreo que interfiera con las obras u obstruya la correcta operación de la vialidad una vez entre en operación, como lo son el galibo de diseño o la visibilidad de los usuarios, aquella consideración también se aplicará al momento de decidir la remoción total de árboles.

En aquellas situaciones, donde se desea intervenir terrenos que no pertenecen a la faja vial, el contratista debe presentar, un plan de manejo del terreno por despeje a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) para su aprobación, cuya faena no iniciará hasta que se acredite al Inspector Fiscal el plan de manejo antes mencionado. El despeje y limpieza de la faja se deberá mantener hasta la recepción provisoria de la obra.

4. **Acondicionamiento de la vialidad existente:** En aquellos casos de repavimentación en donde el proyecto contempla recubrir la infraestructura existente tales como calzadas o bermas de hormigón, se debe preparar dicha superficie por medio de variadas operaciones cruciales para dicho cometido, dentro de las cuales se encuentra el rodillado, seccionamiento, asentamiento y/o fragmentación de pavimentos de hormigón. El rodillado involucra el uso de un rodillo extrapesado, el cual se implementa sobre superficies con o sin parches o recapados asfálticos, cuya efectividad de las labores es evaluada por la Inspección Fiscal, quien determina las losas y fragmentos de ésta que requieran un posterior seccionamiento y asentamiento. Por otro lado, la fragmentación de pavimentos contempla la rotura controlada de la estructura mediante la utilización de martillos neumáticos u otro equipo que produzca quiebres limpios de manera que las losas se mantengan lo más íntegras posible.
5. **Corte y reforestación de bosques para ejecutar obras viales:** Previo al inicio de cualquier actividad relacionada con esta partida, se debe contar con un “Plan de Manejo de Corta y Reforestación de Bosques” aprobado por la Inspección Fiscal y de las entidades pertinentes en conjunto con todos los permisos legales necesarios, cuyo detalle se encuentra en la **sección 9.702.305(1) del Volumen N°9 del Manual de Carreteras “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”**. Dicho plan contempla la descripción del área afectada por la obra y las componentes ambientales que se ven perjudicadas, tales como flora, fauna suelos y recurso hídrico; adicionalmente, se deben incluir los objetivos de la corta con el detalle de las obras a ejecutar, el programa de actividades de corta, reforestación y seguimiento de actividades, planos de los predios involucrados y documentación anexa. Para la implementación de esta partida, el contratista deberá contar con los servicios de un Ingeniero Forestal.
6. **Rescate arqueológico:** Previo al inicio de cualquier actividad relacionada con esta partida, se deberá contar con un “Plan de Manejo para el Rescate Arqueológico” aprobado por la Inspección Fiscal y de las entidades pertinentes en conjunto con todos los permisos legales necesarios, cuyo detalle se encuentra en la **sección 9.702.305(4) del Volumen N°9 del Manual de Carreteras “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”**. Dicho plan solo se realiza en caso de imposibilidad del proyectista de variar el trazado y/o emplazamiento del proyecto original y cuyas obras implican una cierta alteración de los eventuales sitios arqueológicos localizados en el área de construcción.

## D.2 Movimiento de Tierras

Una vez que el área a intervenir se encuentre en condiciones para iniciar las faenas constructivas, se da comienzo al proceso de movimiento de tierras predispuesto por el proyecto, el cual contempla la manipulación y redistribución del suelo para dar forma a la topografía necesaria en base al trazado de la vialidad. Para ello, se debe considerar lo siguiente:

1. **Excavación general abierta:** Con la finalidad de conformar la plataforma del camino proyectado, se contempla el desarrollo de labores de excavación, la cual incluye la formación de escarpes, cortes de camino y eliminación de materiales inadecuados. Para ello se considera como cota límite el suelo a nivel de fundación de terraplenes o subrasantes indicadas según el proyecto, utilizando para ello maquinaria especializada u otras alternativas tales como explosivos según la naturaleza del suelo a intervenir.
2. **Excavación para las obras de drenaje, puentes y estructuras:** Para una adecuada ejecución de estructuras y sistemas de operación complementarias a la vialidad, es necesario realizar excavaciones preliminares en las zonas donde se tiene planificado su instalación. Dentro de las excavaciones contempladas en este apartado se encuentran obras de drenaje con zanjas para instalación de ductos, fundaciones de estribos y cepas de puentes, muros de contención, marcos y banderas portaseñal, obras fluviales de enrocado, gaviones, entre otros. Se excluyen de este apartado las excavaciones de canales, fosos, contrafosos, túneles y pilotes.
3. **Colocación de geosintéticos:** Aquellos proyectos que requieran modificar las propiedades mecánicas y geotécnicas del suelo donde se emplazará la vialidad y que contemplen la utilización de geosintéticos deben considerar las especificaciones, provisión y colocación del material para mejorar la durabilidad de la obra, los cuales son utilizados en diversas aplicaciones como la estabilización de suelos, separación de materiales, drenaje, control de erosión y revegetación, así como en rellenos estructuras livianos y recubrimiento, optimizando de esta manera la funcionalidad y longevidad de la infraestructura, además de disminuir la probabilidad de deficiencias y mantenimientos futuros de la vialidad.
4. **Formación y compactación de terraplenes:** Asociado a las labores de conformación de la plataforma vial, se considera las partidas de relleno, formación y compactación de terraplenes, pedraplenes y ensanches de los existentes, tanto para la configuración de la plataforma de camino, como así también aquellos terraplenes sometidos a cargas temporales. Dentro de este apartado se incluye el relleno de excavaciones de escarpes realizados previamente, además del relleno de material inadecuado y otras faenas señaladas en proyecto. La complejidad de las obras y el tipo de material a utilizar para la conformación de terraplenes depende de las condiciones iniciales del área a intervenir y la magnitud del proyecto a ejecutar.
5. **Relleno estructural:** En los espacios excavados y no utilizados por las obras, es necesario la realización de trabajos de relleno estructural, los cuales contempla la intervención y disposición de material en sobre excavaciones ordenadas por la Inspección Fiscal, respaldo de estructuras tales como muros, estribos de puentes y otros lugares establecidos según proyecto. Dentro de este apartado se identifican 4 tipos de rellenos estructurales, cuyo uso depende de la disposición final donde será distribuido el material y la funcionalidad que

éste tendrá, diferenciándose entre relleno estructural, relleno estructural permeable, relleno estructural liviano y relleno estructurante, cuyas características deben adecuarse a exigencias asociadas tanto a granulometría como resistencia mecánica.

6. **Defensas fluviales de riberas:** En aquellos puntos del área a intervenir por la vialidad en los que se tenga presencia de cauces naturales o artificiales que pueden causar erosión o socavaciones es necesario la construcción de enrocados y gaviones para mantener la integridad estructural de la obra vial, además de los caminos secundarios, obras de arte y puentes que la componen. En casos que las defensas fluviales requieran obras adicionales de sostenimiento, se contempla dentro de este apartado la construcción de pretiles.
7. **Preparación de la subrasante:** Previo a la instalación de las capas granulares asociadas al paquete estructural de la vialidad, se debe preparar la plataforma del camino a nivel de subrasante según las cotas entregadas por el proyecto en las áreas de terraplén y corte desarrolladas previamente. EL objetivo de estas labores es dejar en condiciones apropiadas el suelo para recibir de forma óptima los materiales dispuestos en su superficie. En caso de observarse deterioros o deformaciones posteriores a la finalización de esta partida, el contratista asumirá la responsabilidad de readecuar la superficie a su estado original.

### D.3 Capas granulares

A medida que se avanza en las labores asociadas al movimiento de tierras, y una vez entregadas las plataformas a nivel de subrasante en cumplimiento con las especificaciones dispuestas en las Bases Técnicas del proyecto, se debe dar comienzo a las partidas asociadas a las capas granulares, las cuales conforman el paquete estructural que permite la transmisión de cargas desde la capa de rodadura hacia el suelo en donde se funda la vialidad, dependiendo del tipo de obra vial y el revestimiento superficial de ésta, se consideran las siguientes capas granulares:

1. **Confección y colocación de Subbase granular:** El material utilizado como subbase granular corresponde a aquel dispuesto como capa granular entre la subrasante de la vialidad y la base granular en pavimentos flexibles, así como también el dispuesto inmediatamente debajo de un pavimento rígido. Para confeccionar dicho material, el contratista debe seguir cuidadosamente operaciones específicas asociadas a la provisión, mezclado, colocación, perfiladura y compactación de la subbase granular, cuya ejecución es crucial para garantizar la integridad y resistencia de la infraestructura vial.
2. **Confección y colocación de Base granular:** El material utilizado como base granular corresponde a aquel dispuesto como capa granular sobre una subbase previamente extendida y compactada o sobre la subrasante, el cual es destinado a formar parte de la estructura soportante de un pavimento asfáltico de rodadura del tipo concreto asfáltico, así como también en la construcción de bermas y otras obras menores. Para su confección se deben respetar operaciones asociadas a confección, colocación y compactación para asegurar la resistencia y durabilidad de los elementos dispuestos en los niveles superiores.



## D.4 Revestimientos y Pavimentos

Asociada a la estructuración de la obra vial, se tiene como última etapa la ejecución del revestimiento y pavimentación de la carretera, la cual contempla el tratamiento superficial que se debe ejecutar para una adecuada operación de los vehículos que finalmente transitarán por la infraestructura.

Como opciones de revestimiento se tienen 2 opciones principales, los pavimentos flexibles en base a materiales asfálticos y los pavimentos rígidos en base a hormigón, cuya instalación debe contemplar previamente la extensión de riego de liga sobre las capas estructurales ya conformadas para una correcta impermeabilización y adhesión de ambas materialidades. A continuación, se detallan ambas soluciones aplicadas comúnmente en la ejecución de obras viales.

1. **Pavimento asfáltico:** Este tipo de pavimentos considera tanto la aplicación de concretos asfálticos mezclados en planta y en caliente, como así también la aplicación de capas asfálticas en frío. La primera alternativa mencionada debe considerar la mezcla y aplicación de agregados y ligantes asfálticos a altas temperaturas para garantizar una mejor compactación y durabilidad, siendo empleado comúnmente en capas de rodadura y otras capas estructurales. Este tipo de mezclas pueden ser de granulometría densa, semidensa, gruesa, abierta o fina, de acuerdo con las disposiciones detalladas por el proyecto.

Por otro lado, la solución en frío utiliza emulsiones asfálticas que permiten su aplicación a temperaturas más bajas, siendo mayormente utilizado para reparaciones puntuales, sellado de grietas y capas superficiales. Para la instalación de ambas soluciones se debe utilizar maquinaria especializada que permite su extensión y control de espesor mientras se va disponiendo sobre la estructura granular previamente elaborada.

2. **Pavimento de hormigón:** Este tipo de pavimentos se compone principalmente de hormigón de cemento hidráulico, el cual se dispone sobre una superficie granular previamente preparada la cual debe cumplir con alineamientos, cotas, perfiles y espesores especificados según el proyecto. Aquellos componentes que conforman el hormigón deben cumplir con criterios de resistencia final, granulometría de áridos, contenido de lajas, requisitos de calidad de agua y aditivos utilizados, entre otros aspectos.

## D.5 Clasificación funcional de la vialidad

En base a las características de operación y el tipo de tránsito al cual será sometida la vialidad durante su periodo de explotación, los cuales son considerados de forma previa en la etapa de diseño e ingeniería del proyecto vial es posible clasificar una carretera según la funcionalidad de ésta, tal como expone la Tabla 3.103.3 A “” asociada al **Volumen N°3 del Manual de Carreteras “Instrucciones y Criterios de Diseño”**. En dicho documento técnico se menciona 6 categorías divididas en 2 grupos principales, los cuales diferencian inicialmente a las obras viales en “Carreteras” y “Caminos”. El detalle de las categorías funcionales se expone en los siguientes ítems.

