

AMÉRICA LATINA



CAMINOS RURALES UNA PUERTA AL DESARROLLO Y LA CONECTIVIDAD TERRITORIAL



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE

Título:

Caminos rurales, una puerta al desarrollo y la conectividad territorial / América Latina

ISBN: 978-980-422-313-6

Editor: CAF

Vicepresidencia Corporativa de Programación Estratégica

Gerencia de Infraestructura Física y Transformación Digital

Mónica López

Yerko Eterovic

Autor:

Hernán Otoniel Fernández Ordoñez

Coautores:

Gustavo Wilches-Chaux

David González Herrera

Jaime Rafael Obando Ante

Colaboradores:

Johana García Valencia

Ariel Vargas Morales

Revisión del texto: Asociación Española de la Carretera

Dirección de Arte: Alejandro Maiocchi / www.maiocchipublicidad.es

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

© 2023 Corporación Andina de Fomento, todos los derechos reservados

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

Agradecimientos

Este libro nace de la aspiración por encontrar herramientas y fomentar iniciativas que favorezcan beneficios sociales, ambientales, económicos y técnicos, a través de la mejora pertinente de los caminos rurales que conforman la mayor longitud de infraestructura vial del territorio latinoamericano. Su resultado es la suma de aportes conceptuales, experiencias y vivencias impulsadas por decisiones de autoridades gubernamentales, el quehacer técnico de profesionales y la labor de las personas que ejecutan las obras y los trabajos físicos. Gratitud a todos los pioneros que han cimentado este conocimiento a lo largo de décadas.

Queremos destacar con especial aprecio las valiosas contribuciones de Aislan Buhler (Brasil) y Paul Garnica (México); al experto Fernando Sánchez Sabogal (Colombia), por su especial y valiosa contribución en el contenido técnico, su análisis crítico y su esmero por lograr lo mejor; a los especialistas Efraín Solano y Jorge Peña (Colombia); a Daniel Juan Costa y Carlos Alberto Casali (Argentina); a Mauricio Salgado (Chile); a Ángel Escobar (Perú), Auxiliadora Cascante y Eduardo Baquero (Costa Rica). Asimismo, son de agradecer las fotografías de los médicos Douglas Smith y José Antonio Castro, y de los ingenieros Carlos Alberto Palta, Jorge Quinayas, Oscar Iván Martínez, Donald Castilla, John Jairo Conde, Fabio Méndez, Cristian Camilo Calvache y Ernesto Puyana (Colombia); del ingeniero Marlon Ledezma (Costa Rica); del ingeniero Osvaldo Aguayo (Chile); de los ingenieros Armando Torres y Claudia Gómez (Brasil); de Enrique Cruz y Pablo Gonzales (Bolivia); Kenneth Lagos (Honduras); de los ingenieros Julio Ríos y Fernando Paniagua (Paraguay); de Alonso Brenes (Perú); y Carlos Useda (Nicaragua). A la Asociación Española de la Carretera por su revisión y comentarios enriquecedores que han ayudado a darle la estructura final. Finalmente, agradecemos sinceramente el soporte y colaboración de Ana Gerez y Jesús Astaiza Mosquera.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1

LA IMPORTANCIA DE TENER CAMINOS RURALES PERDURABLES Y SOSTENIBLES EN AMÉRICA LATINA

1.1 Reflexiones en el escenario mundial	15
1.2 Significado y valor de los caminos	17
1.3 La fractalidad: esa interrelación entre las partes y el todo	19
1.4 El territorio y los caminos	20
1.4.1 La interrelación entre camino, comunidades y territorio	20
1.4.2 Vínculo de los caminos con los derechos de la naturaleza y del agua	24
1.5 Los caminos rurales en el ámbito de la sostenibilidad	26
1.6 Los caminos rurales en la idea del buen vivir y el ámbito latinoamericano	28
1.7 Enfoque e iniciativas para los caminos rurales latinoamericanos	27
1.8 Consideraciones básicas y pertinencia de las soluciones para caminos perdurables y sostenibles	32

CAPÍTULO 2

MARCO GENERAL DE LOS CAMINOS RURALES EN AMÉRICA LATINA

2.1 Situación y vialidad en diez países latinoamericanos	35
2.1.1 Territorio y clima	35
2.1.2 Población y aspectos socioeconómicos	37
2.1.3 Infraestructura vial en los países	40
2.2 Organización institucional, recursos económicos y aspectos operativos para la gestión vial	43
2.2.1 Organización institucional	43
2.2.2 Recursos económicos para la gestión vial	43
2.2.3 Aspectos operativos de la gestión vial	44
2.3 Políticas, planes y programas para caminos rurales	44
2.3.1 Argentina: Programa de Caminos Rurales Productivos y Caminos Rurales: de la Degradación a la Sustentabilidad	45
2.3.2 Brasil: Programa Caminos de Integración – Patrulla de Campo	46
2.3.3 Colombia Rural y Caminos Comunitarios para la Paz Total	46
2.3.4 Chile: Programa de Caminos Básicos	47
2.3.5 México: estrategia nacional y local para caminos rurales, planes y programas	47
2.3.6 Paraguay: mejoramiento de caminos vecinales y puentes en áreas rurales de la región oriental con mano de obra local	49
2.3.7 Perú: programas para el desarrollo rural y la competitividad regional	49
2.4 Impactos de planes y programas en caminos rurales	50
2.5 Normativa	52
2.6 Técnicas de mejoramiento y mantenimiento de caminos rurales	52
2.7 Conservación o mantenimiento rutinario de caminos con participación comunitaria	54
2.7.1 Modalidades de participación comunitaria	54
2.7.2 Fuentes de financiamiento	67
2.7.3 Elementos clave para decidir la participación comunitaria en la reparación y conservación de caminos	68
2.8 Conclusiones y recomendaciones generales para construir caminos perdurables y sostenibles	69

CAPÍTULO 3	
SOLUCIONES TÉCNICAS PERTINENTES Y SOSTENIBLES PARA MEJORAR Y CONSERVAR LOS CAMINOS RURALES	72
3.1 Situación actual y soluciones pertinentes para la mejora vial	73
3.2 Rol de los caminos rurales y enfoque técnico	73
3.3 Clasificación de los caminos rurales	74
3.3.1 Trochas o pistas naturales	75
3.3.2 Caminos no pavimentados	76
3.3.3 Caminos pavimentados	98
3.4. Conclusiones	155
CAPÍTULO 4	
UNA MIRADA AL FUTURO DE LOS CAMINOS RURALES EN AMÉRICA LATINA	157
4.1 Propuesta de un nuevo modelo de conservación de caminos rurales	158
4.2 ¿Qué entender por conservación vial?	159
4.3 Urgencia hacia un nuevo modelo de conservación efectivo y sostenible	160
4.4 Lecciones aprendidas para la conservación de caminos	165
4.4.1 Conservación rutinaria de caminos	166
4.4.2 Conservación periódica de caminos	167
4.4.3 Rehabilitación y reconstrucción de caminos	167
4.5 Conclusiones generales y hoja de ruta hacia caminos perdurables y sostenibles	169
4.5.1 Priorización y selección a nivel de redes de caminos	173
4.5.2 Consideraciones y criterios generales para alcanzar progresivamente el buen estado de los caminos	174
ANEXO	
CONSERVACIÓN RUTINARIA DE CAMINOS RURALES	176
La información técnica del camino y del entorno	177
El funcionamiento eficaz del drenaje	177
El cuidado de los puentes, pontones y vados, badenes o bateas	180
Los elementos de seguridad vial	182
El cuidado del entorno	182
BIBLIOGRAFÍA	184

ÍNDICE DE CUADROS, ILUSTRACIONES, FIGURAS, GRÁFICOS Y RECUADROS

Cuadro 2.1 Territorio, población y situación social	38
Cuadro 2.2 Indicadores de aspectos humanos, competitividad, infraestructura vial y PIB per cápita	39
Cuadro 2.3 Indicadores viales por extensión territorial y población	40
Cuadro 2.4 Longitud y porcentajes de redes viales en los países estudiados, según su categoría y tipo de superficie	42
Cuadro 2.5 Técnicas de mejoramiento y mantenimiento usuales en los países objeto del estudio	53
Cuadro 3.1 Plasticidad recomendada por el TRRL para los materiales para capas de rodadura de grava	86
Cuadro 3.2 Alternativas sensibles al contexto para caminos en tierra y con material granular	89
Cuadro 3.3 Rango de influencias externas para las cuales es idóneo cada tipo de camino	90
Cuadro 3.4 Selección de categorías de paliativos de polvo	98
Cuadro 3.5 Beneficios e inconvenientes de las tres maneras de aplicar la cal	107
Cuadro 3.6 Vida de servicio esperada de algunos revestimientos o tratamientos típicos (funcionales)	121
Cuadro 3.7 Idoneidad de varios tratamientos de superficie en caminos rurales	122
Cuadro 3.8 Mecanismos de estabilización e idoneidad para aplicaciones de estabilización de suelos	129
Cuadro 4.1 Plan Vial del departamento del César (Colombia): costos de intervenciones por km en USD	161
Ilustración 1.1 Caminos en el territorio	16
Ilustración 1.2 Sector de la carretera en Rosas (Colombia) afectado por un deslizamiento de tierra	18
Ilustración 1.3 Sitios críticos que inciden en la transitabilidad y seguridad del camino	19
Ilustración 1.4 Interrelación y vínculo entre el camino y el territorio	20
Ilustración 1.5 Camino y monumento por la Paz del Mundo en la frontera entre Argentina (provincia de Mendoza) y Chile (región de Valparaíso)	22
Ilustración 1.6 Usuarios de caminos rurales	30
Ilustración 1.7 Entorno vial sensible al polvo del camino en el municipio de Tabio (Colombia)	31
Ilustración 2.1 Mingas o jornadas comunitarias en la reparación de caminos y almuerzo de convivencia	55
Ilustración 2.2 Camineros ejecutando actividades de conservación rutinaria en caminos de zonas cafeteras	56
Ilustración 2.3 Programa PROVIAL Bolivia	57
Ilustración 2.4 Microempresas de conservación vial red vial nacional de Colombia	59
Ilustración 2.5 Trabajos en caminos cantonales realizados por microempresas en Costa Rica	60
Ilustración 2.6 Trabajos en caminos rurales realizados por microempresas en Honduras	61
Ilustración 2.7 Programa Provias Rural en Perú	63
Ilustración 2.8 Actividades de reparación y mantenimiento de caminos mediante JAC en Colombia	65
Ilustración 2.9 Iniciativas comunitarias para el mantenimiento de caminos mediante una JAC	66
Ilustración 3.1 Trochas	76
Ilustración 3.2 Camino entre Puerto Colombia y Corregimiento del Veinte, en el municipio Plato, departamento de Magdalena (Colombia)	77

Ilustración 3.3 Caminos en tierra en condición de deterioro	78
Ilustración 3.4 Caminos en tierra bien conservados	80
Ilustración 3.5 Comparación de caminos acondicionados mediante intervención tradicional e intervención para la sustentabilidad	83
Ilustración 3.6 Caminos en material granular	84
Ilustración 3.7 Generación de polvo en un camino no pavimentado	91
Ilustración 3.8 Conformación de la superficie antes de un tratamiento usual para el control del polvo	94
Ilustración 3.9 Aplicación de aditivos	95
Ilustración 3.10 Caminos tratados con sales inorgánicas	95
Ilustración 3.11 Riego paliativo de polvo con bischofita en Chile	97
Ilustración 3.12 Empedrados con diferentes tipos de material	100
Ilustración 3.13 Construcción de un empedrado en Bolivia	102
Ilustración 3.14 Estabilización con cal	107
Ilustración 3.15 Aplicación manual de arena y compactación de un sello de arena-asfalto	114
Ilustración 3.16 Casos de utilización de lechadas asfálticas en superficies	116
Ilustración 3.17 Extensión de sello del Cabo sobre el tratamiento superficial	118
Ilustración 3.18 Sello de Otta construido en Kenia en 2005	119
Ilustración 3.19 Uso intensivo de mano de obra local en la extensión del agregado en un sello de Otta	119
Ilustración 3.20 Empleo de geoceldas	124
Ilustración 3.21 Empleo de geoceldas rellenas de material granular y hormigón	125
Ilustración 3.22 Uso de asfaltos naturales en Colombia	134
Ilustración 3.23 Lateritas en estado natural	136
Ilustración 3.24 Instalación de un geotextil de fibra de coco como capa de separación entre una subrasante blanda y el material granular en un camino rural de la India	139
Ilustración 3.25 Solución tradicional de placa huella	142
Ilustración 3.26 Placa huella en Colombia	143
Ilustración 3.27 Construcción de una huella-placa en México	144
Ilustración 3.28 Mejoramiento funcional del empedrado con capa asfáltica superficial en Brasil	145
Ilustración 3.29 Caminos con pavimentos flexibles en Colombia	148
Ilustración 3.30 Pavimento rígido en la carretera Leticia-Tarapacá, departamento del Amazonas (Colombia)	151
Ilustración 3.31 Camino rural en pavimento con adoquines de concreto en Paraguay	152
Ilustración 3.32 Pavimentos con adoquines de hormigón en países de América Latina	153
Ilustración 3.33 Caminos en ladrillo y en combinación con piedra en Colombia	154
Ilustración 4.1 Diferentes tipos de daños en caminos en tierra y material granular que requieren diferentes tipos de intervenciones en el departamento del Cauca (Colombia)	164
Ilustración 4.2 Reconstrucción de caminos rurales en Colombia	165
Ilustración 4.3 Equipos realizando intervenciones de recuperación y mejoramiento de caminos en el departamento del Cauca (Colombia)	168

Ilustración A.1 Caminos con diferentes condiciones de drenaje	178
Ilustración A.2 Funcionamiento deficiente de elementos de drenaje que causan el deterioro acelerado del camino en material granular	179
Ilustración A.3 Diferentes tipos de puentes en caminos rurales	180
Ilustración A.4 Puente del Inca, en la provincia de Mendoza (Argentina)	182
Ilustración A.5 Vegetación en el entorno de caminos rurales en municipios de Cundinamarca, Colombia	183
Figura 1.1 Sistema interrelacionado hacia el desarrollo sostenible	23
Figura 3.1 Clasificación general de los tipos de caminos rurales	75
Figura 3.2 Caminos de tierra mantenidos incorrecta y correctamente	79
Figura 3.3 Clasificación de técnicas y materiales para la pavimentación de caminos	99
Figura 3.4 Principales técnicas normalizadas de estabilización con aditivos	103
Figura 3.5 Selección de agentes cementantes o ligantes asfálticos para la estabilización de suelos	104
Figura 3.6 Principales tipos de revestimientos bituminosos superficiales	113
Figura 4.1 Proceso para generar un cambio de mantenimiento correctivo para una conservación sostenible	163
Figura 4.2 Propuesta de cambio del modelo tradicional reactivo a un modelo de gestión de conservación preventivo y sostenido	163
Gráfico 2.1 Distribución de la red vial de los países analizados según su jerarquía	41
Gráfico 2.2 Porcentaje de la red vial secundaria y terciaria según su tipo de superficie	42
Gráfico 3.1 Comportamiento previsible del material granular en función de su módulo granulométrico y de su producto de plasticidad	87
Gráfico 4.1 Diferencias de costos de mantenimiento rutinario y periódico con relación a los costos previstos de rehabilitación en el departamento del César	162
Recuadro 3.1 Manejo tradicional de caminos rurales en calzada natural en Argentina	80
Recuadro 3.2 Medidas de implementación para tener caminos rurales sustentables, Argentina	82
Recuadro 3.3 Modelo para la toma de decisiones sobre la pavimentación de caminos rurales	147
Recuadro 4.1 El “milagro” de los caminos indestructibles	158

ABREVIACIONES

- AACRuS:** Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables
- AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials
- ABC:** Administradora Boliviana de Carreteras
- ACE:** Análisis costo-efectividad
- ASTM:** American Society for Testing and Materials
- BID:** Banco Interamericano de Desarrollo
- COVID-19:** Enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2
- DNIT:** Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes
- INPI:** Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas de México
- INVÍAS:** Instituto Nacional de Vías – Colombia
- IRI:** Índice de rugosidad internacional
- JAC:** Juntas de Acción Comunal
- MCT:** Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú
- MG:** Módulo granulométrico
- MOPC:** Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay
- NFU:** Neumáticos fuera de uso
- ODS:** Objetivos del Desarrollo Sostenible
- PPCCM:** Programa de Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales
- PROREGIÓN:** Programa de Infraestructura Vial para la Competitividad Regional
- PP:** Producto de plasticidad
- RAP:** Reciclaje de pavimentos
- RCD:** Residuos de construcción y demolición
- RED:** Modelo de decisión económica para caminos
- SICT:** Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes de México
- SPADE:** Modelo de decisión sobre pavimentación sistemática
- TSD:** Tratamiento superficial doble
- TSS:** Tratamiento superficial simple
- TRRL:** Transport and Road Research Laboratory
- TPD:** Tránsito promedio diario

“En Europa se habla del renacimiento del camino, gracias a la acción del automóvil, aquí en nuestra pampa abierta a la voracidad del espacio, y a la esperanza promisorio del trabajo, el camino no puede renacer, debe primero nacer, para ello hay que dotarlo de su fundamental característica, que por él pueda transitarse en todas las épocas del año.”

(La ingeniería, 1928)¹

¹ Este texto acompañó el proyecto de ley para la creación de un fondo para la construcción y mantenimiento de caminos afirmados por el gobernador de la Provincia de Buenos Aires Valentín Vergara y su ministro de Obras Públicas Ernesto C. Boatti.

CAMINOS Y PROPÓSITOS EN UNA MIRADA GLOBAL

Actualmente se percibe un escenario de crisis global, calificable quizá como la más compleja que ha debido enfrentar la especie humana, por las consecuencias recientes de la pandemia del COVID-19, el cambio climático, el deterioro del planeta, los conflictos bélicos y las condiciones de pobreza y de hambre en las que vive gran parte de la población mundial. Esta situación obliga a tratar de entender y repensar cómo enfrentar las problemáticas global y local, que se repiten territorialmente de manera fractal, a generar nuevas ideas y a diseñar y poner en práctica estrategias que estimulen efectos sinérgicos. Las redes de caminos, por su ubicación espacial y geográfica, pueden servir de ejes dinámicos para contribuir en la búsqueda de soluciones integrales que ayuden a lograr esos propósitos y procuren el bien común.

Lo rural empieza a ser foco de atención y de cierta preocupación ante la mirada racional y emocional de quienes reconocen la importancia del territorio. Este contiene la mayoría de los recursos naturales y de los ecosistemas que se deben preservar y conservar para una supervivencia armónica con los demás seres vivos. En este contexto, la Agenda por el Cambio Climático y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, bajo el lema “Transformar nuestro mundo”, con sus 17 objetivos, orientan ahora la ruta a seguir en pro del planeta y de la humanidad.

Los llamados caminos rurales se extienden como meridianos en los territorios. Por ello, se propone considerarlos como elementos esenciales y dinámicos para potenciar estímulos tendientes a lograr un vínculo de mutuo beneficio entre camino, ambiente, sociedad y economía. Con este enfoque, el propósito de esta guía es generar reflexiones, describir someramente la situación vial en países latinoamericanos y, especialmente, exponer conceptos y relacionar soluciones técnicas para lograr una infraestructura caminera con la calidad, la sostenibilidad y el nivel de servicio que demandan los usuarios.

La Guía está dirigida a las personas que deben definir políticas y tomar decisiones y, particularmente, a los profesionales responsables de determinar las intervenciones técnicas necesarias para el acondicionamiento físico pertinente y la conservación que requieren los caminos rurales. Dichas intervenciones deben garantizar de manera sostenida y permanente los estándares exigidos para una movilidad cómoda y segura.

Como entidad comprometida con mejorar la calidad de vida de todos los latinoamericanos y caribeños, CAF –banco de desarrollo de América Latina– desea aportar soluciones tecnológicas eficientes y eficaces para tener redes de caminos rurales en buen estado. Dicha aspiración está en línea con sus acciones para promover el desarrollo sostenible y la integración regional y con la idea que apunta a convertir esta institución en un banco verde y azul, de la reactivación económica y social de la región.

PRESENTACIÓN

Los caminos rurales son aquellos que posibilitan la salida de la producción del campo hacia las ciudades. Además, permiten que los campesinos tengan acceso a los servicios de salud, seguridad, educación, trabajo, recreación, administración pública y a todas aquellas actividades que contribuyen a su bienestar individual, familiar y social, y que están ligadas a las condiciones de vida en cada lugar. Denominados también caminos vecinales, veredales, cantonales o provinciales, vías secundarias o terciarias y caminos básicos, entre otros términos, estas vías de comunicación son, en otra dimensión, la interrelación entre lo urbano y lo rural. Estos caminos conforman, por su longitud, la mayor parte de las redes carreteras de la región latinoamericana y atraviesan gran parte de los territorios nacionales.