### D.5.1 Carreteras

- Autopistas: Infraestructura vial con función de prioridad absoluta para el tránsito de paso asociado a longitudes de viaje considerables, posee control total de acceso para el ingreso y salida, conectando a través de enlaces con autopistas, autorrutas y primarios. Su nivel de flujo es libre estable y con una velocidad de proyecto que varía desde los 80 km/h hasta los 120 km/h.
- Autorrutas: Este tipo de vialidad, que usualmente son emplazadas en corredores a lo largo de los que existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola, posee un servicio de tránsito de paso con prioridad absoluta y cuyo control de acceso vehicular es total tanto para el acceso como salida, conectando por medio de enlaces y accesos direccionales con vialidad de categoría tipo autopistas, autorrutas, caminos primarios y colectores. Su nivel de flujo es libre estable y está diseñada para una velocidad de proyecto de 80 km/h hasta 100 km/h.
- Primarias: Corresponde a infraestructura vial con volumen de demanda medios a altos, cuya sección transversal puede considerar calzadas unidireccionales o bidireccionales dependiendo del proyecto. Su servicio al tránsito de paso es de consideración principal y cuyo control de acceso es parcial, conectando tanto con autopistas y autorrutas, como también con primarios y colectores por medio de enlaces e intersecciones de acceso directo. La velocidad de proyecto consideradas al igual que las autorrutas varían desde los 80 km/h hasta los 100 km/h.

### D.5.2 Caminos

- Colectores: Infraestructura vial que sirven a tránsitos vehiculares de mediana a corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales y de desarrollo y que puede estar compuesto por vías unidireccionales o bidireccionales dependiendo del proyecto. Su servicio al tránsito de paso y propiedades adyacentes permite dar continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia, conectándose así con todas las categorías de rutas indicadas en este apartado, mediante todos los niveles de conexiones, sean enlaces, accesos direccionales o intersecciones. Su velocidad de diseño varía en el rango de 60 km/h a 80 km/h dependiendo de la topografía del terreno.
- Locales: Vías cuya principal conexión corresponden a caminos colectores, destinados principalmente a dar servicios a la propiedad adyacente, dando continuidad de tránsito y cuyo servicio de tránsito es de consideración secundaria; por otro lado, su servicio a la propiedad adyacente es de consideración primaria. Este tipo de ruta se conecta con vialidad asociada a su mismo grupo (caminos colectores, locales y de desarrollo) por medio de accesos directos entre sí. La velocidad de proyecto varía desde los 40 km/h hasta los 70 km/h según las condiciones del terreno.
- De Desarrollo: Infraestructura vial cuya función es la conexión de zonas aisladas y por las cuales transitan tanto vehículos motorizados como vehículos a tracción animal. Su servicio al tránsito es de dar continuidad de tránsito y de consideración secundaria, mientras que su servicio a la propiedad adyacente es de consideración primaria, conectándose así con

vialidad asociada a su mismo grupo (camino colectores, locales y de desarrollo) por medio de accesos directos. Las velocidades de proyecto varían si la topografía corresponde a terreno difícil (30 km/h) o a terreno favorable (rango de 40 km/h a 50 km/h).

Cabe mencionar que el motivo por el cual varían las velocidades de proyecto ( $V_p$ ) dentro de una misma categoría debe su justificación en las condiciones topográficas naturales del terreno considerado según el trazado del proyecto vial. Ante ello, las  $V_p$  más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas en terrenos montañosos. (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

## D.6 Especificaciones para materiales componentes de subbases, bases y capas de rodadura

Por lo general, el paquete estructural asociado a la superestructura de la obra vial se compone de las mismas capas o materiales para todas las carreteras del país, los cuales pueden presentar diferencias tanto de la capacidad soportante del material como de los espesores de capa dependiendo de las características del proyecto a ejecutar. Dado que el diseño de la infraestructura vial depende de múltiples variables como ubicación geográfica, carga solicitante de la carretera, clima, dimensionamiento, entre otros; es fundamental establecer de forma certera y confiable las especificaciones técnicas tanto de los materiales que conformarán la vialidad como de la metodología a seguir para la ejecución y desarrollo del proyecto.

Según lo indicado en el **Volumen N°8 del Manual de Carreteras “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”**, aquellas mezclas elaboradas con materiales de tipo arena – arcillas, gravas o escorias seleccionadas, arenas o material triturado proveniente de pétreos o escorias, o cualquier combinación de estos que busquen ser usados como subbase, bases y capas de rodadura deben cumplir los requerimientos indicados a continuación. Cabe mencionar que los requerimientos aplican a materiales cuyas densidades netas fluctúen entre 2.000 kg/m<sup>3</sup> y 3.000 kg/m<sup>3</sup>.

En relación con los límites de consistencia o de Átterberg, la tabla 8.101.1.A del volumen N° 8 del Manual de Carreteras indica las siguientes cifras a respetar para subbase, base y capa de rodadura.

*Tabla D.16: Límites de consistencia o de Atterberg.*

*Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)*

	<b>Límite Líquido</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>
Subbase	Máx. 35	Máx. 8
Base Estabilizada	Máx. 25	Máx. 6 (Ver 4.1)
Capa de Rodadura		
- Regiones I a III	Máx. 35	5 – 10
- Regiones IV a VI	Máx. 35	4 - 9
- Regiones VII a X	Máx. 35	3 - 8
- Regiones XI a XII	Máx. 35	Máx. 7

Respecto a las características de granulometría, se tiene como referencia la tabla 8.101.1.B del volumen N°8 del Manual de Carreteras, la cual expone una serie de bandas granulométricas de diferentes porcentajes de volumen que permite clasificar en base a este factor las mezclas de suelo.

Tabla D.17: Bandas granulométricas para subbase, bases y capas de rodadura.

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2022)

Tamiz (mm)	TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
50	100	100	100				
40	-	70 – 100	-	100	100	100	
25	55 – 100	55 – 85	70 – 100	70 – 100	80 – 100	80 – 100	100
20	-	45 – 75	60 – 90	50 – 80	-	-	70 – 100
10	30 – 75	35 – 65	40 – 75	25 – 50	50 – 80	50 – 80	50 – 80
5	20 – 65	25 – 55	30 – 60	10 – 30	35 – 65	35 – 65	35 – 65
2,5	-	-	-	5 – 15	-	-	-
2	10 – 50	15 – 45	15 – 45	-	25 – 50	25 – 50	25 – 50
0,5	5 – 30	5 – 25	10 – 30	0 – 5	10 – 30	15 – 30	10 – 30
0,08	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 20	0 - 15

El detalle de la granulometría para subbase, bases y capas de rodadura, así como su resistencia a compresión, desgaste y chancado según sea el caso describe los siguientes requerimientos a cumplir para cada tipo de material.

**Materiales para Subbase:** Debe cumplir con graduación TM-50a de la tabla 8.101.1.B, soporte  $\text{CBR} \geq 40\%$  y resistencia media al desgaste (Ensayo de Los Ángeles)  $\leq 40\%$ .

**Materiales para Base Granular:** Debe cumplir con graduación TM-50b, TM-50c o TM-25 de la tabla 8.101.1.B, porcentaje de chancado  $\geq 50\%$ , en caso de ser utilizada la base para tratamiento superficial doble el porcentaje mínimo de chancado será  $70\%$  con tamaño máximo absoluto de  $40$  [mm] e índice de plasticidad máximo será de  $4\%$ .

Material debe cumplir con soporte  $\text{CBR} \geq 80\%$ , resistencia al desgaste (Ensayo de Los Ángeles)  $\leq 35\%$ , en caso de tratamiento superficial  $\text{CBR}$  debe ser  $\geq 100\%$ .

**Materiales para Capa de Rodadura:** En caso donde se prevea que capa de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin protección asfáltica, material debe cumplir con contenido mínimo de chancado de  $50\%$ , y una de las siguientes graduaciones dependiendo de la zona geográfica:

- Zona Norte: Desde Región de Arica y Parinacota hasta Región de O'Higgins, ambas inclusive, se empleará banda TM-40c.
- Zona Sur: Desde Región del Maule hasta región de Magallanes, ambas inclusive, se empleará banda TM-40b.

Respecto a propiedades mecánicas, debe cumplir con  $\text{CBR} \geq 60\%$ , u  $80\%$  en zonas donde se permita efectuar el ensayo sin inmersión, resistencia a desgaste de fracción gruesa debe ser  $\leq 30\%$ .