La importancia de los caminos rurales se percibe de manera ambigua. En general, los países de América Latina y el Caribe carecen de la información pertinente, la política institucional, la organización, la tecnología apropiada y los recursos requeridos para una gestión e intervención efectivas que permitan mantener en buen estado sus calzadas y su relación con el entorno. Estas carencias han incidido de forma progresiva en el deterioro generalizado de esas redes, al punto de que, actualmente, se reconoce que la mayor parte de estas vías (que representan entre el 60 % y el 90 % de la red total de caminos de cada país) se encuentra en un estado entre regular y malo para la circulación de usuarios motorizados y no motorizados. En otras palabras, las condiciones de deterioro e intransitabilidad son predominantes, lo cual tiene grandes impactos sociales, ambientales y económicos, que contribuyen a ocasionar pobreza, miseria, malestar colectivo y desconfianza hacia las instituciones y los gobiernos nacionales y locales.

La mayoría de los caminos rurales subsisten entre el barro, el polvo, la emergencia o el desastre, porque se volvió costumbre no conservarlos oportuna y suficientemente. Lo habitual es esperar a que se dañen o destruyan para luego repararlos, rehabilitarlos o reconstruirlos. En este sentido, es preciso reafirmar que no se han aprendido las lecciones sobre la buena gestión y conservación de las redes viales que muestra diariamente la realidad y que desde los años noventa explican varias organizaciones con claridad (Schliessler y Bull, 1994). Por ello, es obligatorio insistir en que se debe cambiar o, mejor, huir de esa nefasta práctica tradicional de ignorar la atención del camino y olvidar su entorno porque es exageradamente antieconómica, va contra natura y no responde a las necesidades y a los clamores sociales.

El contenido de esta guía está orientado a incentivar la mejora regular y continua de la estructura física y la conservación oportuna y suficiente de los caminos. El objetivo de esta práctica es prevenir su deterioro acelerado, atender sostenidamente las necesidades de movilidad segura de los usuarios y, de esta forma, posibilitar el progreso y el bienestar social en armonía con el entorno natural. En línea con este propósito, la Guía desarrolla aspectos conceptuales y describe soluciones técnicas que se consideran pertinentes para su aplicación en el ámbito regional latinoamericano. Asimismo, espera generar diálogos relacionados con los saberes, experiencias y desconocimientos sobre los caminos y sus vínculos con el territorio.

Este documento se compone de cuatro capítulos cuyos objetivos y componentes se describen a continuación. En el primero se exponen algunas reflexiones que ofrecen una visión amplia de los caminos en el territorio y resaltan el vínculo entre lo urbano y lo rural. Se mencionan el significado y el valor de los caminos considerando las partes y el todo. De manera particular, se incorporan descripciones del camino y los territorios, indicando que las comunidades se relacionan con ellos de manera material e inmaterial. Con especial relevancia se expresa el vínculo de los caminos con los derechos de la naturaleza y los derechos al agua. También, se tratan en forma general el camino en el ámbito de la sostenibilidad, con algunas referencias en la región latinoamericana, además de proponer ciertas iniciativas y consideraciones para la toma de decisiones que conlleven al mejoramiento y la conservación efectiva de los caminos.

En el segundo capítulo se describe someramente la situación actual de estos caminos en diez países latinoamericanos: Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay. Para cada uno, se exponen las condiciones del territorio y el clima, la población, aspectos socioeconómicos, la infraestructura vial, la organización institucional, los recursos económicos y aspectos operativos para la gestión vial. Asimismo se referencian casos de políticas, planes y programas relacionados con los caminos rurales. Además, se exponen técnicas de intervención para mejorar la calidad de los caminos y se mencionan casos de experiencias latinoamericanas de conservación y mantenimiento rutinario de los caminos con participación comunitaria. Finalmente, se hace una síntesis de conclusiones y recomendaciones.

El tercer capítulo constituye el componente técnico principal del libro y en él se exponen conceptos, se propone una clasificación de caminos y se reseñan las trochas como fase inicial de ellos, aún de amplia utilización. A continuación, se describen los caminos no pavimentados en tierra o en material granular y se relacionan influencias externas por las cuales resulta apropiado cada uno de este tipo de caminos y se detallan técnicas para su mejora funcional, mediante paliativos de polvo. Posteriormente, se hace una amplia presentación de los caminos pavimentados, incluyendo diversas soluciones técnicas convencionales y no convencionales para configurar el camino en su estructura y en su condición funcional. En este sentido, se explican los empedrados, los pavimentos mediante estabilización con aditivos o con capas estructurales no convencionales, y ambos con tratamientos y revestimientos de superficie, los pavimentos mixtos y los pavimentos convencionales: flexibles, semiflexibles o semirrígidos, rígidos o con adoquines.

En el cuarto capítulo se incorporan aspectos conceptuales sobre la conservación de los caminos y se enfatiza la necesidad urgente de avanzar hacia un modelo de conservación vial efectivo y sostenible. Se resumen las conclusiones y se proponen líneas de actuación futuras, entendidas como un conjunto de recomendaciones a seguir para tener redes viales en buen estado físico y asegurar la calidad del servicio que demandan los usuarios para su movilización permanente, cómoda, económica y segura. Finalmente se incluye un anexo sobre conservación rutinaria de caminos rurales que incluye recomendaciones básicas a seguir. En esta situación, cada camino será un elemento clave y eje dinámico para potenciar el progreso social y, de manera especial, para proteger el entorno ambiental.



CAPÍTULO 1

LA IMPORTANCIA DE TENER CAMINOS RURALES PERDURABLES Y SOSTENIBLES EN AMÉRICA LATINA

CAPÍTULO 1

LA IMPORTANCIA DE TENER CAMINOS RURALES PERDURABLES Y SOSTENIBLES EN AMÉRICA LATINA

1.1 REFLEXIONES EN EL ESCENARIO MUNDIAL

Las circunstancias derivadas de la reciente crisis sanitaria por el COVID-19 exigen en el corto plazo atender, en los distintos niveles de gobierno, las demandas de supervivencia, resiliencia social y recuperación económica. También requieren generar iniciativas y estrategias para el beneficio colectivo a mediano y largo plazos. Los nuevos desafíos están dando lugar a un cambio de época, con transformaciones en las organizaciones sociales, las instituciones, la ciencia y la tecnología. Ese nuevo contexto obliga a tener una visión holística y adoptar un enfoque integral y sostenible para mejorar la movilidad de la población, según las circunstancias específicas del respectivo entorno territorial.

Por otra parte, es preciso reflexionar sobre las noticias de cada día, que ya no sorprenden por su carácter rutinario y que se refieren a la movilización de los habitantes del campo hacia zonas no aptas para ser habitadas en las ciudades y al abandono de los países de origen hacia otros que quizá les podrían brindar algunas oportunidades de trabajo. Es el intento (muchas veces en vano) por disfrutar del derecho a una vida con calidad y dignidad. En este contexto de crisis social, los caminos se utilizan para salir y, en casos extremos, para huir. En este ejercicio reflexivo, vale la pena pensar en caminos para quedarse en los territorios de los cuales se forma parte y con los cuales cada ser se identifica.

En esta guía se propone que los caminos rurales², como meridianos del territorio, coadyuven a que la interrelación entre lo urbano y lo rural³ se vuelva una relación de simbiosis, equidad, solidaridad y corresponsabilidad, de manera que las comunidades del campo, muy especialmente las personas jóvenes que las integran, puedan disfrutar y ejercer todos sus derechos fundamentales sin tener que renunciar a su identidad rural. De igual manera, se sugiere incentivar el retorno poblacional de las ciudades hacia el campo, de cuyo inicio hubo algunas muestras en la época de la pandemia del COVID 19 causada por el virus SARS-CoV-2.

En un contexto más amplio, es válido pensar que los caminos pueden ayudar a los seres humanos y a la infraestructura que estos conciben a convivir armónicamente con las dinámicas características propias de cada ecosistema. También pueden contribuir a la integración armónica con la biodiversidad de los territorios, que incluye desde los microorganismos y las yerbas del suelo⁴ hasta los ecosistemas mismos, entendidos como una totalidad. En la ilustración 1.1 se muestra la interrelación de los caminos meridianos en el territorio.

² Los caminos rurales se denominan de diversas maneras en los distintos países: vecinales, cantonales, provinciales, secundarios, terciarios, etc.

³ Ver Soloaga et al. (2022a, 2022b) para más información sobre la caracterización de lo rural.

⁴ La vegetación herbácea que crece en el entorno del camino es denominada frecuentemente maleza, un término con una connotación negativa. Esa percepción motiva su destrucción mediante quema o fumigación, aun cuando atenta contra principios ambientales. Por ello, Wilches-Chaux, experto en gestión del riesgo, gestión ambiental y gestión climática, propone referirse a esta vegetación como “bueneza”.

ILUSTRACIÓN 1.1. CAMINOS EN EL TERRITORIO



A. Laguna Cuicocha (Ecuador)



B. Meseta de Popayán (Colombia).



C. Mojarras-Tabacales, sur de la provincia de Santander (Colombia)

Fuente: Imágenes A y B: elaboración propia (2018, 2019), imagen C, cortesía de Ernesto Puyana

Lograr lo anterior implica romper paradigmas y generar progresivamente cambios estructurales para alcanzar un mundo mejor en todo sentido. Empezar por tener buenos caminos, utilizando tecnologías pertinentes para conservarlos y mejorarlos, haciendo un uso óptimo y racional de los limitados recursos, será un buen comienzo para quedarse a habitar y a producir sosteniblemente en el espacio rural.

1.2 SIGNIFICADO Y VALOR DE LOS CAMINOS

El significado y el valor que tiene un camino se puede entender mejor describiendo brevemente una experiencia reciente en Colombia. El día 8 de enero de 2023, un deslizamiento de una masa de suelo en el municipio de Rosas (departamento de Cauca) destruyó 300 metros (m) de carretera que transcurrían por encima del cauce de una quebrada y que, adicionalmente, dejó una cobertura de material de derrumbe en 700 m de la vía⁵. Este evento, que afectó a aproximadamente un kilómetro (km) de la vía, interrumpió la comunicación entre dos países: Colombia y Ecuador. Al interior de Colombia, quedó cortado el tránsito entre los departamentos de Cauca y Nariño y entre decenas de municipios que forman parte de esos territorios. De igual manera, ese deslizamiento, relativamente moderado en extensión, demostró la insuficiencia, carencia y deficiencia de la infraestructura vial en esta región, pues los escasos caminos rurales alternos, vías secundarias y terciarias estaban intransitables dado su estado habitual de deterioro generalizado. Este problema causó pérdidas económicas superiores a 400 millones de dólares estadounidenses (USD) y afectó las condiciones de vida y derechos humanos fundamentales de miles de personas. También llevó a recordar, con insatisfacción, que durante más de 50 años no se logró el impulso gubernamental que hubiese permitido construir una variante vial diseñada justamente para eludir la inestabilidad del terreno cuyo movimiento generó el deslizamiento. La existencia de esa vía, inexplicablemente aplazada, hubiera evitado el desastre.

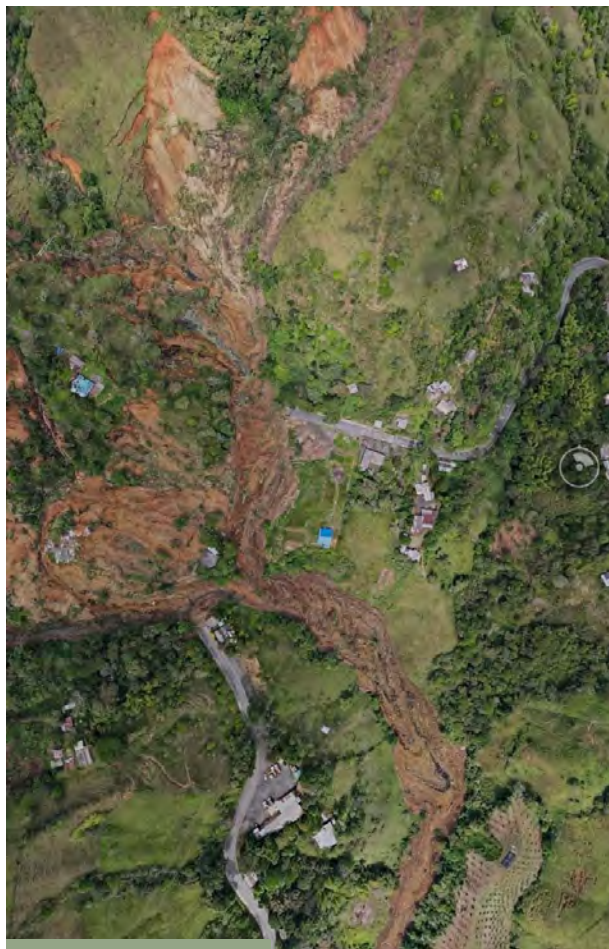
El suceso de Rosas (ver la ilustración 1.2) hizo evidentes la necesidad, importancia y utilidad de incorporar fractalmente⁶ conceptos y nuevos aspectos de la relación de las partes de cada camino con el conjunto de los territorios que cruzan. En especial, se deben tomar en cuenta de forma efectiva los derechos de la naturaleza, particularmente los del agua, para alcanzar el objetivo de lograr que los caminos rurales tengan una relación armónica con el territorio del cual forman parte.

⁵ El deslizamiento ocurrió en la carretera Panamericana, entre las ciudades de Pasto y Popayán. Esta carretera es el resultado de la evolución de un camino que se trazó directamente sobre el terreno y se construyó a “pico y pala”, bajo el apremio de una emergencia nacional en 1932. Luego, se ha venido adaptando geométrica y estructuralmente con precariedad a las nuevas demandas del tránsito. En el sector del deslizamiento, el camino se localiza sobre una falla geológica local y la temporada de lluvias intensas propició el movimiento de la masa de suelo y el crecimiento de la quebrada El Chontaduro, que hizo colapsar 300 m de la vía.

⁶ Fractalidad es la característica que poseen distintos sistemas matemáticos y sistemas reales (los fractales) que conservan su forma y, en general, sus propiedades cualitativas a medida que cambian de escala. El concepto lo planteó por primera vez el matemático Benoit Mandelbrot (1967) en un artículo titulado “¿Cuánto mide la costa de Gran Bretaña?” en el que expone sus ideas tempranas sobre los fractales. A partir de esa obra se considera a Mandelbrot como el padre de la geometría de fractales, que, a su vez, es uno de los pilares de la teoría del caos.

Además, desde la ingeniería vial, parece indispensable recuperar e incorporar el concepto de conservación en su carácter fundamental de acción preventiva.

ILUSTRACIÓN 1.2. SECTOR DE LA CARRETERA EN ROSAS (COLOMBIA) AFECTADO POR UN DESLIZAMIENTO DE TIERRA



Fuente: Elaboración propia (2023)

1.3 LA FRACTALIDAD: ESA INTERRELACIÓN ENTRE LAS PARTES Y EL TODO

La fractalidad es esa propiedad que poseen los sistemas complejos de repetirse a sí mismos en términos de lógica funcional y estructural a medida que cambian de escala, vincula el concepto de fracción con el de totalidad. Así, bajo esta mirada fractal, cada elemento (obra de drenaje, superficie de rodadura, puente, talud, señal o, en definitiva, cualquier activo vial) y cada tramo o fracción del camino se interrelaciona con la totalidad de este, con la red de caminos y, de manera especial, con el territorio y el contexto del cual forma parte. En consecuencia, los buenos caminos requieren una consideración integral y rigurosa en toda su longitud, así como de cada uno de sus elementos constitutivos. A modo de ejemplo, las imágenes de la ilustración 1.3 muestran la interrelación y el vínculo del camino con el territorio.

ILUSTRACIÓN 1.3. SITIOS CRÍTICOS QUE INCIDEN EN LA TRANSITABILIDAD Y SEGURIDAD DEL CAMINO



A



B



C



Fuente: Imágenes A, elaboración propia (2023), imagen B, cortesía de Jorge Quinayas Guamanga (2022), imágenes en C, Programa de mejoramiento, gestión y mantenimiento de la Red Vial del Paraguay – Ñamopora Ñanderape MOPC

1.4 EL TERRITORIO Y LOS CAMINOS

1.4.1 LA INTERRELACIÓN ENTRE CAMINO, COMUNIDADES Y TERRITORIO

El territorio no es solamente un espacio físico o una referencia geográfica. Es un ser vivo, con capacidad de autoorganización y sanación, es el resultado dinámico y complejo de un vínculo indisoluble entre las dinámicas de la naturaleza y de las comunidades que forman parte de él (Wilches-Chaux, 2007).

ILUSTRACIÓN 1.4. INTERRELACIÓN Y VÍNCULO ENTRE EL CAMINO Y EL TERRITORIO



Nota: Fotografía titulada “YingYang”, que en el taoísmo chino es la representación gráfica de lo que la dialéctica llama “la unidad de los contrarios”. En el campo de los territorios, se puede afirmar y demostrar que dentro del mundo urbano (la ciudad) existen elementos y características de la región a la que pertenece y viceversa. De igual manera, se considera que existe una interrelación entre el camino y el territorio.

Fuente: Cortesía de Gustavo Wilches-Chaux.

Las comunidades se relacionan con su territorio de diferentes maneras. Algunas de ellas son materiales, como el aprovechamiento de los recursos naturales o de los servicios ambientales, tangibles e intangibles, que ese territorio les ofrece y de los cuales dependen para vivir y crecer humanamente, con calidad, dignidad y estabilidad. De especial importancia puede ser esta última, entendida como la permanencia en el espacio y en el tiempo de las condiciones que posibilitan la vida.

Los servicios ambientales tangibles son el agua, el aire, la energía solar, la fertilidad y estabilidad de los suelos, la sombra y la generación de alimentos indispensables para habitar, moverse y producir. La posibilidad que tienen los territorios de ofrecer esos servicios ambientales depende, a su vez, de la integridad y diversidad de todos los ecosistemas, los seres vivos y los factores no vivos que los conforman.

La gestión y las intervenciones de construcción y mantenimiento de los caminos deben evitar el agotamiento y la afectación de los ecosistemas y los recursos que requieren las próximas generaciones. En especial, se deberá cuidar que el agua no se contamine y se encauce debidamente mediante el funcionamiento adecuado de los elementos del sistema de drenaje, asimismo, se debe procurar que el polvo de los caminos en tierra y en material granular o similares no contamine los suelos del entorno próximo donde existan cultivos o actividad pecuaria y tampoco afecte a las personas en sus viviendas, a los niños en las escuelas y a los demás seres vivos en su hábitat.

Los servicios ambientales intangibles incluyen los sentidos de pertenencia y de identidad de las personas con el territorio donde habitan o la posibilidad del disfrute estético del paisaje diurno y del cielo estrellado como paisaje nocturno, ambos como fuente de aprendizaje, inspiración, recreación y tranquilidad. Estos son los caminos de los territorios que se manifiestan en canciones⁷ y poesías.

Por otra parte, se produce un relacionamiento humano simbólico con el territorio cuando se bautizan sus hitos, se modifican o se mantienen formal o informalmente los nombres existentes, se recoge su historia y su memoria o se impregna a cada uno de sus componentes de un significado especial. De todo ello depende, en parte, que ese territorio genere en las personas las sensaciones de bienestar, seguridad, miedo e incertidumbre, entre otras. En este relacionamiento, el camino siempre está presente, ya sea para quedarse o para huir. La idea es lograr caminos para permanecer física y emocionalmente en el lugar.

⁷ Un ejemplo es el tango Caminito, con letra de Gabino Coria Peñalosa, compuesto en 1903, que se refiere a un sendero rural de 2 km entre Olta y Loma Blanca, en La Rioja (Argentina).

Las experiencias directas en el territorio (o la memoria de las experiencias vividas por los antepasados) determinan en gran medida la carga afectiva con que se marca un territorio determinado y, en consecuencia, el vínculo humano con él. De la interacción entre todos estos factores surge el concepto de seguridad territorial (Wilches-Chaux, 2006), que en este momento particular de la historia conlleva en sí mismo el reto de recuperar el sentido civil e integral de la primera de estas dos palabras.

Sirva como ejemplo uno de los caminos que unen Argentina con Chile, en cuyo paso fronterizo se inauguró en 1904 un monumento al Cristo Redentor como símbolo de clamor y esperanza por la paz del mundo y como una manifestación de convivencia pacífica entre las dos naciones vecinas (ver la ilustración 1.5). Asimismo, el camino recoge historias de varios siglos, incluidas las de travesías de caminantes en épocas coloniales y las de tropas en los acontecimientos de independencia.

ILUSTRACIÓN 1.5. CAMINO Y MONUMENTO POR LA PAZ DEL MUNDO EN LA FRONTERA ENTRE ARGENTINA (PROVINCIA DE MENDOZA) Y CHILE (REGIÓN DE VALPARAÍSO)



A. Inauguración en 1904



B. Aspecto actual del monumento



C. Placa descriptiva



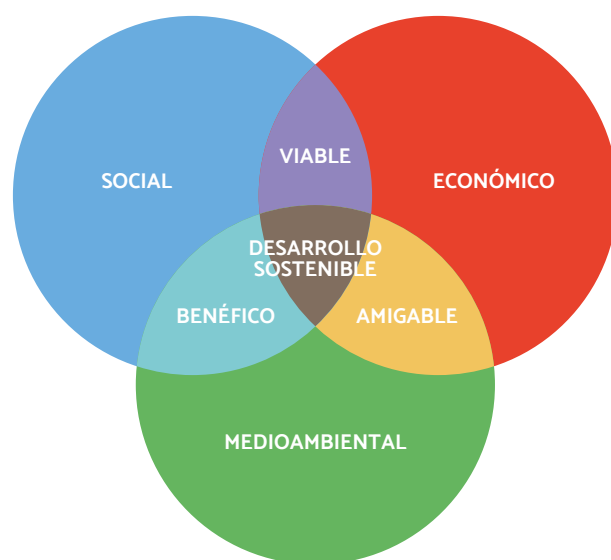
D. Paisaje en la zona del monumento

Fuente: Imagen de la inauguración, tomada de Wikimedia (1904), fotos actuales de elaboración propia (2023)

La seguridad territorial está íntimamente ligada con la sostenibilidad (o con el llamado desarrollo sostenible), esa manera de relacionamiento en el territorio y con él, que permite que la dinámica de la naturaleza no se convierta en una amenaza contra las comunidades y la dinámica de las comunidades no sea una amenaza para los ecosistemas. Es decir, que la seguridad territorial es un atributo de doble vía, que beneficia tanto a las comunidades como a la naturaleza.

Actualmente, lograr la sostenibilidad representa un gran reto humano que requiere de decisiones trascendentes y estrategias que la hagan posible. En materia de ingeniería, se hace necesario generar cambios de la práctica tradicional, enfocada solo en los aspectos técnicos y económicos del diseño y la construcción de las obras, para reafirmar la necesidad de incorporar aspectos socioambientales y, de esta manera, lograr proyectos económicamente viables, socialmente benéficos y ambientalmente amigables (Brundtland, 1987). Se trata de avanzar hacia un sistema dinámicamente equilibrado en el que se minimicen los impactos ambientales negativos y se protejan los recursos necesarios para la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. En la figura 1.1 se muestra la interrelación social, económica y medioambiental como marco de referencia de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)⁸.

FIGURA 1.1. SISTEMA INTERRELACIONADO HACIA EL DESARROLLO SOSTENIBLE



Fuente: Elaborado con base en Brundtland (1987)

⁸ Los ODS fueron establecidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada por la Asamblea General de la Naciones Unidas mediante la Resolución A/RES/70/1 (ver Naciones Unidas, 2015).

El acceso rural es fundamental para lograr muchas de las metas del desarrollo sostenible, así como para el crecimiento inclusivo y la reducción de la pobreza. Muchos habitantes de las zonas rurales de los países en vías de desarrollo aún están desconectados de los mercados locales, regionales y globales. Las metas del desarrollo sostenible exigen una infraestructura fiable, sostenible y resiliente para todos.

El ODS 9 apunta a construir infraestructuras resilientes, a promover la industrialización sostenible y a fomentar la innovación. Específicamente, la meta 9.1 consiste en “desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, .. para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos” (Naciones Unidas, 2015). El Banco Mundial ha propuesto el índice de accesibilidad rural (IAR) como indicador para medir este objetivo (Transport & ICT, 2016).

En su versión actual (2016), el IAR se define como “la proporción de población rural que vive a menos de 2 km (alrededor de 20 a 30 minutos caminando) del camino más cercano que sea transitable en buenas condiciones en toda condición climática”.

El IAR fue diseñado con el fin de que constituyera una herramienta práctica no solo para el desarrollo de los caminos rurales, sino, también, en un contexto de desarrollo más amplio. Por supuesto, se puede emplear para la planificación y el seguimiento de las inversiones en caminos rurales. Además, se ha demostrado que está relacionado íntimamente con otros objetivos de desarrollo, como el acceso a los mercados, las escuelas y los servicios de salud. La accesibilidad vial es el medio de conectividad fundamental de las personas que habitan las zonas rurales. Si la gente no tiene buen acceso a los caminos, es probable que tampoco lo tenga a los mercados o a los servicios sociales.

1.4.2 VÍNCULO DE LOS CAMINOS CON LOS DERECHOS DE LA NATURALEZA Y DEL AGUA

En Colombia, el río Atrato fue sujeto de derechos en la sentencia T622, de 2016, un año después, el río Whanganui, en Nueva Zelanda, y, posteriormente, el Ganges, en la India, fueron declarados formalmente como sujetos de derechos en sus respectivos países⁹. Desde entonces, hay abierto un debate filosófico y jurídico sobre si efectivamente tiene o no sentido que esa declaratoria recaiga sobre un ser no humano. Es deseable seguir avanzando en esta línea de pensamiento para preservar y conservar los elementos esenciales que componen la naturaleza.

El agua es de especial consideración, porque es un ingrediente esencial de toda vida y, a su vez, ordenadora del territorio. Paradójicamente, resulta increíble que el agua se convierta en una amenaza en temporadas de lluvias intensas y que su ausencia se convierta en otra amenaza, a veces aún más peligrosa, cuando las temporadas secas se vuelven extremas.

⁹ Véase el artículo de Clavijo (2017) sobre los tres casos, publicado en el sitio de noticias Semana.

En “El libro del camino”, conocido también como “El libro de la sabiduría del agua”, atribuido al maestro chino Lao Tse¹⁰, se expresa claramente:

Nada hay en el mundo tan dócil y débil como el agua.

Pero nada más poderoso que el agua para destruir lo duro y lo fuerte.

Nada hay que la pueda sustituir.

Esto puede comprobarse:

lo débil puede vencer a lo fuerte y lo flexible a lo rígido.

Estas enseñanzas deben ser bien aprendidas y aplicadas con rigurosidad para lograr que los caminos funcionen adecuadamente tanto durante las temporadas de lluvia como en las épocas de sequía. En las primeras, para el manejo pertinente de las aguas es esencial tomar en cuenta el todo y las partes, es decir, atender el sistema de drenaje en su globalidad y en cada uno de sus elementos de drenaje superficial y subsuperficial. En su libro *The art of roadmaking*, Frost (1910) estableció, hace más de un siglo, que “un camino sin drenaje será problemático y costoso de mantener, resultando a la larga más económico hacer un gasto inicial importante para hacer que su drenaje sea lo más perfecto posible”. Al respecto, quizá convenga enfatizar una cita que Cedergren (1988) dijo haber encontrado en un manual de ingeniería de carreteras: “Solo hay tres cosas necesarias para un buen camino: drenaje, drenaje y más drenaje”. Por otra parte, para las épocas de sequía es recomendable la utilización de técnicas paliativas de polvo en los caminos en tierra, grava o similares.

En síntesis, debe quedar claro que las soluciones ingenieriles son efectivas cuando se conciben, diseñan y aplican con el objetivo expreso de ayudar a los seres humanos a armonizar sus actividades con las dinámicas de la naturaleza (esto es, respetando los derechos de la naturaleza y en particular los del agua en todo su ciclo). Por el contrario, esas soluciones fracasan y pueden incluso incrementar las amenazas cuando se intenta aplicarlas para enfrentar las dinámicas de los ríos, los humedales y otros cuerpos de agua, de los volcanes activos o las fallas geológicas que han ordenado los territorios durante siglos.

¹⁰ Tanto el nombre del libro como el del filósofo a quien se atribuye su autoría, se encuentran escritos de muchas maneras distintas. Por ejemplo, el autor es también conocido como Laozi y el libro, como *Đào Đé Jīng*.

1.5 LOS CAMINOS RURALES EN EL ÁMBITO DE LA SOSTENIBILIDAD

Los caminos rurales conforman redes viales que se extienden en amplias coberturas territoriales. Por sus características, tienen un gran potencial para contribuir al desarrollo sostenible en los países latinoamericanos. Entre los aspectos que los distinguen, son de resaltar los siguientes:

- **Económicos.** Los caminos rurales son menos costosos por su trazado geométrico y las características de sus elementos, las cuales incluyen tipos de superficie y estructuras viales, valor de los terrenos, menor cantidad de materiales requeridos, y equipos de construcción y mantenimiento más ligeros. Asimismo, pueden reducir los costos de transporte, de fletes y por duración de los recorridos. También, contribuyen al desarrollo del comercio, de la actividad agropecuaria e incluso a la generación de industria en las regiones por las que transcurren.
- **Ambientales.** Los caminos rurales implican intervenciones menores sobre el terreno natural, posibilitan el uso de materiales locales y el empleo de materiales de reciclaje provenientes de pavimentos, demolición de construcciones, residuos industriales y otros, generan menores consumos de energía y menos emisiones al ambiente durante la construcción y el mantenimiento. También facilitan la movilización de peatones y de tránsito no motorizado.
- **Sociales.** Los caminos rurales permiten a las comunidades que habitan en zonas aisladas o remotas de los centros urbanos el acceso a los servicios educativos, recreativos y de salud, al empleo, a los servicios de la administración pública y a los mercados. Además, facilitan el desarrollo de proyectos productivos locales, de programas sociales y la ejecución de otras obras de infraestructura, como vivienda, energía, comunicaciones y servicios de agua. En otras palabras, a través de los caminos rurales se puede contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes de comunidades que viven en una reconocida marginalidad y a superar la inequidad social. De igual manera, cabe mencionar que, en casos de emergencia debidos a desastres desencadenados por fenómenos naturales o por causas antrópicas, estos caminos son indispensables para el acceso de las comisiones de ayuda, la evacuación de personas, los suministros de alimentos, la atención médica y la instalación de los refugios temporales.

Por otra parte, es de resaltar que, en ciertos casos, los caminos rurales también pueden producir impactos negativos externos o colaterales en los países en desarrollo. Estos impactos pueden darse en la medida que facilitan el acceso para la deforestación de bosques naturales, la minería ilegal, la siembra de cultivos ilícitos, la alteración del hábitat de especies salvajes, la caza de animales en peligro de extinción, la introducción de especies invasoras de plantas, la ocupación del territorio por grupos humanos al margen de la ley y el desplazamiento forzoso y la desaparición de etnias y culturas autóctonas. De allí la necesidad de que estas vías también estén sometidas a la gestión ambiental, la gestión del riesgo de desastres, la gestión climática y la gestión social e institucional.

A nivel internacional se han venido desarrollando diferentes metodologías para identificar y cuantificar aspectos variados de la sostenibilidad en relación con la infraestructura de transporte. Dichas metodologías se consideran de importancia y utilidad para incorporarlas en la gestión vial sostenible de los caminos rurales. Asimismo, en países latinoamericanos se han efectuado avances hacia las denominadas “vías verdes”.

A continuación, se relacionan casos relevantes a tomar en cuenta.

- AIKA. Metodología para la evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura de transporte en Colombia¹¹.
- CEEQUAL. Acrónimo del sistema de evaluación, calificación y premios de sustentabilidad basado en evidencia para obras de ingeniería civil. Su objetivo es evaluar la sostenibilidad en todas las fases del proyecto de infraestructura aplicado a proyectos del Reino Unido e Irlanda¹².
- ENVISIÓN. Sistema de calificación de infraestructura sostenible desarrollado por el Instituto para Infraestructura Sostenible (ISI, por sus siglas en inglés) y la Universidad de Harvard, en Estados Unidos¹³.
- Infraestructura Verde. Infraestructura enfocada en el buen vivir. Documento elaborado por el Consejo Políticas de Infraestructura (CPI, 2022).
- INVEST. Herramienta estadounidense para evaluar el ciclo de vida completo del transporte mediante criterios en las etapas del proyecto.
- IS Rating Scheme. Creado por el Consejo de sostenibilidad de infraestructura de Australia (ISCA), busca proporcionar un marco para la aplicación y evaluación coherentes de la sostenibilidad en los procesos de licitación.
- Greenroads. Este sistema de valoración, que lleva el nombre de la organización con fines no lucrativos de Estados Unidos que lo ha establecido, orienta sus esfuerzos al fomento del desarrollo de carreteras más sostenibles y ecológicas¹⁴.
- Sustainable Appraisal in Infrastructure Projects (SUSAIP). Creado en Nigeria, busca establecer una estrategia para la evaluación de la sostenibilidad mediante la identificación y evaluación de alternativas en términos cuantitativos y cualitativos.
- SURE. Acrónimo de estándar para la infraestructura sostenible y resiliente, consiste en un estándar voluntario global, desarrollado en Suiza, que integra aspectos de sostenibilidad y resiliencia en el desarrollo y actualización de la infraestructura en todo el ciclo de vida del proyecto.
- Technical Sustainability Index (TSI). Este índice de sostenibilidad técnica se utiliza en Canadá para definir el tratamiento tecnológico más adecuado a la realidad del municipio a través de indicadores de sostenibilidad.

¹¹ Se puede consultar en la página web del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2022).

¹² Ver el Manual técnico, versión 6, para proyectos en Reino Unido e Irlanda, 2020.

¹³ Ver el sitio web <https://sustainableinfrastructure.org/envision/overview-of-envision/>

¹⁴ Accesible en la página web del Sustainable Transport Council (<https://www.transportcouncil.org/>).

1.6 LOS CAMINOS RURALES EN LA IDEA DEL BUEN VIVIR Y EL ÁMBITO LATINOAMERICANO

En algunos de los países de América Latina y el Caribe, se ha reconocido la importancia de los caminos rurales y tomado decisiones institucionales para mejorarlos. Así, hay referencias de programas de relativo corto plazo. Entre ellos, se encuentran “Caminos para la Prosperidad” (Colombia), “Caminos de Oportunidades” (Colombia), “Caminos para una Vida Mejor” (Honduras) y “Vamos por Buen Camino” (Paraguay). Igualmente, existen planes más consolidados, como “Caminos Rurales de Perú” y “Caminos Básicos de Chile”, cuyos resultados positivos sustentan y posibilitan la generación de nuevas iniciativas sostenidas y sostenibles.

En el contexto social y político actual de América Latina y el Caribe, se esperan y anuncian grandes cambios a nivel gubernamental para crear comunidades más equitativas y justas, en territorios megadiversos ambientalmente y con grandes oportunidades para todos sus habitantes. En este sentido, en algunos ámbitos se propone la idea del “buen vivir”, entendida como un principio orientador y una forma de vida con armonía entre la naturaleza y los seres humanos.

Con este propósito, se entiende que los caminos rurales son un medio efectivo para aportar beneficios a los habitantes de las comunidades campesinas. Como consecuencia, también benefician a quienes habitan en el medio urbano, a la sociedad nacional, al entorno ambiental, al territorio y al clima de todos. Si los proyectos se conciben desde su origen de manera integral y tomando en cuenta las ganancias anheladas, los caminos pueden potenciar un mundo mejor (CPI, 2020) en ese contexto de necesidades y nuevas esperanzas.

Sirva como referencia mencionar que el actual gobierno colombiano ha lanzado el programa “Caminos Comunitarios de la Paz Total”, indicando que “la paz total y la justicia social empiezan desde el diálogo y la concertación con las comunidades para construir desde y para la ciudadanía” (INVÍAS, 2023).

Las políticas, los planes y programas que se determinen para los caminos rurales deberían considerar las nuevas visiones y dimensiones de su potente rol, ser congruentes con los aspectos sociales, ambientales y económicos de los ODS y enfocarse en conservar permanentemente estas vías en un estado aceptable, lo cual va a requerir tecnologías y prácticas de reconocida eficiencia y eficacia. En este documento se indican conceptos y se relacionan y describen algunas opciones técnicas que permitirán generar un salto cualitativo en la gestión de este tipo de caminos.

1.7 ENFOQUE E INICIATIVAS PARA LOS CAMINOS RURALES LATINOAMERICANOS

Los caminos rurales deben brindar condiciones físicas y operacionales que permitan a los habitantes de las comunidades rurales el acceso oportuno a bienes y servicios, así como promover prosperidad y crecimiento económico en armonía con el ambiente. Asimismo, son esenciales para integrar los territorios y permitir la presencia del Estado.

Las soluciones técnicas deben procurar el buen estado físico de estos caminos a fin de proporcionar beneficios directos a los usuarios, el entorno ambiental y los habitantes de su alrededor, mejorar la imagen institucional y permitir la accesibilidad y la integración territorial. En general, las demandas y los resultados esperados por los diferentes actores son los siguientes:

- Los usuarios viales piden transitabilidad permanente, seguridad, comodidad, fluidez y economía en sus desplazamientos.
- Las comunidades aledañas demandan accesibilidad a servicios básicos y mercados, vínculos comunitarios, protección de sus viviendas y los terrenos de cultivo de la contaminación proveniente del polvo de los caminos.
- Las instituciones esperan un buen desempeño de la gestión, una imagen positiva para ellas mismas y las autoridades gubernamentales.
- La sociedad en general desea que se haga un uso eficiente y transparente de recursos presupuestales limitados o escasos y eficacia en los resultados de las intervenciones viales.

Los usuarios del camino son los beneficiarios inmediatos, por cuanto el mejoramiento de la vía conlleva la reducción de los costos de operación vehicular y los de acceso a los mercados de productos e insumos. Además, asegura condiciones de acceso prácticamente permanentes, superando el problema pendular de las temporadas de polvo y barro, y mejora la seguridad vial tanto por disminuir o eliminar el polvo provocado por la circulación de los vehículos automotores, el cual produce deficiencias de visibilidad, como por la eliminación de baches y otros tipos de deterioros (ver la ilustración 1.6).

ILUSTRACIÓN 1.6. USUARIOS DE CAMINOS RURALES



Fuente: Imagen 1, cortesía de Armando Torres, camino rural en Brasil, imagen 2, cortesía de Alonso Brenes, camino rural en Ocongate, Perú, resto de imágenes, elaboración propia

ILUSTRACIÓN 1.6. USUARIOS DE CAMINOS RURALES EN EL COLOMBIA



Fuente: Imagen 1, cortesía de Armando Torres, camino rural en Brasil, imagen 2, cortesía de Alonso Brenes, camino rural en Ocongate, Perú, resto de imágenes, elaboración propia

Los habitantes del entorno también son beneficiados, dado que la disminución o eliminación del polvo generado por el tránsito automotor en caminos no pavimentados favorece su salud y la de sus semovientes, así como la higiene doméstica. También, mejora los niveles de producción agrícola y posibilita mayores ingresos totales y mejores indicadores de acceso a servicios de educación, recreación y salud para todos (ver la ilustración 1.7 donde se muestran efectos de la interrelación del camino con su entorno próximo).

ILUSTRACIÓN 1.7. ENTORNO VIAL SENSIBLE AL POLVO DEL CAMINO EN EL MUNICIPIO DE TABIO (COLOMBIA)



A. Cultivos de fresas



B. Pastos para ganado

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, las instituciones logran un buen desempeño en su gestión y un uso más eficiente de sus limitados recursos, por cuanto se reducen los costos de reparación y mantenimiento efectuados generalmente con maquinaria pesada de alto costo. Asimismo, se reducen los deterioros y las emergencias viales ocasionadas durante los períodos de lluvia. Por otra parte, los beneficios ambientales son evidentes por la no afectación de las plantas, el agua y la fauna silvestre.

Por su parte, las comunidades y la sociedad en general esperan que se haga un uso eficiente y transparente de los recursos presupuestales y que las intervenciones viales sean eficaces.

1.8 CONSIDERACIONES BÁSICAS Y PERTINENCIA DE LAS SOLUCIONES PARA CAMINOS PERDURABLES Y SOSTENIBLES

Como resultado de esta primera reflexión sobre los caminos perdurables y sostenibles se proponen dos aspectos a tener en cuenta: 1) las consideraciones básicas para la toma de decisiones y 2) la pertinencia de las soluciones técnicas.

Para la toma de decisiones generales a los niveles de la red caminera y de proyecto, se propone tener en cuenta de manera integral los siguientes aspectos:

- **Territorial**, lo que implica los vínculos entre población, naturaleza y ruralidad.
- **Institucional**, incluyendo las políticas de Estado, capacidad organizacional, personal, logística y tiempo requerido.
- **Económico**, estimando los recursos presupuestales disponibles.
- **Técnico**, viendo las condiciones de la infraestructura vial y los requerimientos de intervención, así como las posibilidades de implementar las tecnologías por existencia de industria, de fabricación y equipamiento.
- **Social**, considerando los usuarios y comunidades beneficiarias y la disponibilidad de utilizar personal de obra local.
- **Ambiental**, es decir, la disponibilidad de materiales y condiciones del entorno para las intervenciones y la operación vial.
- **De sostenibilidad** o los aspectos básicos en el marco de condiciones para una infraestructura vial sostenible.

Un aspecto esencial que se debe considerar desde el comienzo es la **pertinencia de las soluciones** en el contexto de su usufructo en cuanto a:

- **Viabilidad práctica.** Implica soluciones factibles de implementar considerando la gobernabilidad, las capacidades institucionales, el conocimiento de la tecnología y disponibilidad de recursos logísticos, la satisfacción de la necesidad y aceptación por parte de los usuarios, la armonía con el entorno ambiental, la oportunidad de utilización de materiales locales y la sostenibilidad para la conservación y la operación, así como la eficacia de las intervenciones.
- **Ámbito de aplicación y experiencia de utilización.** Se dispone de conocimiento y experiencias para el ámbito y el contexto de aplicación con los recursos disponibles. Asimismo, se dispone de normatividad y especificaciones técnicas.
- **Asequibilidad,** es decir, la posibilidad de uso libre de la tecnología y la carencia de patentes.
- **Sostenibilidad,** cuidando que contribuya al uso óptimo de recursos sin comprometer los de generaciones futuras.
- **Economía** o la medida en que facilita la eficiencia en el uso de recursos presupuestales limitados.
- **Eficacia,** por cuanto se garantizan la calidad y los resultados esperados.