Adicionalmente, existen otro tipo de bases granulares utilizadas para la ejecución de la vialidad que requiere de una trabajabilidad especial con otros materiales o componentes adicionales, las cuales deben cumplir con requisitos específicos de granulometría y resistencia mecánica según indica el capítulo 8.100 – Suelos del volumen del MDC mencionado anteriormente, dentro de estas bases se destacan.

- Base Granular Tratada con Cemento (GTC).
- Base Tratada con Cemento (BTC).
- Base Abierta Ligada (BAL).

Cabe mencionar que todos los materiales mencionados en este subcapítulo y que sean implementados en la construcción de la plataforma estructurante de la vialidad deben contener una humedad óptima o ligeramente mayor a la óptima con tal de alcanzar la densidad de diseño requerida según indique el proyecto.

## D.7 Tipo de soluciones capa de rodadura

La denominada “Capa de Rodadura” hace referencia a la capa superior de pavimento que está diseñada para resistir el desgaste causado por el tráfico vehicular, siendo este elemento de la infraestructura vial aquel que está en contacto constante con los vehículos usuarios de la vialidad, constituyendo así un elemento esencial para proporcionar una superficie resistente y duradera en la carretera. En Chile es posible utilizar diferentes tipos de materiales como solución de capa de rodadura, lo cual varía en cada proyecto dependiendo de factores como el tráfico, el clima y la disposición de materiales locales, dentro de las soluciones aplicadas a nivel nacional, se encuentran las siguientes:

**Asfalto:** En línea con lo mencionado en la sección 2.2.4 “Revestimientos y Pavimentos”, la solución de capa de rodadura asfáltica corresponde a pavimentos flexibles cuya superficie se compone de hormigón asfáltico, no presenta juntas y su espesor no supera los 10 cm. Dicho material se dispone sobre base granular que ronda los 20 cm de espesor, y suelen estar acompañados de material de subbase granular. Dada su condición flexible, este tipo de soluciones suelen deformarse con el paso del tiempo dado el tránsito vehicular, lo cual afecta a sus propiedades permeables, sin embargo, al ser una solución continua, el ruido producido por la circulación vehicular es inferior al de otras soluciones de rodadura.

**Hormigón:** Complementando lo dispuesto en la sección 2.2.4 “Revestimientos y Pavimentos”, se tiene que este tipo de soluciones corresponde a aquellas capas de pavimento rígidos, conformadas por losas de hormigón de no menos de 15 cm de espesor, separadas por juntas de dilatación y dispuestas sobre material granular que compone las capas estructurales de base y subbase granular que garantiza la capacidad estructural, estabilidad, uniformidad y durabilidad de este tipo de capas de rodadura. Los pavimentos de hormigón presentan una superficie más regular y con mejor comportamiento mecánico a las cargas transmitidas por los vehículos en circulación que aquellas soluciones de pavimentos en base a asfalto.

**Básico Intermedio:** Aquella tipología denominada como “Camino Básico Intermedio” (CBI), corresponde a obras las cuales, dada sus características precarias, requieren de la ejecución de obras adicionales de mejoramiento en las componentes de geometría, estructura, saneamiento y/o seguridad vial. Ante ello, reciben solución de pavimento del tipo capa de protección asfáltica, concreto asfáltico u hormigón delgado, pasando de una rodadura de ripio a una solución asfáltica, en donde también se considera aquellos caminos básicos existentes que requieren de obras calificadas como mejoramiento, tales como obras de arte, consideración de capas granulares estructurales, modificaciones de la geometría por medio de ensanches, cortes terraplenes, entre otras. (Dirección de Vialidad & Ministerio de Desarrollo Social, 2011)

**Capa de Protección:** Este tipo de soluciones considera la aplicación de una capa de tipo asfáltico sobre una base de suelos granular, cuyo objetivo es brindar protección y mayores condiciones de rodadura al suelo existente, disminuyendo así la rugosidad. Dentro de esta clasificación se encuentra diversos tipos de capas de protección, tales como Doble Tratamiento Superficial (DTS), Tratamiento Superficial Simple (TSS), Carpeta Delgada de Mezcla Asfáltica (CMA), Imprimación Reforzada (IR), Lechada Asfáltica (LA), Otta Seal (OS) y Cape Seal (CS). (Cavieres, 2008).