CAPÍTULO 2

MARCO GENERAL
DE LOS CAMINOS
RURALES EN
AMÉRICA LATINA

CAPÍTULO 2

MARCO GENERAL DE LOS CAMINOS RURALES EN AMÉRICA LATINA

2.1 SITUACIÓN Y VIALIDAD EN DIEZ PAÍSES LATINOAMERICANOS

El objetivo de este segundo capítulo es examinar la situación vial en el contexto latinoamericano y verificar aspectos y soluciones técnicas de uso predominante. El capítulo presenta algunas experiencias de planes y programas en diez países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay. De ellos, se describe su territorio y clima, población y aspectos socioeconómicos, infraestructura vial y las técnicas utilizadas para la conformación, el mejoramiento y la conservación de los caminos rurales.

Dada su longitud y distribución dentro de las redes viales, los caminos rurales en los países latinoamericanos son esenciales para la integración territorial, el progreso y el bienestar social, la producción y el mercadeo. Además, pueden convertirse en ejes para la protección ambiental.

2.1.1 TERRITORIO Y CLIMA

El territorio donde se localiza la red caminera objeto de análisis conforma la mayor parte del continente americano, desde México hasta la Patagonia de Argentina y Chile. Incluye zonas costeras en el océano Pacífico y en el Atlántico. Además, en ellos se alzan la cordillera de los Andes en Suramérica y las cadenas montañosas de México. De igual manera, en su territorio se extienden la Amazonía y amplias regiones de llanura en Argentina, Bolivia, Colombia, Paraguay y Uruguay, y también comprende los altiplanos de Bolivia, Chile, Ecuador y Perú.

En los Andes, cadena montañosa que se extienden por toda Suramérica, se encuentran diferentes tipos de rocas. En su ramal norte, rocas de origen sedimentario, no volcánico, en la cordillera oriental de Colombia, rocas metamórficas en las cordilleras central de Colombia y oriental de Ecuador, y un grupo de granodioritas, cubierto por sedimentos volcánicos de los períodos cretáceo y jurásico, en las cordilleras occidentales de Colombia y Ecuador. Las montañas de las cordilleras orientales de Perú, Bolivia y Argentina están compuestas por diferentes tipos de rocas sedimentarias, mientras que la más joven región occidental de Perú y Chile y las cordilleras principales de Argentina y Chile tienen gruesas capas de rocas de origen volcánico. Los tipos de roca que predominan en las cordilleras occidentales, desde la región norte de Perú hasta Tierra del Fuego, incluyen granito, granodiorita, cuarzo-diorita y diorita. La región del altiplano de Bolivia y Perú está formada principalmente por sedimentos y piroclastos. De particular interés es la región norte de Chile, entre las cordilleras occidental y principal, cubierta de sedimentos y partículas volcánicas terciarias y cuaternarias, donde se encuentran amplios depósitos superficiales de sales de cloruro, nitrato y sulfato.

La región subandina también presenta diferentes tipos de roca, incluyendo sedimentos cuaternarios en la cuenca del Orinoco (llanos orientales de Colombia), sedimentos terciarios de material fino en la cuenca amazónica (algo más gruesos en la región cercana a la cordillera de los Andes) y sedimentos de origen marino y continental en la llanura del Chaco pampeana.

La pluviosidad en Suramérica refleja la dirección de los vientos y su relieve. La pluviosidad promedio anual en la desembocadura del río Amazonas supera los 3000 milímetros (mm), al igual que en la costa en el Pacífico de Colombia, en tanto que en la cuenca del río Amazonas hacia los Andes, el sur de Chile y algunas regiones al sur de Brasil supera los 2500 mm. Casi todo el resto del territorio de los países analizados tiene una pluviosidad promedio anual superior a 1000 mm, con excepción del desierto de Atacama en Chile y las regiones occidentales de Bolivia y Perú, con menos de 250 mm anuales, y una pequeña región al norte de Colombia, donde se presentan entre 250 y 1000 mm anuales de lluvia. Cabe destacar la alta pluviosidad que se registra en el departamento de Chocó, en Colombia, la cual puede superar los 9000 mm anuales.

Debido a la gran extensión del territorio en cuestión y su ubicación, que abarca desde la zona tropical del Ecuador terrestre hasta la zona polar del sur, la necesidad de disponer de vías de comunicación terrestre se presenta en una gran variedad de climas y condiciones ambientales. Estas incluyen zonas desérticas, selváticas y de alta precipitación, regiones de alta montaña y amplias llanuras, donde las condiciones de soporte y los materiales disponibles para la construcción de caminos tienen características particulares y diversas, incidiendo de manera notable en la provisión y el mantenimiento de la infraestructura vial.

También por su localización, México es uno de los países con mayor diversidad de ecosistemas y relieves, dando lugar a una gran variedad de características y formas topográficas, atributos que influyen en las condiciones climáticas, los tipos de suelos y la vegetación de cada región particular. El territorio nacional, con base en sus características geomorfológicas, se divide en quince provincias fisiográficas, cada una definida por paisajes y características propias, e incluso, con subprovincias que tienen cualidades litológicas y paisajistas particulares. Cada una de estas provincias se conforma por una alternancia de conjuntos montañosos, altiplanos, cuencas intermontañas, planicies costeras y plataformas sedimentarias.

La cadena montañosa de mayor importancia en México es la Sierra Madre Occidental, con una dirección noreste-sureste. Su extensión es de aproximadamente 1400 km de longitud y 150 km en promedio de anchura. Su altitud media supera los 2000 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) alcanzando altitudes máximas de hasta 3300 m s.n.m. en la parte superior de la sierra Tarahumara, en el estado de Chihuahua. Las particularidades de esta provincia son sus condiciones geológicas y climatológicas, que han formado profundos cañones con paisajes imponentes.

Otra región de gran relevancia es la denominada Mesa del Centro, la cual se extiende desde el océano Pacífico hasta el golfo de México, donde se encuentra la Ciudad de México, centro y capital del país. Esta área se caracteriza por llanuras interrumpidas por sierras dispersas, la mayoría de origen volcánico. En las llanuras de mayor extensión, predominan los depósitos aluviales, como, por ejemplo, la cuenca de México, de alrededor de 750.000 kilómetros cuadrados (km²).

Por su ubicación y extensión territorial, México presenta una gran variedad de climas, desde tropicales lluviosos en el sur hasta áridos en el norte del país. Por ello, la descripción del clima depende de la ubicación geográfica de la región que se desee conocer.

En este contexto, la extensión del territorio mexicano cuenta con gran diversidad tanto de fisiografías como de climas. Cada región o ubicación concreta presenta desafíos y conflictos por solventar en lo que se refiere a la construcción de vías de comunicación.

La gran diversidad de climas, topografías y condiciones de materiales rocosos presentes en los países de la región ha dado lugar a una muy variada gama de soluciones para el mejoramiento de los caminos rurales, cuando en ellos se efectúan intervenciones a partir de una condición inicial en tierra o grava.

2.1.2 POBLACIÓN Y ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

La población de los diez países objeto de este análisis supera los 536 millones de habitantes y se encuentra distribuida en un amplio territorio continental, de aproximadamente 18 millones de km². En general, más del 60 % de la población de cada país se concentra en asentamientos urbanos, siendo Uruguay, Argentina y Chile los países que presentan una mayor incidencia de este fenómeno (93 %, 92 % y 88 % del total de la población, respectivamente).

En la mayoría de los países de la región, la población con altos niveles de pobreza o elevadas tasas de desempleo podría contribuir a sustentar la implementación de algunas técnicas de reparación, mejora y conservación de la infraestructura vial con participación comunitaria y altos componentes de trabajo personal, con herramientas manuales o equipamiento pequeño. Las modalidades de microempresas, cooperativas u organizaciones comunales ya se utilizan con reconocida eficiencia y eficacia para mantener en condiciones aceptables de transitabilidad los caminos, generando nuevos empleos y mejores condiciones de vida para la población residente en las zonas de influencia de los proyectos que se realizan.

Algunos indicadores de extensión territorial, sociales y demográficos de los países objeto del estudio se incluyen en el cuadro 2.1.

CUADRO 2.1. TERRITORIO, POBLACIÓN Y SITUACIÓN SOCIAL

País	Población					Tasa desempleo o desocupación (%)	Pobreza total (%)
	Territorio (km ²)	Total de habitantes	Urbana (%)	Rural (%)	Lugares de mayor concentración de población		
Argentina	2.780.085	45.377.046	92	8	Provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba	7,1	36
Bolivia	1.098.581	12.006.031	70	30	Departamentos de La Paz, Santa Cruz, Cochabamba	4,5	39
Brasil	8.510.345	215.502.337	87	13	Estados de São Paulo, Río de Janeiro	8,7	25
Chile	756.626	19.828.563	88	12	Región metropolitana de Santiago	8,0	11
Colombia	1.141.748	51.265.841	82	18	Bogotá, D.C., departamentos de Antioquia, Valle y Atlántico	9,7	39
Ecuador	256.370	18.102.145	64	36	Quito, provincia del Guayas	3,8	25
México	1.972.550	130.262.220	81	19	Ciudad de México, estados de Jalisco, Nuevo León	3,3	43,9
Paraguay	406.752	7.453.695	63	37	Región oriental	6,7	24,7
Perú	1.285.216	33.396.700	78	22	Lima metropolitana, costa Pacífica	8,9	25,9
Uruguay	176.215	3.473.727	93	7	Región de Montevideo y Punta del Este	7,8	9,1

Fuentes: Datos de Argentina tomados de IGN (s.f.a, s.f.b), Registro Nacional de Personas (s.f.), Naciones Unidas (2015), INDEC (2022a, 2022b), datos de Bolivia tomados de INE (2019, 2020, 2022) y Banco Mundial (2022), datos de Brasil tomados de IBGE (s.f.) y Ponte Social (s.f.), datos de Chile tomados de UCEN (s. f.), INE (s. f.) y Banco Mundial (2020), datos de Colombia tomados de DANE (s. f.), Banco Mundial (2022), datos de Ecuador tomados de FAO (2000), INEC (s. f.), Naciones Unidas (2015) y Banco Mundial (2022), datos de México tomados de INEGI (2022), Banco Mundial (2020) y Coneval (2020), datos de Perú tomados de INEI (2022).

Las actividades económicas relacionadas con la agroindustria, la minería y la industria petrolera son las que más contribuyen a las economías de los países objeto del estudio. El estado de desarrollo de Argentina, Brasil y México contrasta con el del resto de países, especialmente con Bolivia y Paraguay, las naciones con los indicadores macroeconómicos más desfavorables.

En los momentos actuales de postpandemia, afectaciones por el cambio climático, incertidumbre por conflictos bélicos y dificultades por las que atraviesa la economía mundial, es indispensable generar nuevas iniciativas, estrategias y planes para superar los aspectos negativos, especialmente del orden social, y proporcionar la infraestructura que conduzca al progreso económico de manera equitativa. Con estos propósitos, los caminos rurales en buen estado se consideran fundamentales para generar nuevas oportunidades para el bien común. En el cuadro 2.2 se presentan algunos indicadores de aspectos humanos, competitividad global, conectividad de la infraestructura y economía per cápita de los países objeto del estudio en comparación con países de otras regiones del mundo.

CUADRO 2.2. INDICADORES DE ASPECTOS HUMANOS, COMPETITIVIDAD, INFRAESTRUCTURA VIAL Y PIB PER CÁPITA

País	Índice de desarrollo humano (IDH)	Índice de desigualdad Gini	Índice de competitividad global	Índice de conectividad carretera	Índice de calidad de la infraestructura carretera	PIB per cápita (USD)
Suiza	0,962	31,2	82,3	84,4	88,0	91.546
Alemania	0,942	30,9	81,8	95,1	71,7	51.238
Japón	0,925	32,9	82,3	77,8	84,8	39.246
Estados Unidos	0,921	41,5	83,7	100,0	74,5	69.227
Francia	0,903	29,3	78,8	96,6	73,9	45.188
Canadá	0,936	33,3	79,6	98,7	67,2	52.015
España	0,905	33,0	75,3	100,0	78,4	30.090
Chile	0,855	44,9	70,5	90,5	70,1	16.488
Argentina	0,842	42,3	57,2	94,5	43,4	10.729
Uruguay	0,809	40,2	63,5	89,8	45,1	17.021
Perú	0,762	43,8	61,7	64,0	36,4	6.773
México	0,758	45,4	64,9	90,3	58,4	9.962
Brasil	0,754	48,9	60,9	76,1	33,5	7.515
Colombia	0,752	54,2	62,7	64,5	39,7	6.159
Ecuador	0,740	47,3	55,7	64,2	65,0	5.935
Paraguay	0,717	43,5	53,6	76,0	26,7	5.302
Bolivia	0,692	43,6	51,8	56,7	41,3	3.440
Zimbabue	0,593	50,3	44,2	85,9	30,6	1.737
Malawi	0,512	38,5	43,7	78,4	30,1	643
Níger	0,400	37,3	N/D	N/D	N/D	595
Guinea Bissau	0,483	34,8	N/D	N/D	N/D	813
Burkina Faso	0,449	47,3	43,4	80,0	29,5	918
Zambia	0,565	57,1	46,5	77,5	40,6	1.126
Burundi	0,426	38,6	40,3	53,6	48,9	237

Fuentes: Para el IDH, PNUD (2022), para el índice de Gini, Datosmacro.com (2022), para el índice de competitividad global, Datosmacro.com (2019), para los índices de conectividad y de calidad de la infraestructura carretera, WEF (2019), para el PIB, Datosmacro.com (s.f.).

2.1.3 INFRAESTRUCTURA VIAL EN LOS PAÍSES

La infraestructura vial existente está directamente relacionada con la distribución espacial de la población, así como con el desarrollo económico y la situación social de las regiones en los diferentes países. En las zonas donde se concentra mayor población se genera un mayor tránsito vehicular y, en consecuencia, se han construido autopistas y carreteras que constituyen parte de la red vial primaria de los países. Igualmente, las redes viales secundarias y terciarias son, en su mayoría, de bajos volúmenes de tránsito y, por lo general, sirven para comunicar e integrar las distintas regiones. El desarrollo vial en cada país es heterogéneo y lo mismo ocurre si se hace la comparación entre países.

La densidad vial, definida como la relación de la longitud de vías en metros por mil kilómetros cuadrados de territorio ($m/1000\text{ km}^2$), es baja para todos los países analizados, lo cual es explicable en parte por su gran extensión territorial. La longitud total de vías en kilómetros por millón de habitantes y de longitud de vías pavimentadas por millón de habitantes muestra también diferencias significativas entre Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay en relación con los demás países.

El cuadro 2.3 presenta algunos indicadores viales relacionados con la extensión territorial y la población de los países. Asimismo, se muestra la relación entre la longitud de vías pavimentadas y la longitud vial total.

CUADRO 2.3. INDICADORES VIALES POR EXTENSIÓN TERRITORIAL Y POBLACIÓN

País	Territorio (km ²)	Población (millones de habitantes)	Longitud total de vías (km)	Longitud de vías pavimentadas (km)	Porcentaje de vías pavimentadas / longitud total	Densidad vial longitud / territorio (1000/km ²)	Longitud total vías / población (km/millón de habitantes)	Longitud de vías pavimentadas / población (km/millón de habitantes)
Argentina	2.780.085	45,4	673.111	82.898a	12,3	242	14.826	1.825
Bolivia	1.098.581	12,0	198.669	31.080b	15,6	181	16.555	2.590
Brasil	8.510.345	215,5	1.563.600	213.500c	13,7	184	7.256	991
Chile	756.626	19,8	85.984	21.289d	24,8	114	4.343	1.075
Colombia	1.141.748	51,3	205.745e	31.900	15,5	180	4.010	622
Ecuador	256.370	18,1	43.762	15.754f	36,0	171	2.418	870
México	1.972.550	130,3	393.473	175.526g	44,6	199	3.019	1.347
Paraguay	406.752	7,5	80.127h	6.988	8,7	197	22.893	932
Perú	1.285.216	33,4	173.058	30.069h	17,4	135	5.181	900
Uruguay	176.215	3,5	67.781	7.977j	11,8	385	19.366	2.279

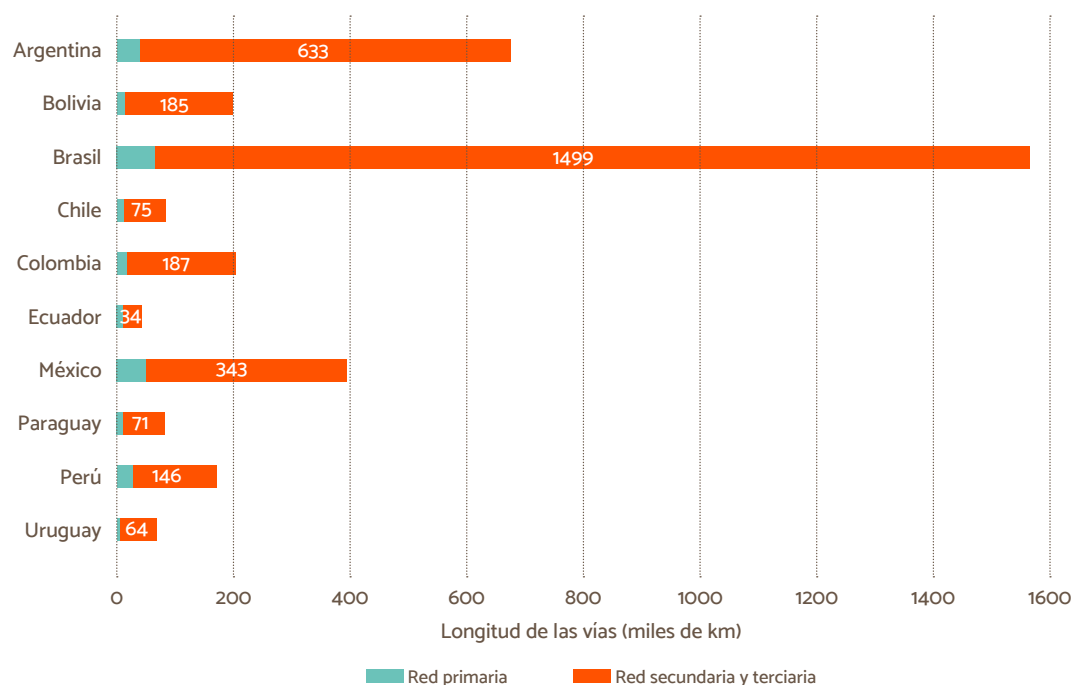
Nota: a/ corresponde a red vial nacional y provincial, f/ longitud correspondiente a red vial principal y secundaria.

Fuente: a/ CVF (2016), b/ INE (s.f.), c/ CNT (2021), d/ Dirección de Viabilidad (2020), e/ Ministerio de Transporte (2021), g/ Morales y Backhoff (2022), h/ MTC (2021), i/ AC&A y Cenit (2020). El resto de datos fueron tomados de fuentes pertinentes dispersas.

La red vial total de los países analizados se encuentra dividida en una red principal con propósitos de movilidad (denominada también primaria, nacional, federal, estatal o fundamental) y en una red con finalidad de movilidad y accesibilidad, por lo regular más extensa e integrada a la principal. Esta segunda red se compone de un conjunto de caminos que forman las redes secundarias (identificadas en algunos países como red provincial, departamental o regional) y terciarias (también denominadas municipal, cantonal, rural o vecinal).

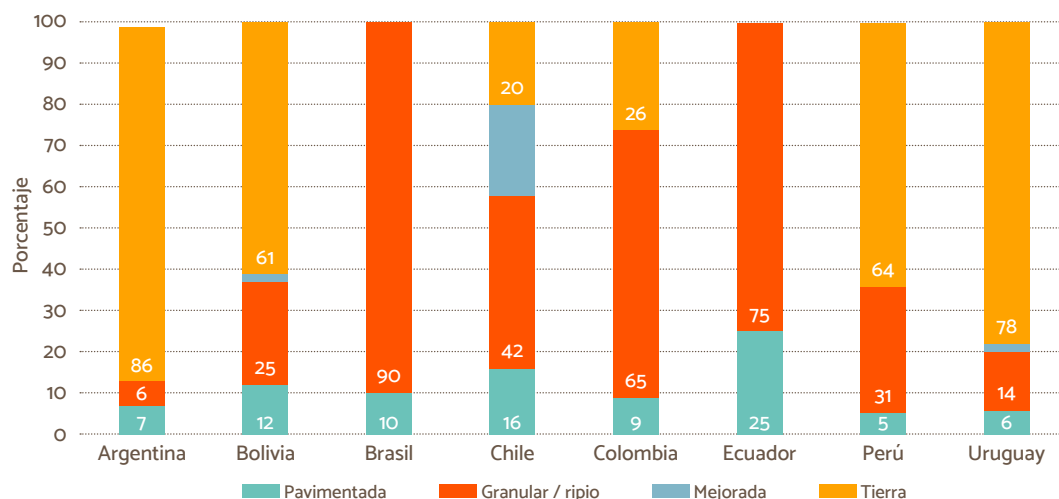
En cuanto a la distribución general de la red vial de los países analizados, según su jerarquía (gráfico 2.1), la mayor parte de las vías pertenecen a las redes secundaria y terciaria. Estas redes se encuentran mayoritariamente sin pavimentar, con superficies de rodadura en tierra o en material granular (gráfico 2.2). Además, cabe resaltar que en la última década se han venido configurando diversas soluciones de mejora, entre las que se incluyen empedrados y distintas estabilizaciones y revestimientos superficiales. La distribución general de las vías, según su jerarquía y tipo de superficie, en cada uno de los países incluidos en el estudio se puede apreciar en el cuadro 2.4.

GRÁFICO 2.1. DISTRIBUCIÓN DE LA RED VIAL DE LOS PAÍSES ANALIZADOS SEGÚN SU JERARQUÍA



Fuente: Elaboración propia con información del cuadro 2.4

GRÁFICO 2.2. PORCENTAJE DE LA RED VIAL SECUNDARIA Y TERCIARIA SEGÚN SU TIPO DE SUPERFICIE



Fuente: Elaboración propia con información del cuadro 2.4

CUADRO 2.4. LONGITUD Y PORCENTAJES DE REDES VIALES EN LOS PAÍSES ESTUDIADOS, SEGÚN SU CATEGORÍA Y TIPO DE SUPERFICIE

País	Red total del país Longitud de vías (km)				Red principal/nacional del país Longitud de vías (km)				Redes secundaria y terciaria combinadas Longitud de vías (km)			
	Pavimentada	Granular/ Ripio	Mejorada	Tierra	Pavimentada	Granular/ Ripio	Mejorada	Tierra	Pavimentada	Granular/ Ripio	Mejorada	Tierra
Argentina	82.898	673.111	43.476	546.737	36.787	39.938 (6%)	2.389	762	46.111	633.173 (94%)	41.087	545.975
Bolivia^a	31.080	198.669	50.353	4.168	113.068	13.806 (7%)	4.921	228	22.424	184.863 (93%)	4.168	112.838
Brasil	213.500	1.563.600			64.177	64.177 (4%)			149.323	1.499.423 (96%)	1.350.100	
Chile	21.289	85.984	32.329	17.253	15.114	11.444 (13%)	930	787	104	74.540 (87%)	31.398	16.466
Colombia	32.005	205.745 ^b	111.639	44.052	16.337	18.324 (18%)	1.987		15.668	169.372 (82%)	109.652	44.052
Ecuador	15.754	43.762		28.008	7.399	9.791 (22%)	2.392		8.355	33.971 (78%)	25.616	
México	175.526	393.473				50.499 (13%)				342.974 (87%)		
Paraguay	6.988	80.127	2.496	70.643		8.767 ^c (11%)				71.360 (89%)		
Perú	30.069	173.058	48.297	94.692	22.601	27.042 (16%)	2.870	1.571	7.469	146.018 (84%)	45.428	93.121
Uruguay	7.977	67.781	10.045	49.759	3.968	3.968 (6%)			4.009	63.813 (94%)	1.045	49.759

Notas: a/ Existe una gran carencia de información desagregada sistemática en esta materia en casi todos los países. Los datos provienen de fuentes dispersas, por ejemplo, en el caso de Bolivia, se tomaron de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), Servicios Departamentales de Caminos, Gobiernos Autónomos Municipales y del Instituto Nacional de Estadística. b/ Se incluyen 18.049 km de los cuales no se tiene información, hay que destacar, además, que la información más reciente es de hace 10 años. c/ La resolución MOPC N.º 1090/2019 establece 8767 km de carreteras nacionales, la resolución MOPC N.º 600/2020 establece 7743 km de carreteras departamentales.

Fuente: Datos obtenidos de fuentes relevantes dispersas de cada país.

2.2 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL, RECURSOS ECONÓMICOS Y ASPECTOS OPERATIVOS PARA LA GESTIÓN VIAL

2.2.1 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL

Las entidades encargadas de la administración de la red vial total en cada país dependen y están conformadas de acuerdo con la estructura organizativa del Estado. En los países objeto de este análisis existen dos sistemas: el centralizado y el descentralizado.

En el sistema centralizado, una sola entidad nacional gestiona la red. Es el caso de Paraguay, donde el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) es responsable de toda la red vial del país, y de Chile, donde el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección Nacional de Vialidad y de las direcciones de vialidad regionales, se encarga de la administración de toda la red de carreteras.

En el sistema descentralizado, cierto tipo de redes viales se ponen bajo la jurisdicción de un determinado nivel de gobierno para que este se responsabilice de su administración en lo que se refiere a planificación, gestión, ejecución y operación vial. El caso más frecuente es aquel en el cual la red vial nacional o primaria está a cargo de un organismo gubernamental del orden nacional o federal, la red vial secundaria es responsabilidad del segundo nivel de gobierno, que corresponde a estados, departamentos, provincias o regiones (según la organización política de cada país), y la red vial terciaria, vecinal o rural está a cargo del tercer nivel de gobierno (municipio, distrito, cantón o provincia, según la división político-administrativa de los países). El sistema descentralizado se utiliza en Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, México y Perú.

En los sistemas descentralizados es conveniente contar con un ente centralizado que se encargue de promover políticas, gestionar recursos, estructurar planes y programas generales, unificar criterios de diseño, elaborar normas y especificaciones, estandarizar la calidad de las obras, controlar y efectuar el seguimiento para el uso eficiente de los recursos. En algunos, quizá también sea conveniente atender la construcción, reconstrucción y rehabilitación de algunas vías. En cualquier caso, es recomendable que las entidades gubernamentales del segundo y tercer nivel atiendan la conservación de los caminos por estar más cerca de ellos para identificar y resolver los problemas que se presenten.

2.2.2 RECURSOS ECONÓMICOS PARA LA GESTIÓN VIAL

Los recursos económicos usualmente han sido insuficientes para atender debidamente y garantizar la adecuada circulación vehicular en los caminos rurales y ello ha sido consecuencia de la indefinición de políticas y de planes gubernamentales con relación a dichos caminos. Sin embargo, se tienen valiosas experiencias nacionales de varios programas que se han orientado a mejorar y conservar la transitabilidad en las vías secundarias y terciarias.

En general, los recursos para invertir en los caminos rurales provienen del Tesoro nacional, del crédito externo, de regalías por explotación de petróleo, gas o minerales y de los aportes de la comunidad y de organizaciones gremiales.

En algunos presupuestos nacionales se incluyen partidas para vías secundarias y terciarias. Por otra parte, la transitabilidad de los caminos se logra, en cierta forma, con recursos de presupuestos departamentales, estatales, provinciales o regionales, así como con partidas incluidas en los presupuestos municipales.

Los créditos externos y el apoyo institucional, en particular del Banco Mundial, del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de CAF –banco de desarrollo para América Latina y El Caribe–, han sido elementos claves para diseñar e implementar diferentes programas en algunos de los países de la región. En los próximos años se espera seguir contando con el apoyo económico de los organismos internacionales.

La sostenibilidad financiera, que garantice los recursos requeridos para atender la transitabilidad de los caminos rurales, no está asegurada en el corto, mediano y largo plazos. Esto se debe a que en la mayor parte de los países analizados depende de recursos de crédito externo y, con excepción quizá de Chile, no hay fuentes de recursos propios o mecanismos de financiamiento con tal propósito.

2.2.3 ASPECTOS OPERATIVOS DE LA GESTIÓN VIAL

Las modalidades operativas empleadas para ejecutar el mejoramiento y la conservación de los caminos rurales son, principalmente, la administración directa, la contratación con terceros, el establecimiento de convenios con otras instituciones y la participación comunitaria, ya sea a través de convenios, contratos o mediante actividad voluntaria. Sobre la modalidad de participación comunitaria se incluyen algunas experiencias de países en el apartado “Conservación o mantenimiento rutinario de caminos con participación comunitaria”.

2.3 POLÍTICAS, PLANES Y PROGRAMAS PARA CAMINOS RURALES

En las dos últimas décadas se ha reconocido la importancia social, económica, ambiental e institucional de los caminos rurales, motivo por el cual, en algunos países, se han definido políticas y planes para su mejoramiento y conservación. Al respecto son de resaltar los casos de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Paraguay y Perú.

2.3.1 ARGENTINA: PROGRAMA DE CAMINOS RURALES PRODUCTIVOS Y CAMINOS RURALES: DE LA DEGRADACIÓN A LA SUSTENTABILIDAD

En Argentina se implementan diversos programas provinciales para la reparación, rehabilitación, mejora y conservación de los caminos rurales, mediante diversas modalidades. Al respecto, son de resaltar el Programa de Caminos Rurales Productivos y el de Caminos Rurales: de la Degradación a la Sustentabilidad.

El primero lo implementa el Ministerio de Obras Públicas de Argentina y se financia mediante un crédito de CAF. Su objetivo general es contribuir a la conectividad de los caminos rurales productivos de la red vial provincial (RVP) o la red vial municipal (RVM) para facilitar la integración territorial del país y la conexión federal. De esta manera, se pretende fomentar el desarrollo económico, social y productivo. En particular, se impulsa el módulo de “puesta en valor de los caminos rurales”, cuyos objetivos específicos son: (i) reducir los costos de operación en los recorridos, (ii) promover ahorros en tiempo de viaje para el usuario, y (iii) fortalecer acciones que procuren la transitabilidad permanente de los caminos rurales intervenidos y que se encuentren vinculados a corredores de integración con la red vial provincial o nacional.

Los caminos rurales facilitan la movilización de la producción al interconectar la red vial provincial y nacional y, en especial, brindan acceso a los principales puertos, destinos turísticos y centros de consumo, transformación y comercialización del país. Por otra parte, benefician al transporte de insumos para la producción y de los productos elaborados a los centros de consumo y comercialización. En este sentido, con un apropiado desarrollo y conservación de los caminos rurales, se estimula la actividad económica local, lo que resulta en posibilidades de empleo, mejores niveles de ingresos y distributivos, y la diversificación de las actividades al facilitar la instalación y desarrollo de establecimientos comerciales y nuevas industrias. A su vez, permiten a la población rural tener acceso a los servicios esenciales, como los de salud, educación e interacción social.

En cuanto al segundo, Caminos Rurales: de la Degradación a la Sustentabilidad, la Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRuS) propone la implementación de un sistema de manejo que contempla el control de erosiones, mejoras de la transitabilidad, menor riesgo vial y promoción de la biodiversidad en las zonas del camino. La propuesta, de gran valor conceptual para las intenciones humanas del momento, se implementa progresivamente en varias provincias argentinas, con un importante comienzo en la provincia de Santa Fe e inicio en localidades de las provincias de Córdoba, Entre Ríos y Buenos Aires.

2.3.2 BRASIL: PROGRAMA CAMINOS DE INTEGRACIÓN – PATRULLA DE CAMPO

En el estado brasileño de Paraná, la Secretaría de Agricultura y Abastecimiento Estatal (SEAB) alcanzó un pacto con el Consorcio Intermunicipal de la APA Federal del Noroeste de Paraná (COMAFEN)¹⁵ en cumplimiento del programa Caminos de Integración – Patrulla de Campo. Su objetivo es atender las necesidades relacionadas con la recuperación de caminos rurales de los municipios de cultivo intercalado con el fin de mantenerlos en buenas condiciones. La atención se centra en el desarrollo rural y urbano de los municipios participantes en el consorcio, los cuales dispondrán de maquinaria pesada para la ejecución de las intervenciones (Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, s. f.).

En el inicio del programa, en 2018 se acondicionaron con mejoras 66 km de caminos rurales en 12 municipios, se facilitó la circulación vehicular, se incentivó el desarrollo urbano y rural y se brindó capacitación a los gestores públicos y técnicos (Porta da Cidade Loanda, 2022).

2.3.3 COLOMBIA RURAL Y CAMINOS COMUNITARIOS PARA LA PAZ TOTAL

Desde hace 30 años, en Colombia se diseñan e implementan planes y programas para las vías regionales (secundarias y terciarias), que se ejecutan parcialmente durante los períodos gubernamentales de cuatro años. Entre ellos figura el Plan Vial Regional, el Plan Vías para la Paz, el Plan 2500, el Programa de Mejoramiento y Conservación de Vías Terciarias y el Plan Nacional de Vías para la Integración Regional.

El más reciente es el de Colombia Rural, realizado a través del Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Sus metas fueron el mantenimiento de 15.000 km y el mejoramiento de 12.400 km.

Actualmente se encuentra en proceso de diseño e implementación un plan denominado Caminos Comunitarios para la Paz Total. Se espera que este plan sea ejecutado por organizaciones de acción comunal, las comunidades étnicas y las entidades sin ánimo de lucro legalmente constituidas. El propósito es realizar actividades de mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de vías regionales y caminos ancestrales con una longitud total de aproximadamente 33.100 kilómetros.

¹⁵ Este consorcio del Área de Protección Ambiental (APA) es una institución formada por diez municipios que tienen Unidades de Conservación en su territorio.

Las actividades por realizar incluyen rocería, bacheo manual con material granular, limpieza de obras de drenaje y mejoramiento con placa huella en sitios de altas pendientes, en longitudes de hasta 200 metros, construcción de bateas, señalización vertical y obras de ingeniería verde.

A través del programa, el gobierno espera impulsar la economía, consolidar la presencia estatal en todo el país, incrementar la comercialización de productos agrícolas, potenciar la industria del turismo, mejorar el acceso a servicios primarios de salud y educación y reducir los impactos ambientales a través de la intervención en vías y caminos ancestrales con métodos constructivos no convencionales.

2.3.4 CHILE: PROGRAMA DE CAMINOS BÁSICOS

Con el propósito de mejorar la transitabilidad de las vías categorizadas como caminos rurales en toda temporada, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) de Chile, a través de la Dirección Nacional de Vialidad, estructuró e impulsó en 2003 un programa para el mejoramiento de 5000 km de caminos no pavimentados, denominado Programa de Caminos Básicos 5000.

Este programa ha sido calificado como “la segunda revolución vial” en Chile debido a que innovó la forma de hacer mantenimiento, mejorando el nivel de servicio de los caminos, reduciendo los costos para su conservación y contribuyendo a mejorar la calidad de vida, no sólo de sus usuarios directos, sino también de las personas que habitan en su entorno. Es importante destacar que el cumplimiento de los objetivos se ha logrado, en gran medida, gracias a la participación conjunta del Ministerio, de los centros de investigación y el sector privado, lo que permitió a Chile hacer uso de nuevos materiales y nuevas tecnologías. Gran parte de los proyectos se llevaron a cabo con el empleo de tecnologías intermedias.

2.3.5 MÉXICO: ESTRATEGIA NACIONAL Y LOCAL PARA CAMINOS RURALES, PLANES Y PROGRAMAS

En México se ha reconocido la importancia económica y social de los caminos rurales o vías de bajo volumen de tránsito. Por ello, se han establecido distintas políticas e implementado programas en todo el territorio nacional con la finalidad de construir, conservar, mejorar y rehabilitar caminos que comunican a las comunidades y localidades, ya sea entre ellas o con sus respectivas cabeceras municipales.

En cuanto a los programas, algunos son temporales, es decir, tienen un inicio y un fin de ejecución, y otros son de aplicación periódica o permanente. Tal es el caso de las conservaciones rutinarias llevadas a cabo por los diferentes centros de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y las Secretarías de Comunicaciones y Obras Públicas de los estados. Independientemente de cuál sea el caso, los encargados de evaluar, gestionar y ejecutar las acciones pertinentes que posibiliten la comunicación segura e ininterrumpida de las localidades a través de los caminos son los entes públicos de cada región.

Diversos programas viales han sido llevados a cabo por los diferentes niveles de gobierno. Aquellos de relevancia en los últimos 5 años son nombrados y caracterizados a continuación:

Programa de caminos pavimentados a municipios indígenas

En el año 2018, se dio a conocer, a través del Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI) y la SICT, el Programa Nacional de los Pueblos Indígenas. Con una inversión de 2231 millones de pesos (MXN)¹⁶, se preveía mejorar 685,3 km de caminos rurales en el municipio de Oaxaca, en el estado homónimo.

El programa fue implementado mediante los comités y asambleas comunitarias, junto con 50 autoridades municipales. Para concretar la iniciativa, la SICT y el INPI formalizaron y firmaron convenios entre el gobierno federal y los gobiernos de los municipios participantes en ella. El programa se ejecutó con integración y uso intensivo de mano de obra local. Asimismo, se aprovecharon los conocimientos de los habitantes y los materiales de la región, lo que permitió la generación de más de 14.000 empleos y beneficiar a 196.404 habitantes locales.

Programa de Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales (PPCCM)

Este programa es promovido desde el año 2019 por el gobierno federal. Su objetivo es “impulsar el desarrollo de municipios con comunidades de media, alta y muy alta marginación a través del otorgamiento de subsidios para la pavimentación de caminos que dan acceso a las cabeceras municipales y que aún se encuentran a nivel de terracerías, mediante el empleo de mano de obra local no calificada” (SICT, 2020).

El PPCCM tiene como meta fortalecer la comunicación vial terrestre, mejorando la accesibilidad y conectividad de las comunidades indígenas con sus cabeceras municipales. La ejecución del programa prioriza el uso de mano de obra local y el aprovechamiento de materiales de la región, por lo cual permite generar fuentes alternativas de empleo y fortalecer la economía local de las comunidades. Hasta el momento, las acciones del programa se han concentrado principalmente en diferentes municipios y localidades del estado de Oaxaca y en un par de localidades de los estados de Hidalgo y Veracruz (Garnica Anguas y Martínez Almeida, 2023).

¹⁶ Considerando un cambio promedio en 2018 de 19,2373 pesos por cada dólar estadounidense (USD), la inversión se elevó a casi USD 116 millones.

2.3.6 PARAGUAY: MEJORAMIENTO DE CAMINOS VECINALES Y PUENTES EN ÁREAS RURALES DE LA REGIÓN ORIENTAL CON MANO DE OBRA LOCAL

La iniciativa incluye mejoras en 408 km de caminos y 5390 metros de puentes, por un valor total de USD 214,6 millones, de los cuales el 70 % es financiado por CAF. El programa pretende incentivar la generación de empleo local mediante pequeñas empresas constructoras.

Sus principales retos son:

- Incorporar soluciones técnicas adecuadas a caminos de bajo tránsito, en cuanto a estructura, drenaje y señalización.
- Concienciar a la sociedad sobre la necesidad de optimizar las inversiones en la infraestructura caminera.
- Incorporar programas de mantenimiento específicos para caminos, idealmente mediante la creación de microempresas.
- Fortalecer las capacidades institucionales en la Dirección de Caminos.
- Sustituir los puentes de madera por hormigón.

2.3.7 PERÚ: PROGRAMAS PARA EL DESARROLLO RURAL Y LA COMPETITIVIDAD REGIONAL

Programa de Caminos Rurales (PCR)

Iniciado a mediados de la década de los noventa, fue cofinanciado por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), el BID y el gobierno peruano. La iniciativa estuvo orientada a reducir la pobreza y propiciar el desarrollo en las zonas rurales mediante la provisión de infraestructura vial, la construcción, rehabilitación y conservación de caminos vecinales o rurales y de caminos de herradura, la sostenibilidad financiera del mantenimiento, la descentralización de la gestión vial y la promoción de la participación del sector privado.

Programa de Infraestructura Vial para la Competitividad Regional (PROREGIÓN)

Su objetivo es la provisión eficiente de infraestructura y servicios de transporte y logística en el eslabón entre las zonas de producción y los centros de acopio. De esta manera, se pretende mejorar las condiciones de transitabilidad de personas y mercancías que se movilizan por las vías subnacionales que conectan los centros de producción en regiones que tiene potencial exportador y las zonas de frontera con los centros de acopio y los corredores logísticos nacionales. Para ello, se ha previsto intervenir cerca de 15.000 km de la red vial regional, a partir de la ejecución de contratos de mejoramiento a nivel de soluciones básicas y de conservación por niveles de servicio. Dado el alcance del Programa, su ejecución se ha planteado por fases, siendo la primera de ellas el destino de los recursos del Contrato de Préstamo suscrito entre CAF y la República del Perú. El PROREGION es un componente del Plan de Desarrollo Logístico en Vías Subnacionales, que promueve la integración y competitividad regional. Es una iniciativa temporal que, en su primera fase, va a permitir mejorar 4202 km y conservar la transitabilidad de 4948 km de la infraestructura vial subnacional priorizada, cuya conexión con las vías nacionales fortalecerá los corredores logísticos del país. Igualmente, el Programa apoyará a los gobiernos regionales, mejorando los niveles de servicio de estas carreteras, así como con la gestión de sus redes viales, mediante acciones de fortalecimiento institucional y el financiamiento de estudios definitivos de aquellos proyectos que, producto de las intervenciones, excedan las expectativas de crecimiento del tráfico.

Esta primera fase del Programa incluye 18 corredores localizados en 16 departamentos del país: Tacna, Arequipa, Moquegua, Apurímac, Madre de Dios, Cusco, Ayacucho, Huancavelica, Ica, Pasco, Junín, Cajamarca, La Libertad, Tumbes, Amazonas y Puno. Las vías que serán intervenidas son vías departamentales que alimentan a los corredores logísticos principales y estarán a cargo de ProVías Descentralizado. De existir en el recorrido una vía de carácter vecinal, se harán las gestiones necesarias para su reclasificación.

2.4 IMPACTOS DE PLANES Y PROGRAMAS EN CAMINOS RURALES

En algunos países se han efectuado evaluaciones y mediciones de los impactos generados como resultado de la implementación de planes y programas en caminos rurales. Como referencia se indican los casos correspondientes a Colombia, México y Perú.