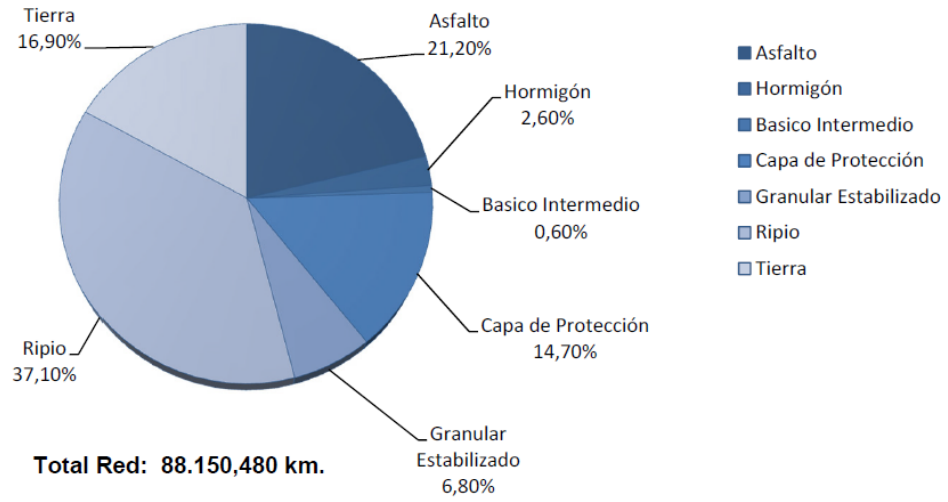
**Granular Estabilizado:** Aquellos suelos que presentan baja resistencia mecánica es propenso a sufrir deformaciones a causa de las sollicitaciones del tránsito vehicular o exposición al medio ambiente, clasificando a este tipo de materiales como suelo inestable. Ante ello, el material granular requiere de una estabilización para aumentar sus propiedades mecánicas, utilizando para ello sales o productos químicos que actúan como agentes aglomerantes entre las partículas de suelo. Dentro de esta clasificación se encuentra el uso de Cloruro de Magnesio (Bichofita), Cloruro de Sodio, Cloruro de Calcio, Proes y Fito Soil (FS) (Cavieres, 2008).

**Ripio:** También denominado como “Camino Enripiado”, corresponde a una solución de capa de rodadura que consiste en el relleno de una calzada realizado con trozos pequeños de piedra, ladrillo, grava y otros materiales. Este tipo de soluciones se frecuente en zonas rurales, montañosas o poco transitadas, cuyas vías poseen mayor resistencia en comparación a los caminos de tierra, y sufren menos anegamientos, sin embargo, el tránsito por vías con este tipo de soluciones requiere una conducción prudente por parte de los usuarios dado que los vehículos pueden presentar problemas de adherencia y estabilidad dada la disposición suelta de los materiales componentes del relleno.

**Tierra:** Este tipo de rodadura corresponde a la solución más simple que puede presentar una obra vial en operación, la cual para su ejecución utiliza directamente el material propio de la superficie que atraviesa la vialidad según trazado, siendo susceptible a alteraciones climáticas y de tránsito que afectan de forma considerable la serviciabilidad de éstos. Este tipo de rodadura tiende a generar una alta polución de material suspendido en el aire y a formar baches producto de lluvias, por lo que brindan una menor calidad de tránsito para los usuarios y de forma directa, requieren de un menor costo de inversión en comparación con soluciones de ripio.

Según lo indicado en el documento “**Red Vial Nacional: Dimensionamiento y Características**” (Dirección de Vialidad, Red Vial Nacional, Dimensiones y Características, 2022), la distribución de las diferentes alternativas de capa de rodadura utilizadas en Chile, al año 2022, se disponen según lo indicado en el siguiente gráfico.

Distribución de la Red Vial Nacional según tipo de Capa de Rodadura - Dic. 2021



*Figura D.1: Distribución de la red vial nacional según tipo de capa de rodadura.  
Fuente: (Dirección de Vialidad, 2022)*