Colombia. Las inversiones en la red vial terciaria (RVT) han sido una política de los gobiernos colombianos implementada mediante diferentes planes y programas, como el Plan 2500 (2004-2010), Caminos para la Prosperidad (2010-2014), Plan 50/51 (2017) y Colombia Rural (2019-2022), entre otros. Estos programas han estado articulados con el respectivo Plan Nacional de Desarrollo.

Los resultados, según la evaluación de impacto efectuada en 2021, indican lo siguiente:

- En materia de producción y productividad, generan aumentos en el PIB y el PIB per cápita municipal en el mediano plazo, un peso invertido en la red vial terciaria se convierte en aproximadamente 5 pesos de valor agregado tres años después de finalizar el proceso de contratación.
- En cuanto a desarrollo y productividad agrícola, disminuyen el área sembrada y aumentan el rendimiento agrícola en el mediano plazo.
- En relación con el empleo, aumentan el número de empresas generadoras de empleo formal en el corto plazo.
- En materia de educación, aumentan el puntaje en lectura y matemáticas del Saber 11 en el mediano plazo y disminuyen la tasa de deserción intraanual de forma más sostenida (después de 3 a 5 años).
- Respecto a la salud, disminuyen en el corto plazo la tasa de mortalidad general y de mortalidad infantil en menores de 1 año.
- En el ámbito de los servicios públicos, aumentan la cobertura en el corto o mediano plazo del acueducto, el aseo y la energía rurales, pero no tienen efecto sobre el alcantarillado rural o la banda ancha (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

México. Como se ha indicado, con el programa de caminos pavimentados a municipios indígenas, una inversión de 2231 millones de pesos permitió mejorar 685,3 km de caminos rurales en el municipio de Oaxaca, lo cual generó 14.000 empleos y benefició a 196.404 habitantes.

Perú. En el programa de caminos vecinales se obtuvieron mejoras en las condiciones de viaje, incluyendo un mayor período de transitabilidad de las vías durante el año para acceder a los servicios de educación y comercialización de los productos agrícolas. En cuanto a los servicios educativos, hubo impactos positivos y significativos en la tasa de acceso a la escuela para educandos de 12 a 18 años, que asciende a 14 puntos porcentuales. Similarmente, respecto a los servicios de salud, se tiene un incremento positivo de 10 puntos porcentuales. En materia de empleo, se evidencia un impacto positivo de 2,3 en las horas trabajadas por semana por los miembros del hogar. A nivel de actividad agropecuaria, los resultados indican que existe un resultado positivo y significativo en la superficie cultivada de 0,36 hectáreas. Con relación a los gastos, los ingresos y la pobreza, se observa un pequeño impacto positivo en el logaritmo del gasto per cápita y en la reducción de la pobreza extrema (14 %) y de la pobreza por necesidades básicas insatisfechas (7 %) (Provías Descentralizado, 2014).

2.5 NORMATIVA

La mayoría de los países objeto del estudio poseen una normatividad relativamente bien establecida para todas las actividades relacionadas con obras de infraestructura vial. Aunque muchas de las normas existentes no están orientadas necesariamente hacia la problemática de los caminos rurales, existe documentación técnica y normas que tratan estos caminos de manera específica.

En Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú y Paraguay, se han publicado algunos documentos orientativos para trabajos relativos a caminos rurales.

2.6 TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS RURALES

En los países objeto del estudio se han venido utilizando diferentes técnicas para el mejoramiento y mantenimiento de sus caminos rurales. En general, se aplican técnicas de intervención con maquinaria o con personal para la reparación y las actividades de mantenimiento rutinario y periódico de caminos en tierra o en material granular. Por otra parte, se utilizan algunas técnicas regionales o nacionales propias, dependiendo de las condiciones geológicas, climáticas y ambientales. Es el caso de ciertas técnicas de estabilización y mejoras superficiales implementadas en Argentina, Chile y ciertas zonas de Bolivia y Perú, que no son viables en otras regiones, limitando la aplicabilidad de algunas soluciones a condiciones muy particulares a nivel local.

Adicionalmente, la falta de normatividad y de experiencia en el uso de algunas técnicas o el pleno desconocimiento de su existencia hace que su aplicación no sea generalizada y que, en múltiples ocasiones, se dé preferencia a técnicas tradicionales, como la colocación periódica de material granular y, algunas veces, la colocación de capas de hormigón asfáltico. Por otra parte, las técnicas de mejoramiento y conservación usadas con frecuencia a nivel local y que, a juicio de los interesados, cumplen satisfactoriamente su función son reproducidas en mayor proporción en sus zonas de influencia (p. ej., el empleo de empedrados en Bolivia, Ecuador, Paraguay y Perú y de placas-huellas en Colombia y México).

Las técnicas de mejoramiento y conservación utilizadas con relativa frecuencia en los países analizados se muestran en el cuadro 2.5.

CUADRO 2.5. TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO USUALES EN LOS PAÍSES OBJETO DEL ESTUDIO

País	Técnicas utilizadas con mayor frecuencia
Argentina	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizaciones de material granular con cal, cemento y asfalto. • Aplicación de sales o cloruros para la estabilización de material granular o como supresor de polvo. • Estabilización de conglomerados calcáreos con material asfáltico. • Tratamientos superficiales tradicionales.
Bolivia	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular: riplado o afirmado. • Empedrados.
Brasil	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular. • Manejo de suelos lateríticos. • Estabilizaciones con cal y cemento. • Empedrados
Chile	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de sales o cloruros para la estabilización de material granular o como supresor de polvo. • Sellos asfálticos o tratamientos superficiales. • Tratamientos superficiales tradicionales (TSD, TSS). • Tratamientos superficiales no tradicionales (sello de Otta, sello del Cabo). • Estabilización química del suelo disponible.
Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Placa-huella. • Material granular: afirmados • Estabilización química del suelo disponible. • Utilización de asfaltos naturales.
Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de material grueso (rajón). • Tratamientos superficiales tradicionales (TSD, TSS). • Material granular: lastrado. • Estabilización química con cal o cemento. • Empedrados.
México	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular. • Estabilizaciones con cal y cemento. • Revestimientos asfálticos superficiales. • Huella-placa.
Paraguay	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular: enripiado. • Tratamientos superficiales. • Mejoramiento de suelos mediante estabilización química con cemento o cal. • Empedrado.
Perú	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización de suelos con cemento. • Tratamientos superficiales tradicionales. • Sellos con lechadas asfálticas (slurry seal). • En la actualidad se proponen otras formas de sello asfáltico experimentadas con éxito en otras latitudes, como los sellos del Cabo y de Otta.
Uruguay	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular. • Tratamiento especial de la tosca. • Revestimientos asfálticos superficiales.

Nota: TSD, corresponde a tratamiento superficial doble, TSS, corresponde a tratamiento superficial simple.

Fuente: Elaboración propia con base en información de referencias nacionales de cada país.

2.7 CONSERVACIÓN O MANTENIMIENTO RUTINARIO DE CAMINOS CON PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

En diversos países de América Latina se tienen reconocidas y valiosas experiencias de intervenciones para la reparación, conservación y mantenimiento rutinario de caminos mediante la participación de personas que habitan en las zonas aledañas o de influencia del camino¹⁷. Estos programas han sido el resultado de decisiones y políticas gubernamentales cuyo propósito era generar empleo rural y recuperar la transitabilidad básica del camino.

Los resultados alcanzados en la implementación de los diferentes planes han superado las expectativas y se han podido mantener en diferentes períodos de gobierno. Los principales beneficios identificados y valorados han sido los siguientes:

- Recuperación y mantenimiento sostenido de la transitabilidad del camino.
- Ahorros en los tiempos de recorrido y los costos de operación vehicular.
- Incrementos en el uso de la vía por parte de diferentes usuarios.
- Mejora en la accesibilidad a centros de salud.
- Accesibilidad y mayor participación infantil en la educación escolar.
- Incremento en la productividad de la zona y mayor actividad en los mercados.
- Presencia del Estado en los territorios.
- Mayor confianza en el gobierno y en las instituciones públicas y aumento de su credibilidad.
- Ahorros económicos por disminución de las intervenciones viales de reparación, rehabilitación, reconstrucción y emergencias.
- Relación directa entre el gobierno y la comunidad para potenciar programas sociales y proyectos productivos.

2.7.1 MODALIDADES DE PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

Se tienen diferentes modalidades de participación comunitaria acordes con el contexto nacional o local, el interés y la motivación de los grupos sociales, los recursos disponibles y la normatividad pertinente. Entre las principales modalidades son de resaltar las descritas a continuación.

¹⁷ Se han implementado diversos programas en Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú, República Dominicana y Uruguay.

2.7.1.1 JORNADAS COMUNITARIAS, CONVITES, ENCUENTROS SOLIDARIOS O MINGAS¹⁸

Se realizan por convocatoria de algún líder o directivo de alguna organización comunitaria o por una autoridad local con el propósito de recuperar, reparar o mantener la transitabilidad del camino que sirve a las personas que viven en su entorno. Cada persona efectúa aportes en dinero, herramientas, trabajo o comida para el día en el que se realicen las jornadas de trabajo. Generalmente, participan decenas y hasta centenas de personas que laboran hasta lograr el objetivo propuesto. Esta modalidad es de amplia aplicación, especialmente en las comunidades que habitan en la zona andina.

En la ilustración 2.1 se muestran casos de trabajo mediante mingas de comunidades indígenas o campesinas y momentos de convivencia en Colombia.

ILUSTRACIÓN 2.1. MINGAS O JORNADAS COMUNITARIAS EN LA REPARACIÓN DE CAMINOS Y ALMUERZO DE CONVIVENCIA



Fuente: Elaboración propia.

¹⁸ Término, cuyo origen está en el vocablo quechua mink'a, significa trabajamos todos por el bien de todos.

ILUSTRACIÓN 2.1. MINGAS O JORNADAS COMUNITARIAS EN LA REPARACIÓN DE CAMINOS Y ALMUERZO DE CONVIVENCIA



Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.2 CAMPESINOS CAMINEROS

Esta modalidad consiste en que una entidad local (municipio, distrito, cantón, provincia) contrate a personas que habitan en la zona del camino para que cada una de ellas se responsabilice y ejecute el mantenimiento rutinario de un tramo (en tierra o material granular). Los tramos tienen una longitud de entre 4 km y 6 km, dependiendo de las intervenciones y el trabajo por ejecutar en cada caso. Al respecto, es de destacar como ejemplo de referencia el Programa de Camineros Ambientales, implementado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en caminos de municipios con producción de café en el Departamento del Valle del Cauca (ver la ilustración 2.2).

ILUSTRACIÓN 2.2. CAMINEROS EJECUTANDO ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN RUTINARIA EN CAMINOS DE ZONAS CAFETERAS



Fuente: Comité Federación de Cafeteros Valle del Cauca (Colombia).

2.7.1.3 COOPERATIVAS DE TRABAJO ASOCIADO Y MICROEMPRESAS U OTRAS FORMAS EMPRESARIALES

Antecedentes y experiencia en Bolivia

En 2001 se diseñó e inició en este país el programa denominado Provia Bolivia, con un tramo piloto con tres microempresas en la carretera Río Seco-Desaguadero, situada en el altiplano boliviano y que sirve de vía de comunicación hasta la frontera con Perú. Desde entonces, el programa se ha sostenido y fortalecido, incorporando un mayor número de actividades a las microempresas. Actualmente, el programa atiende el mantenimiento en la red vial fundamental. También se han desarrollado otras experiencias exitosas en los departamentos de Tarija, Cochabamba, La Paz, Chuquisaca y Santa Cruz de la Sierra principalmente.

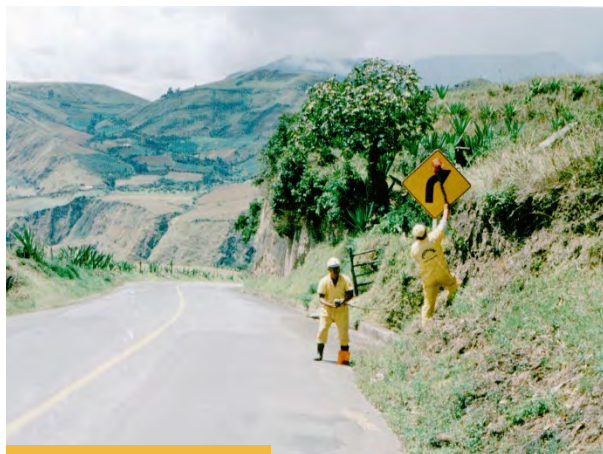
En la ilustración 2.3 se muestran casos de trabajo en la sección de inducción, el inicio del programa con autoridades y labores ambientales mediante vivero y participación escolar.

ILUSTRACIÓN 2.3. PROGRAMA PROVIAL BOLIVIA



Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

ILUSTRACIÓN 2.3. PROGRAMA PROVIAL BOLIVIA



Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Antecedentes y experiencia en Colombia

Las cooperativas de trabajo asociado y microempresas de construcción de carácter comunitario tuvieron sus comienzos en Colombia en 1984 y se han convertido en la modalidad de mayor experiencia, cobertura y aplicación en países latinoamericanos. En Colombia surgieron en el marco del Plan Nacional de Desarrollo “Cambio con Equidad”, con el objetivo de desarrollar microempresas asociativas (INVÍAS, 1995) para mantener y conservar la red de carreteras nacionales que se encontraba en grave estado de deterioro en la mayor parte de su longitud, a pesar de contar con miles de unidades de maquinaria pesada y miles de trabajadores en el extinto Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

En este caso, el programa se diseñó y organizó con grupos precooperativos, integrados por personas que habitaban en la zona de la carretera a la que se iba a dar mantenimiento. Los resultados positivos y los beneficios logrados facilitaron ampliar el programa en toda la red vial

nacional colombiana (26.500 km) y transferir la experiencia a otros países latinoamericanos: Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay y Perú. En la actualidad, es de resaltar que los programas continúan funcionando y se reconocen todos los beneficios logrados.

En la ilustración 2.4 se muestran documentos de microempresas asociativas del Instituto Nacional de Vías de Colombia y de cooperativas de trabajo asociado para realizar labores de mantenimiento rutinario vial del Ministerio de Transporte de Colombia. Además, hay algunas fotografías de trabajo de campo.

ILUSTRACIÓN 2.4. MICROEMPRESAS DE CONSERVACIÓN VIAL RED VIAL NACIONAL DE COLOMBIA



A. Portada de documento



B. Portada de publicación del Ministerio de Transporte



C. Actividades en el marco del programa Caminos para la Prosperidad

Fuente: Imagen A, INVÍAS (1995), B, Ministerio de Transporte, INVÍAS y SENA (2009), C, programa Caminos para la Prosperidad (INVÍAS).

Antecedentes y experiencia en Costa Rica

En Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte diseñó e implementó el programa de la Red Vial Cantonal con la finalidad de mantener los caminos rurales con personal local organizado en unidades empresariales, denominadas microempresas comunitarias de mantenimiento por estándares. En esta iniciativa participan los gobiernos cantonales a través de Asociaciones de Desarrollo de la Comunidad (ADI) o Uniones Cantonales de Asociaciones de Desarrollo (UCADI).

El programa ha tenido como objetivo promover el desarrollo humano, la descentralización y la integración socioeconómica de los grupos de población con menores ingresos en zonas agroecológicas y turísticas con potencialidad productiva. También busca propiciar el acceso directo al empleo y garantizar las condiciones viales para una transitabilidad permanente. Igualmente, se ha propiciado la participación de hombres y mujeres.

En la ilustración 2.5 se muestran referencias de trabajos en vías cantonales mediante microempresas con participación de género y ejecución de diversos trabajos con herramientas manuales.

ILUSTRACIÓN 2.5. TRABAJOS EN CAMINOS CANTONALES REALIZADOS POR MICROEMPRESAS EN COSTA RICA



Fuente: Programa de la Red Vial Cantonal PRVC-II.

Antecedentes y experiencia en Honduras

El programa de microempresas en Honduras se inició como una necesidad urgente para recuperar la red de carreteras afectada y deteriorada como consecuencia del huracán Mitch en el año 1998. En total, sufrieron daños 47 carreteras principales y más de 400 caminos vecinales, que representaban un 70 % de la longitud de la red. La cobertura incluyó las carreteras principales que estaban pavimentadas y, posteriormente, los caminos no pavimentados.

De este programa es importante resaltar que incorporó actividades de beneficio social y proyectos productivos, entre los cuales cabe destacar los de alfabetización, mejoras de vivienda, reciclaje de basuras, producción de abonos orgánicos, tiendas comunitarias, reparaciones locativas en escuelas, granjas avícolas, unidades de piscicultura, viveros de café y de árboles forestales, entre otros.

Actualmente, el programa no está en funcionamiento por inconvenientes institucionales durante gobiernos recientes.

En la ilustración 2.6 se muestran actividades de recolección de basuras, rocería, bacheo e integración personal realizados por personal de microempresas en Honduras.

ILUSTRACIÓN 2.6. TRABAJOS EN CAMINOS RURALES REALIZADOS POR MICROEMPRESAS EN HONDURAS



Fuente: Programa Caminos para una vida mejor, Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP)

ILUSTRACIÓN 2.6. TRABAJOS EN CAMINOS RURALES REALIZADOS POR MICROEMPRESAS EN HONDURAS



Fuente: Programa Caminos para una vida mejor, Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP)

Antecedentes y experiencia en Perú

El programa de mayor relevancia desarrollado en América Latina para la recuperación y conservación de caminos rurales se ha realizado en Perú durante más de dos décadas. Su planeación y objetivos se enfocaron en la red de caminos de regiones donde vivían comunidades con mayor número de necesidades básicas insatisfechas. Para su puesta en marcha, se contó con políticas gubernamentales e instituciones que tenían la responsabilidad de implementar el programa, denominado PROVIAS Rural, y con el apoyo de organismos internacionales. Actualmente se tienen unas 750 microempresas. En la ilustración 2.7 se muestran casos de trabajos en caminos rurales en Perú.

ILUSTRACIÓN 2.7. PROGRAMA PROVIAS RURAL EN PERÚ



Fuente: PROVIAS Rural

ILUSTRACIÓN 2.7. PROGRAMA PROVIAS RURAL EN PERÚ



Fuente: PROVIAS Rural

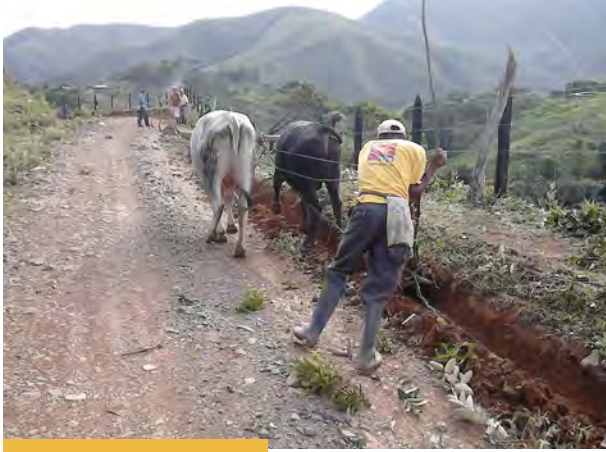
2.7.1.4 JUNTAS DE ACCIÓN COMUNAL (JAC) U OTRAS ORGANIZACIONES COMUNITARIAS

En algunos países se ha adoptado la vía de vincular contractualmente diversas organizaciones comunitarias para ejecutar trabajos de reparación y mantenimiento con herramientas manuales en los caminos ubicados en su territorio. Sobre el particular, es de resaltar como ejemplo positivo de referencia el Programa Caminos de Oportunidades, diseñado e implementado en el departamento colombiano del Cauca.

La creación del Programa fue decisión de la máxima autoridad departamental y su objetivo era recuperar y mantener aproximadamente 1800 km de vías departamentales, puesto que, en 2010, sólo un 3 % de su longitud se encontraba en buen estado. Para la implementación se contó con la participación de 45.000 personas (comuneros), entre ellas 18.000 mujeres.

En la ilustración 2.8 se muestran casos de ejecución de trabajos de reparación y mantenimiento vial y labores ambientales mediante Juntas de Acción Comunal en el departamento del Cauca.

ILUSTRACIÓN 2.8. ACTIVIDADES DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS MEDIANTE JAC EN COLOMBIA



Fuente: Secretaría de Infraestructura del Departamento del Cauca (Colombia)

Por otra parte, se tienen experiencias en diferentes sectores de Colombia con gran participación de las JAC. Además, el gobierno actual ha anunciado la implementación de un plan para recuperar 33.000 km de vías terciarias con la participación de estas organizaciones.

En la ilustración 2.9 se muestra la convocatoria y el trabajo realizado, por iniciativa propia, por la Junta de Acción Comunal de Salitre Alto, en el municipio de Tabio.

ILUSTRACIÓN 2.9. INICIATIVAS COMUNITARIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE CAMINOS MEDIANTE UNA JAC



Fuente: Elaboración propia

2.7.1.5 PROGRAMAS DE MANO DE OBRA INTENSIVA

En México, el Programa de Caminos Pavimentados a Municipios Indígenas y el Programa de Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales (PPCCM) establecieron el uso intensivo de personal mediante el empleo de mano de obra local no calificada. Estos programas han tenido como objetivo principal la generación de empleo y se han enfocado en la mejora de caminos mediante técnicas como la huella placa.

Al respecto, es de mencionar también el caso de Nicaragua, que realizó un programa de pavimentos articulados, iniciado en 1999, mediante la participación comunitaria, con los llamados módulos comunitarios de adoquinados (MCA).

2.7.2 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Los recursos financieros que generalmente están disponibles para este tipo de programas provienen de:

- Presupuestos. Se considera indispensable que la decisión de implementar programas de mantenimiento con participación comunitaria incluya la asignación de recursos presupuestales del orden nacional, departamental, provincial o local, de acuerdo con los requerimientos de las longitudes de caminos a incluir, de las intervenciones y de otros programas asociados.
- Aportes del sector privado. Es necesario y conveniente promover la participación activa de organizaciones o empresas privadas que desarrollan sus actividades en la zona de influencia del camino y con intereses económicos y de responsabilidad social en la región.
- Cooperación internacional. La vinculación de diversos organismos internacionales de crédito y agencias de cooperación ha sido de suma importancia para llevar a cabo estos proyectos. Se considera indispensable su involucramiento en los programas que se implementen en países de Latinoamérica en el futuro.
- Obras por impuestos. En algunos países se tiene normatividad para realizar obras por impuestos, por ello, se recomienda tener en cuenta esta modalidad para incluirla en las intervenciones de mantenimiento y mejoras de caminos.

2.7.3 ELEMENTOS CLAVE PARA DECIDIR LA PARTICIPACIÓN COMUNITARIA EN LA REPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE CAMINOS

La decisión sobre la participación de las comunidades en la reparación y conservación de caminos depende esencialmente de lo siguiente:

- **Voluntad política y compromiso al más alto nivel de decisión.** Generalmente se requiere que las autoridades del más alto nivel de decisión nacional, regional o local tomen la iniciativa y la decisión de permitir la participación de personas de las comunidades aledañas en las intervenciones de reparación y mantenimiento rutinario de los caminos rurales.
- **Trabajo por el bien común y por el bienestar colectivo.** Es indispensable que el programa se enfoque al bienestar y participación general, sin distinciones de raza, género, religión u afinidad política.
- **Participación comunitaria.** Es necesario contar con el interés y la voluntad de las organizaciones comunitarias y de las personas que las integran en participar y vincularse activamente en el desarrollo e implementación del programa.
- **Creatividad, innovación y oportunidad.** El diseño y la implementación requiere de estudios y análisis de las circunstancias locales. También precisa el conocimiento y consideración de las motivaciones e intereses de las comunidades, las oportunidades de integración del camino en el territorio y las posibilidades tecnológicas para la mejora en el marco de la sostenibilidad económica, social y ambiental.
- **Liderazgo y coordinación institucional.** El diseño, desarrollo e implementación del programa requieren del liderazgo institucional de sus autoridades y la coordinación de entidades y organizaciones participantes. Asimismo, se debe lograr la vinculación y participación de personal profesional idóneo, competente y comprometido con los intereses sociales que comporta el programa.
- **Sostenimiento en el largo plazo.** En el diseño del programa se recomienda considerar la inclusión de políticas institucionales que permitan dar sostenimiento al programa en el largo plazo, es decir, que este continúe independientemente de que las autoridades cambien al finalizar su mandato.

- **Transparencia del buen uso de los recursos.** En el diseño del programa se recomienda incluir medidas y herramientas que faciliten verificar el uso óptimo y eficiente de los recursos que se asignen para el programa.
- **Capacitación.** Dada la amplia participación, es fundamental diseñar un programa riguroso de capacitación para todo el personal profesional, técnico y de operación en aspectos organizacionales, contractuales, técnicos, ambientales, de seguridad y salud en el trabajo y en responsabilidad social.

2.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES PARA CONSTRUIR CAMINOS PERDURABLES Y SOSTENIBLES

Por su longitud, los caminos rurales conforman la mayor parte de las redes viales en los países objeto del estudio. Sea cual sea su clasificación y denominación, la condición física predominante de su superficie de rodadura es la tierra o grava, haciendo imperativa la necesidad de implementar nuevas soluciones técnicas para garantizar su transitabilidad permanente y un mejor nivel de servicio, conforme con las condiciones particulares de cada país.

Debido a la cantidad de población y las condiciones de pobreza y desempleo, es necesario disponer de más y mejores vías de comunicación terrestre en territorios de gran extensión, como ocurre en los diez países incluidos en el estudio. La localización de la mayoría de ellos en la zona intertropical determina una gran variedad de climas y condiciones ambientales, incluyendo zonas desérticas, regiones de alta montaña, amplias llanuras, zonas selváticas y de alta precipitación. También se dan distintas configuraciones geológicas, donde las condiciones de soporte y los materiales disponibles para la construcción de caminos presentan características particulares y diversas, incidiendo de modo notable en la provisión y el mantenimiento de la infraestructura vial.

La organización institucional para la administración de la red vial total de cada país está conformada de acuerdo con la estructura organizativa del Estado, con un sistema eminentemente centralizado en algunos países y descentralizado en otros. Prácticamente en todos los países se ha reconocido la importancia social, económica y ambiental de los caminos rurales, motivo por el cual en algunos se han definido políticas y planes para su mejoramiento y conservación. Al respecto, vale la pena destacar los casos de Argentina, Colombia, Chile, México, Perú y Paraguay.

La mayor parte de los países objeto del estudio poseen una normatividad relativamente bien establecida para todas las actividades relacionadas con obras de infraestructura vial y en algunos se tienen establecidas normas y documentación técnica focalizada específicamente en los caminos rurales.

En general, todos los países utilizan técnicas de mejoramiento de caminos rurales que se han empleado tradicionalmente en diferentes partes del mundo con efectividad, incluyendo las estabilizaciones con cemento o cal y los tratamientos superficiales bituminosos. Algunos países, sin embargo, han usado soluciones un poco menos conocidas, como sales y cloruros para la estabilización y la supresión de polvo en Chile, los empedrados en Brasil, Bolivia, Ecuador, Paraguay y Perú, y la utilización de asfaltos naturales en Colombia, por mencionar algunos. En general, no se identificaron planes formales, estructurados y estables en el tiempo para el seguimiento del desempeño de las técnicas de mejoramiento implementadas, lo que dificulta, en gran medida, la potencial identificación de los factores que afectan la vida útil de las soluciones.

Un aspecto muy crítico que resaltar es que la mayor parte de la longitud de los caminos rurales se encuentra entre regular y mal estado y, en general, se estima que menos del 20 % está en buen estado en cada país. Esta situación se debe a que el mantenimiento rutinario es insuficiente, deficiente o, simplemente, no se realiza. Predomina la cultura de la gestión reactiva, consistente en dejar que se deteriore el camino para luego repararlo, rehabilitarlo o reconstruirlo. Esto implica, a la larga, grandes pérdidas económicas para las agencias viales y los usuarios en general.

De igual manera, es importante mencionar la disponibilidad de personal que podría justificar y facilitar la implementación de planes y programas de recuperación y conservación vial mediante participación comunitaria. Sobre el particular, se tienen reconocidas y valiosas experiencias en algunos países latinoamericanos, como Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay y Perú. De esta manera, es factible no sólo garantizar las condiciones de accesibilidad y transitabilidad de algunas regiones particulares, sino también generar fuentes de empleo estables en el tiempo, propiciar resiliencia social y reactivación económica.

Por otra parte, es de resaltar que actualmente se dispone de diverso equipamiento para realizar intervenciones viales con rapidez, alta calidad del producto terminado y relativo bajo costo, lo cual podría facilitar el anhelo de tener mejor infraestructura vial rural.

Teniendo en cuenta el contexto y la situación social, económica, ambiental, institucional y técnica de los países analizados, se considera recomendable reforzar las actuaciones relacionadas con los caminos rurales en cuanto a:

- La definición de las políticas de Estado, planes y programas para la recuperación y conservación sostenible.
- El diseño e implementación de un sistema de gestión sostenible de activos viales.
- El uso de tecnologías apropiadas y pertinentes, teniendo en cuenta la normatividad y las experiencias positivas de aplicación en el ámbito mundial y regional.

- El fomento de la investigación para identificar técnicas que garanticen mayor economía, calidad y durabilidad en el marco del desarrollo sostenible.
- Propiciar y fomentar modalidades de participación comunitaria para recuperar, reparar y conservar los caminos y garantizar la movilidad segura de los usuarios en aquellos contextos que generen beneficios sociales, económicos y ambientales.
- Estudiar y analizar la viabilidad práctica y económica de incorporar equipamiento pertinente para las intervenciones de construcción y conservación de caminos rurales.



CAPÍTULO 3

SOLUCIONES
TÉCNICAS
PERTINENTES
Y SOSTENIBLES
PARA MEJORAR
Y CONSERVAR
LOS CAMINOS
RURALES

CAPÍTULO 3

SOLUCIONES TÉCNICAS PERTINENTES Y SOSTENIBLES PARA MEJORAR Y CONSERVAR LOS CAMINOS RURALES

3.1 SITUACIÓN ACTUAL Y SOLUCIONES PERTINENTES PARA LA MEJORA VIAL

El objetivo de este capítulo es relacionar y describir diversas soluciones para mejorar los caminos rurales de uso en el ámbito mundial, regional o local, que, por sus características y viabilidad de aplicación, se consideran pertinentes o apropiadas en el medio, propician la sostenibilidad y, en algunos casos, tienen un carácter innovador. Estas soluciones se han tomado en cuenta con la idea de avanzar hacia la obtención de caminos sostenibles y perdurables.

Para ello se describen conceptos y se desarrollan los componentes principales de la Guía, se propone una clasificación de caminos y se exponen configuraciones de diferentes tipos de caminos no pavimentados en tierra o en material granular y las influencias externas que inciden en su selección. Además, se explican soluciones para su mejoramiento funcional. Del mismo modo, se relacionan diversos tipos de caminos pavimentados, incluyendo soluciones técnicas convencionales y no convencionales, para acondicionarlos físicamente a las necesidades de los usuarios.

3.2 ROL DE LOS CAMINOS RURALES Y ENFOQUE TÉCNICO

Si bien los caminos rurales prevalecen en las redes carreteras de los países latinoamericanos, suelen carecer del beneficio de la pavimentación. Estos caminos, en su gran mayoría con deficiencias físicas y estructurales, son de especial importancia por cuanto integran los territorios y brindan a los habitantes rurales el único acceso a servicios básicos de educación, salud, recreación, seguridad y de instituciones gubernamentales, considerados elementos claves para la productividad y la interacción social.

Para poder garantizar satisfactoriamente el servicio que demandan los usuarios y las comunidades de su entorno, los caminos rurales requieren intervenciones que deberían ser el resultado de la definición e implementación de soluciones técnicas pertinentes para cada caso. Dichas soluciones deben atender diversas circunstancias económicas, técnicas, institucionales, sociales y ambientales.

Los antecedentes de gestión y de intervención de los caminos han permitido clasificarlos físicamente en dos grandes grupos: no pavimentados y pavimentados. Entre los no pavimentados predominan los caminos en tierra o en material granular, entre los pavimentados, se incluyen los empedrados, los conformados con diferentes técnicas, productos y materiales, los de estructura mixta de uso limitado (empedrados con capa asfáltica y los llamados placa huella o huella placa) y los de mayor utilización del tipo flexible, semirrígido o semiflexible, rígido y de adoquines.

Para la toma de decisiones generales sobre la intervención a nivel de red vial y de proyecto, la pertinencia de las soluciones por implementar se debe definir a partir de referentes técnicos, económicos, sociales, ambientales y de sostenimiento, debidamente ponderados. En cuanto a la tecnología, se dispone, según su ámbito de aplicación, de aquellas soluciones de uso generalizado en el mundo y comúnmente sustentadas por normas y especificaciones técnicas, conocidas como universales. También, hay otras de uso solamente regional o nacional, respaldadas por investigaciones, estudios técnicos específicos y experiencias exitosas, las cuales disponen de normas técnicas propias de diseño y construcción en los países y regiones donde se utilizan habitualmente.

Por otra parte, es de mencionar que en el mercado hay decenas de ofertas tecnológicas experimentales, aún en proceso de investigación, de aplicación práctica limitada y cuya información técnica sobre su desempeño a largo plazo es escasa. Estas tecnologías son documentadas especialmente por quienes las promueven.

En este capítulo se proporciona información útil, desde el punto de vista ingenieril, para facilitar la toma de buenas decisiones para el mejoramiento y el acondicionamiento de las redes viales. Dicha información puede ayudar a implementar proyectos de caminos rurales con el fin de asegurar su transitabilidad permanente y el nivel de servicio que demandan y merecen tanto los usuarios como las personas que habitan en su entorno.

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS CAMINOS RURALES

El proceso de configuración de los caminos, su evolución y su avance de mejoramiento progresivo ha conducido a diversas soluciones técnicas a nivel mundial, regional, nacional o local. En lo que respecta a la tipología, se pueden distinguir las trochas o pistas naturales y dos clases de caminos, según la estructura y la superficie de rodadura: no pavimentados y pavimentados.

- Trochas o pistas naturales: en sus comienzos, un camino rural, usualmente, no es más que una franja rudimentaria de tierra formada por el corte de la vegetación y el retiro de la capa del suelo orgánico natural. Se les denomina, también, entre otros términos, sendero, traza natural, franja o senda.

- Caminos no pavimentados: en general, se incluyen en esta clasificación los de calzada en tierra o en material granular.
- Caminos pavimentados: esta clase comprende gran cantidad y diversos tipos de caminos, según su conformación estructural y funcional, de acuerdo con las circunstancias particulares de cada caso. Entre ellos se identifican los empedrados, los pavimentos conformados por capas estabilizadas o mejoradas con diversas técnicas, productos o el uso de materiales locales y la colocación de un revestimiento o tratamiento de superficie, los denominados pavimentos mixtos y los pavimentos de mayor utilización, que son del tipo flexible (asfáltico), semirrígido o semiflexible, rígido (hormigón) y de adoquines.

FIGURA 3.1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS TIPOS DE CAMINOS RURALES



Fuente: Elaboración propia

3.3.1 TROCHAS O PISTAS NATURALES

Se denominan así los caminos rurales más simples y consisten en huellas paralelas separadas por vegetación, formando vías de acceso rural (ilustración 3.1). Estas trochas no tienen ninguna intervención de ingeniería y, con el tiempo y el tránsito, tienden a desgastarse, desarrollando depresiones en la superficie del terreno natural que las hacen intransitables durante o después de cada temporada de lluvias. En la mayoría de los casos, por ellas circulan menos de 20 vehículos diarios. Por lo general, se usan como vías de acceso a tierras de propiedad privada y a pequeñas comunidades y, normalmente, no han sido construidas ni mantenidas por ninguna agencia de vialidad. Cuando el tránsito aumenta y les causa gran deterioro, se hace perentorio elevar su estándar, usualmente, a camino no pavimentado, mediante la mejora del trazado geométrico, la conformación de la calzada, la construcción de obras de drenaje y otras obras de ingeniería, según las demandas de los usuarios y, especialmente, del volumen de tránsito que atraiga.

ILUSTRACIÓN 3.1. TROCHAS



Fuente: Imagen 1, cortesía de Douglas Smith (izquierda), imagen 2, cortesía de Armando Torres, trocha en Brasil (derecha superior), imagen 3, elaboración propia (derecha inferior)

3.3.2 CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Los caminos no pavimentados, en tierra o material granular, constituyen, por su longitud, la mayor parte de las redes viales de los países latinoamericanos y son de especial importancia por su relación con aspectos sociales, económicos y ambientales. Dada su relevancia, a continuación se describen algunos elementos y soluciones técnicas para su mejoramiento y la prestación eficiente de los servicios viales requeridos por las comunidades rurales.

3.3.2.1 CAMINOS EN TIERRA

Este tipo de caminos difiere de las trochas en que se materializan mediante algunas labores de construcción mecánica o manual al aplicar algunos principios elementales de ingeniería vial para mejorar el trazado geométrico y proporcionar obras de drenaje. En su construcción no se usa grava importada, sino el material del lado del camino tras ser despejado de vegetación. El camino se excava para conformar un pequeño terraplén ligeramente por encima del terreno natural, con una pendiente transversal adecuada, y formar zanjas laterales de drenaje. Por lo general, estos caminos son construidos por las agencias de vialidad o entidades locales de desarrollo y son importantes para el progreso económico o social de su área de influencia. A diferencia de las trochas, los caminos de tierra son objeto de trabajos ocasionales de reparación y mantenimiento para preservar la transitabilidad.

En la ilustración 3.2 se muestra el cruce de un camino de tierra con una trocha por la que transitan carretas con recipientes de leche aladas por búfalos en espera del vehículo recolector.

ILUSTRACIÓN 3.2. CAMINO ENTRE PUERTO COLOMBIA Y CORREGIMIENTO DEL VEINTE, EN EL MUNICIPIO PLATO, DEPARTAMENTO DE MAGDALENA (COLOMBIA)



Fuente: Cortesía de José Antonio Castro

Los caminos de tierra, conformados esencialmente por la calzada en terreno natural y mejorada con algunas obras de drenaje, son vulnerables a los factores climáticos, especialmente a las lluvias y al tránsito vehicular pesado. Su deterioro es acelerado si la conservación o mantenimiento es insuficiente, deficiente o inoportuno (ver ilustración 3.3).

ILUSTRACIÓN 3.3. CAMINOS EN TIERRA EN CONDICIÓN DE DETERIORO



Fuente. Elaboración propia (izquierda) y cortesía de Carlos Alberto Palta (derecha)

Su capacidad para soportar tránsito vehicular depende claramente del tipo de suelo que constituye su superficie de rodamiento y de las condiciones imperantes de humedad. Salvo en las zonas desérticas, el objetivo es mantener la vía y sus alrededores tan secos como sea posible, pues al saturarse, la mayoría de los suelos se vuelven demasiado débiles para soportar el paso de vehículos y, a menudo, el camino queda cerrado al tránsito durante la temporada de lluvias.

La capacidad de un camino de tierra para soportar tránsito durante el mayor tiempo posible se puede aumentar aplicando conceptos básicos de ingeniería y de simple sentido común: elevar la rasante en las zonas bajas, despejar de árboles y tratar la vegetación hasta una distancia suficiente de la calzada de rodamiento, de manera que el sol y el viento contribuyan al secado rápido de su superficie, ofrecer una pendiente transversal adecuada de la superficie para ayudar a la escorrentía y dotar al camino de drenajes laterales adecuados y que funcionen correctamente de manera permanente. Esto último se puede lograr si el material para la elevación de la rasante se extrae de un banco de materiales o de un préstamo lateral, de modo que la excavación funcione posteriormente como cuneta. Los principios básicos de la construcción y mantenimiento de los caminos de tierra se sintetizan en la figura 3.2. Estas acciones elementales se vuelven cada vez más pertinentes, teniendo en cuenta que el cambio climático prevé aumentos considerables de las precipitaciones en muchas zonas de la geografía latinoamericana.

FIGURA 3.2. CAMINOS DE TIERRA MANTENIDOS INCORRECTA Y CORRECTAMENTE

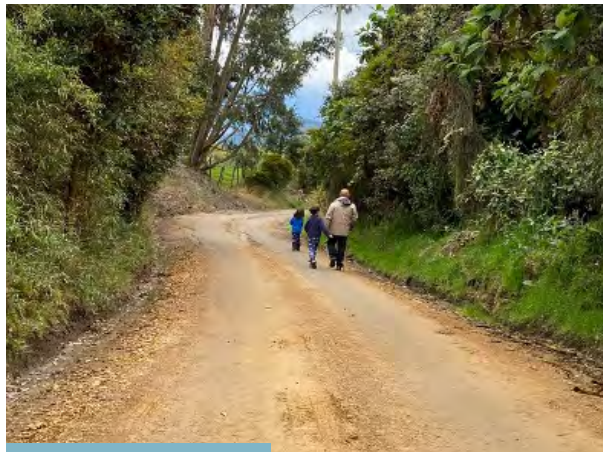


Fuente: Ellis (1979)

Los caminos de tierra tienen un costo de construcción bajo, pero, para que funcionen eficazmente y ofrezcan condiciones satisfactorias de servicio, requieren un buen drenaje y una conservación rutinaria y periódica que sea suficiente y eficiente. Las zonas problemáticas debido a excesos de agua o a la existencia de suelos muy blandos se deben tratar de manera aislada, mediante el reemplazo localizado del suelo de subrasante, la elevación de la calzada, la aplicación de una capa de grava y la provisión de estructuras de drenaje.

Estas mejoras en sitios puntuales se deben llevar a cabo con un buen estándar de ingeniería, con el fin de adecuarlos ante la posibilidad de un mejoramiento posterior a la condición de camino de grava u otra alternativa idónea.

ILUSTRACIÓN 3.4. CAMINOS EN TIERRA BIEN CONSERVADOS



Fuente: Elaboración propia

Como caso de referencia se mencionan en los recuadros 3.1 y 3.2 algunas experiencias de caminos rurales en Argentina situados en terreno plano, en zonas de cultivos, con vegetación nativa baja y presencia esporádica de arbustos y árboles. En esas áreas se ha empezado a reemplazar el modelo tradicional de intervención y mantenimiento por nuevas medidas de implementación para lograr la sustentabilidad de los caminos rurales.

RECUADRO 3.1. MANEJO TRADICIONAL DE CAMINOS RURALES EN CALZADA NATURAL EN ARGENTINA

Durante décadas, los pilares fundamentales del sistema tradicional del manejo de los caminos rurales en Argentina han consistido en:

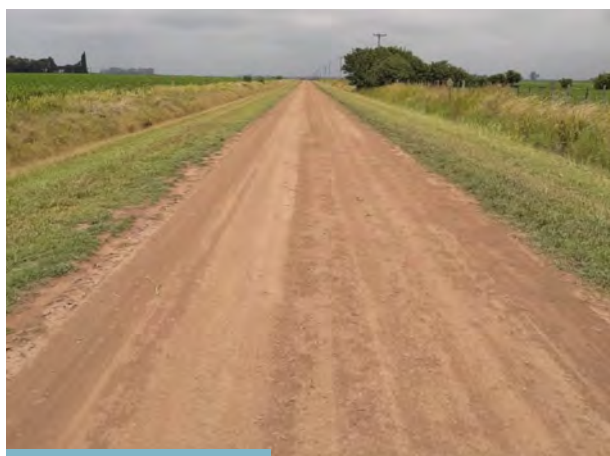
- Remociones frecuentes y masivas de cuneta a cuneta, llevadas a cabo principalmente con discos y hojas niveladoras (autopropulsadas o de arrastre).
- Eliminación de cobertura vegetal.
- Ausencia de banquetas o arcén (bermas) debido a la eliminación rutinaria de la vegetación por medios mecánicos.
- Desagües preponderantemente en forma de V (consecuencia de las remociones en las cunetas con hojas niveladoras), lo cual propicia mayor erosión.
- Veredas (zonas laterales entre cunetas y alambrados) como fuentes de extracción de suelo (canteras) y fumigación frecuente de su vegetación, sin regulación, a criterio de cada productor o propietario del terreno aledaño. La vegetación es considerada maleza.

RECUADRO 3.2. MEDIDAS DE IMPLEMENTACIÓN PARA TENER CAMINOS RURALES SUSTENTABLES, ARGENTINA

La Asociación Civil Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRuS) promueve e impulsa, desde hace 5 años, un sistema sustentable que permite mantener y mejorar continuamente las condiciones de servicio de los caminos rurales en tierra. Dicho sistema se basa en los siguientes pilares:

- Disminución drástica de la frecuencia y del grado de las remociones de suelo.
- Calzada ubicada en el centro de la zona del camino y conformada y compactada con un ancho del suelo expuesto determinado por la intensidad del tránsito.
- Protección con vegetación hasta donde el paso de vehículos lo permita (aparecen las banquetas).
- Cunetas tendiendo a la forma parabólica, las cuales se cubren de vegetación, porque esta no se remueve periódicamente.
- Veredas (espacio entre cunetas y alambrados) con vegetación, integradas con las cunetas y en parte con banquetas, conformando corredores biológicos de biodiversidad.
- Adición progresiva de materiales (granulares, de reciclaje y otros) en la calzada expuesta, para mejorar su estabilidad estructural.
- Se atienden los ODS en cuanto a la recarbonización del suelo y emisión de oxígeno por la cobertura vegetal, la promoción de la biodiversidad, la captura de agua en origen, la disminución de sedimentos y excesos hídricos en zonas más bajas, y la disminución de la huella de carbono por menores consumos de combustibles y oxidación del suelo, entre otros beneficios.

ILUSTRACIÓN 1. EJEMPLOS DE CAMINOS EN TIERRA Y SU ACONDICIONAMIENTO



Fuente: Cortesía de Daniel Juan Costa y Carlos Alberto Casali

ILUSTRACIÓN 3.5. COMPARACIÓN DE CAMINOS ACONDICIONADOS MEDIANTE INTERVENCIÓN TRADICIONAL E INTERVENCIÓN PARA LA SUSTENTABILIDAD



Fuente: Cortesía de Daniel Juan Costa y Carlos Alberto Casali

3.3.2.2 CAMINOS EN MATERIAL GRANULAR

Los caminos en material granular o caminos de grava o en ripio constituyen el estándar inmediatamente superior al camino de tierra. Tienen una capa de material granular construida con un material de alguna fuente local o un material debidamente especificado técnicamente. Por lo general, sus alineamientos horizontal y vertical se ajustan a normas aprobadas. Su conservación se realiza de una manera más regular y sistemática, con el fin de brindar un nivel de servicio adecuado y garantizar el tránsito de manera permanente, aunque su rugosidad varía considerablemente con el tiempo y depende significativamente de la calidad del mantenimiento.

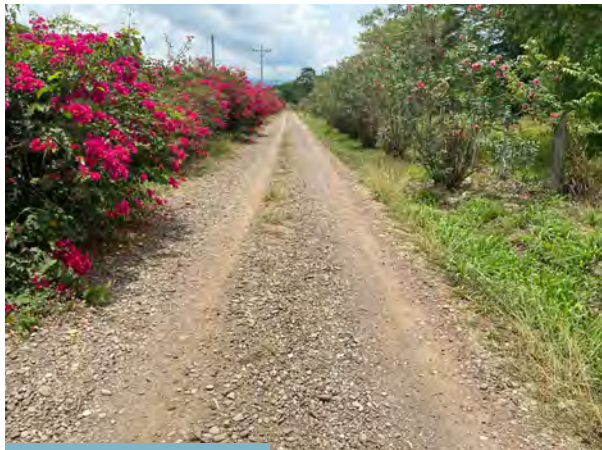
En muchos caminos rurales se encuentran combinados tramos en tierra con tramos en material granular. La grava se emplea en determinadas secciones en las que los materiales del sitio resultan inapropiados para las condiciones prevalentes de tránsito y ambiente.

Tienen como capa de rodadura un material granular importado, colocado sobre la superficie de un camino de tierra, para mejorar sustancialmente su transitabilidad, bien porque el incremento de tránsito lo justifique, bien por fines estratégicos territoriales o para dar cumplimiento a decisiones gubernamentales. Dependiendo de las condiciones locales, los materiales suelen ser: i) agregados naturales (cantos rodados, cascajo, tosca, ripio u otros) provenientes de canteras, en ocasiones mezclados con suelos finos, ii) agregados producidos industrialmente mediante procesos de trituración (se pueden ver ejemplos de los diferentes tipos en la ilustración 3.6).

ILUSTRACIÓN 3.6. CAMINOS EN MATERIAL GRANULAR



A. Camino en material granular de fuente local en Colombia



B. Camino en material granular de fuente local en Costa Rica



C. Camino con material granular especificado en Argentina



D. Camino con material granular especificado en Colombia

Fuente: Imagen A, cortesía de Douglas Smith, B, elaboración propia, C, Morano (2022), y D, cortesía de Carlos Alberto Palta

Durante muchos años, la provisión de una capa de grava ha sido la opción preferida en el concierto latinoamericano cuando se ha deseado mejorar el estándar de un camino de tierra. El material granular se obtiene generalmente de préstamos aluviales o canteras y, tras su clasificación y eventual trituración, es trasladado al camino, donde se coloca en espesores típicamente de 150 mm a 200 mm (aunque hay métodos de ingeniería para establecer el espesor requerido). Las agencias de vialidad de los países del área han adoptado tradicionalmente esta opción cuando había una disponibilidad suficiente de grava con las especificaciones necesarias para la construcción de afirmados (enripiados) y las distancias de acarreo del material eran relativamente cortas. Otras condiciones eran que las pendientes

longitudinales del camino no excedieran el 6 %, las precipitaciones fueran escasas o moderadas, tener un volumen de tránsito más o menos bajo (típicamente inferior a 200 vehículos por día), no generar cantidades excesivas de polvo durante la temporada seca y tener alguna certeza sobre la disponibilidad de fondos tanto para su mantenimiento rutinario como para el periódico de perfilado pesado o de recarga de grava.

En años recientes uno de los factores importantes al considerar la idoneidad del tipo de superficie por adoptar es la disponibilidad de la grava. Dado que esta es cada vez más escasa, bien porque no se encuentra en las cercanías del camino o porque las normas ambientales limitan su explotación, es posible que caminos de tierra bien mantenidos y algunos tipos de superficies mejoradas y revestidas resulten con frecuencia más apropiados técnica, económica, social y ambientalmente que los de grava.

La capa del material para la mejora constituye una estabilización mecánica. Esta consiste en la mezcla de dos o más materiales para obtener otro cuya granulometría y plasticidad, principalmente, lo hagan adecuado para las condiciones de servicio requeridas. Cuando se acude a esta estabilización física, se da por entendido que el material obtenido mediante la mezcla satisfará todos los demás requisitos de calidad asignados a él por la especificación aplicable (trituration, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, solidez, etc.). Generalmente, los materiales necesarios son un granular grueso, un granular fino y un suelo ligante fino, los cuales deben elegirse según sea necesario para lograr el mejoramiento buscado. Existe una gran cantidad de procedimientos teóricos para calcular las proporciones en que dos o más materiales se deben mezclar para obtener otro que satisfaga un determinado requisito de la especificación de construcción aplicable. La bibliografía sobre el tema es abundante.

Para que el mejoramiento sea eficaz, requiere la provisión de un sistema de drenaje apropiado, la selección de materiales idóneos, una construcción de calidad y un adecuado mantenimiento. Sin embargo, es importante mencionar que, en la mayoría de los casos, la magnitud del cambio de estándar de los caminos en la región no ha obedecido a estudios de ingeniería, sino que ha seguido la práctica tradicional y dependido de la cuantía de los fondos presupuestarios asignados al proyecto por la Administración.

Las características del material que se busca obtener dependen de si se tiene previsto que el suelo cumpla funciones de capa de rodamiento o si se pretende utilizar como una capa granular que va a ser cubierta. En el primer caso, la costumbre en los países de la región ha sido aplicar una especificación que exige a los agregados unos requisitos bastante generales. La experiencia indica, sin embargo, que las características del material por aplicar deben ser específicas en función de las condiciones climáticas del lugar de uso. Por ejemplo, en climas secos conviene

emplear una proporción elevada de ligante arcilloso para evitar que la superficie se desmorone y ondule, mientras que en los lluviosos la presencia de arcilla es una desventaja, por cuanto torna la superficie resbaladiza y propensa al ablandamiento y al ahuellamiento. En el cuadro 3.1 se resumen las recomendaciones del Transport and Road Research Laboratory (TRRL)¹⁹ respecto de la plasticidad de estos materiales y en el gráfico 3.1 se muestra el comportamiento esperable de una capa de rodadura de grava en función de dos parámetros del material: el módulo granulométrico (MG) y el producto de plasticidad (PP) (Rolt, Otto et al., 2020), los cuales se determinan con las expresiones que se presentan a continuación.

$$MG = 3 - \frac{P_{2,36} + P_{0,425} + P_{0,075}}{100}$$

$$PP = IP \times P_{0,075}$$

Donde:

$P_{2,36}$ = porcentaje que pasa el tamiz de aberturas de 2,36 mm (n.º 8)

$P_{0,425}$ = porcentaje que pasa el tamiz de aberturas de 0,425 mm (n.º 40)

$P_{0,075}$ = porcentaje que pasa el tamiz de aberturas de 0,075 mm (n.º 200)

IP = índice de plasticidad del material que pasa el tamiz de aberturas de 0,425 mm (n.º 40)

Por citar un caso, el Artículo 311 de las especificaciones de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVÍAS) está ajustado al criterio recomendado por el TRRL para las zonas tropicales húmedas y lluviosas.

CUADRO 3.1. PLASTICIDAD RECOMENDADA POR EL TRRL PARA LOS MATERIALES PARA CAPAS DE RODADURA DE GRAVA

Clima	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Contracción lineal (%)
Tropical húmedo y tropical lluvioso	35 máximo	4-9	2-5
Tropical con temporada de lluvias	45 máximo	6-20	3-10
Semiárido y árido	55 máximo	15-30	8-15

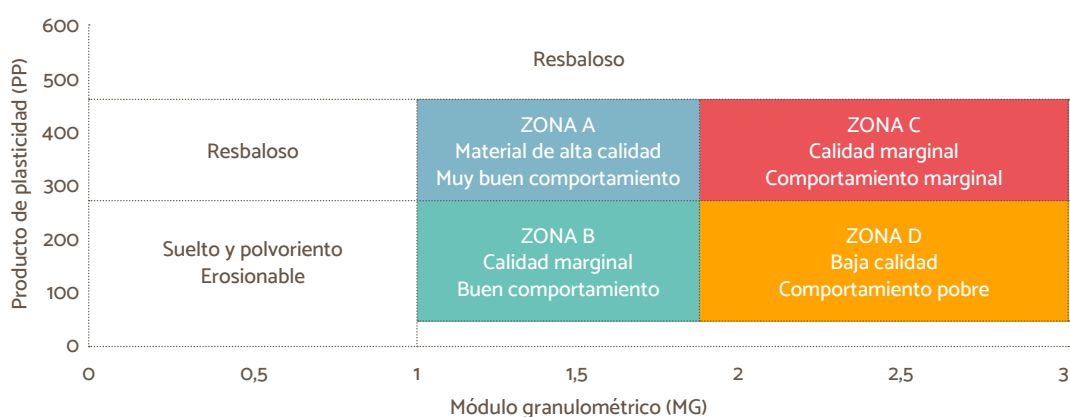
El producto de contracción (PC) se debe encontrar entre 100 y 240. $PC = \text{Contracción lineal} \times P_{0,425}$

Fuente: TRRL (1981)

¹⁹ La entidad ha ido cambiando de nombre y actualmente se denomina Transport Research Laboratory (TRL).

Los datos que permitieron la elaboración del gráfico 3.1 se obtuvieron tras el análisis de información recabada en más de un centenar de tramos de estudio en seis países africanos (Rolt, Mukura *et al.*, 2020).

GRÁFICO 3.1. COMPORTAMIENTO PREVISIBLE DEL MATERIAL GRANULAR EN FUNCIÓN DE SU MÓDULO GRANULOMÉTRICO Y DE SU PRODUCTO DE PLASTICIDAD



Fuente: Rolt, Mukumura et al. (2020)

Recientemente se han realizado estudios para establecer las condiciones técnicas, sociales, ambientales y económicas que hacen realmente factible la construcción y el mantenimiento de superficies de rodadura de grava. Un procedimiento muy recomendable es el llamado *Surfacing Decision Management System (SDMS)*²⁰, el cual valora la conveniencia de una capa de grava como opción de superficie de rodadura en un camino rural. De acuerdo con este procedimiento, la capa de grava constituye una alternativa efectiva si existen materiales apropiados para su construcción y mantenimiento a una distancia razonable, la política ambiental permite su utilización, la precipitación anual es menor a 1500 mm, las pendientes longitudinales del camino son inferiores al 6 %, el tránsito diario no excede los 200 vehículos y las posibilidades de inundación son muy bajas. Cumplidas estas condiciones, se debe verificar la existencia real de recursos para realizar los trabajos de mantenimiento rutinario y periódico necesarios y disponer de la garantía de que se efectuará un control de calidad adecuado a estos trabajos. La insatisfacción de alguno de estos requisitos no implica necesariamente que esta opción se deba descartar (salvo que se den determinadas combinaciones muy adversas de los factores que se analizan), pero sí obliga al ingeniero a analizar otras alternativas que puedan presentar mayor viabilidad desde los puntos de vista técnico, social y ambiental y que den lugar a menores costos durante el ciclo de vida del proyecto.

²⁰ La denominación corresponde a un sistema de gestión de decisiones sobre revestimientos (Ethiopian Roads Authority, 2011).

Un aspecto muy importante a considerar en los caminos con superficie de rodadura de grava es la rapidez con la que se pierde este material, dado que es el factor más importante por el cual estas vías suelen resultar muy onerosas en términos de costo durante el ciclo de vida, en particular a medida que se incrementan los volúmenes de tránsito. Una manera de reducir los costos a largo plazo es reducir las pérdidas, eligiendo las gravas más adecuadas o modificando las propiedades de las disponibles de menor calidad (Rolt, Otto et al., 2020). Asimismo, es indispensable garantizar el buen drenaje de las aguas superficiales.

Para preservar el buen servicio de un camino en material granular es necesario realizar mantenimiento periódico o reparación mediante la adición de material granular a uno preexistente. El material adicional se aplica cuando parte del espesor del preexistente se ha perdido por la acción del tránsito, por las intervenciones rutinarias y periódicas, por la erosión causada por las aguas superficiales y por la dispersión de polvo provocada por el viento, dejando comprometida la subrasante, y cuando aparecen en algunos sectores ondulaciones, deformaciones y baches.

El espesor necesario de la adición se puede calcular empleando un diseño de ingeniería y corresponde al requerido entre el espesor remanente en el instante de la evaluación y el total que se necesitaría sobre la misma subrasante para servir el mismo tránsito.

3.3.2.3 INFLUENCIAS EXTERNAS QUE DETERMINAN EL TIPO DE CAMINO NO PAVIMENTADO

Cada tipo de camino no pavimentado resulta adecuado para una determinada combinación de nivel de tránsito e influencias externas. Es muy frecuente encontrar caminos construidos con un estándar inapropiado para sus circunstancias específicas. Por ejemplo, un camino de grava en una zona extremadamente lluviosa o con altas pendientes o sometido a tránsito muy pesado sufre ahuellamientos y erosiones con más rapidez de lo que es posible mantener adecuadamente tanto desde el punto de vista operativo como de costo. En un caso como este, lo recomendable sería elevar el estándar del camino al de superficie mejorada o, inclusive, al de un pavimento convencional. De la misma manera, una trocha con un tránsito en aumento, pero propensa a la acumulación de agua y a los baches, se puede mejorar elevando su rasante, proporcionándole bombeo y drenajes laterales, conformando así un camino en tierra. Asimismo, un camino en tierra incapaz de soportar el tránsito existente se puede mejorar con una capa de grava o, incluso, con materiales locales reconocidos por su eficacia.

Cuando se está tratando de ofrecer el acceso básico a un camino, es posible y deseable hacer una combinación de estándares. Considerando el ejemplo del párrafo anterior sobre el camino de grava, la parte montañosa se puede mejorar con un revestimiento donde las pendientes sean altas, en tanto que en los sectores de menor pendiente y planos se puede mantener en grava.

El cuadro 3.2 presenta la evaluación sensible al contexto de los caminos en tierra y en material granular. En ella se muestran las posibles ventajas y desventajas de estos caminos en nueve contextos de diseño y operación. La lista se debe tomar como una guía orientativa y un asunto en el que prima el criterio técnico profesional para cada caso específico en consideración.

CUADRO 3.2. ALTERNATIVAS SENSIBLES AL CONTEXTO PARA CAMINOS EN TIERRA Y CON MATERIAL GRANULAR

Tipo de camino no pavimentado	Materiales locales	Terreno plano	Alta pendiente longitudinal	Áreas pobladas	Alta precipitación pluvial	Baja resistencia de la subrasante	Adaptable a pequeños contratistas	Posiblemente ventajoso en costo inicial	Mantenimiento deficiente
Camino en tierra	+	+	-	-	-	-	+	+	-
Camino con material granular	+	+	-	-	-	+	+	+	-

Notas: Las casillas en verde (+) indican una ventaja posible y las rojas (-), una desventaja. Si el espesor de material granular sobre una subrasante débil no es suficiente, se pierde el efecto de la posible ventaja.

Fuente: Adaptación de la tabla 5 de Faiz (2012).

El cuadro 3.3 presenta un conjunto de influencias externas para el cual puede ser apropiado cada tipo de camino que no disponga de pavimento convencional. La intención es mostrar cómo un cambio en la influencia externa puede afectar el tipo de camino más adecuado, más que indicar el punto exacto en el cual se justifica mejorar el estándar. Los niveles de tránsito mostrados en el cuadro sirven solo de guía, dado que el volumen vehicular es solo uno de los factores que ayudan a determinar las condiciones de utilización.

CUADRO 3.3. RANGO DE INFLUENCIAS EXTERNAS PARA LAS CUALES ES IDÓNEO CADA TIPO DE CAMINO

Tipo	Trocha o pista natural	Camino en tierra	Camino en material granular
			
Descripción	Vía elemental dispuesta a partir del simple despeje de vegetación y algunas estructuras informales.	Camino con adecuación de trazado geométrico, en el que se eleva la rasante con el uso de material local y se le proporciona bombeo (pendiente transversal), así como algunas estructuras de drenaje con diseño de ingeniería.	Camino en tierra mejorado con una capa superficial de material granular, con especificaciones de ingeniería o diversos materiales locales. Si las circunstancias lo exigen, también se puede pasar de traza natural a camino en material granular.
Condiciones apropiadas de utilización	Adecuada en terreno plano o con pendientes suaves, en clima moderado y suelo firme y bien drenado. Idónea para bajo tránsito (menos de 20 vehículos diarios y fundamentalmente livianos) siempre que la superficie esté consolidada y permanezca seca. Raras veces se le proporciona mantenimiento.	De mayor durabilidad que una trocha. Su mantenimiento se lleva a cabo generalmente con materiales locales. Su deterioro es muy rápido cuando el mantenimiento es descuidado. Soporta un nivel de tránsito mayor que las trochas (20 a 100 vehículos por día), incluyendo algunos vehículos de tamaño medio. Apropiado en terreno plano o con pendientes suaves, en clima moderado y en zonas con escasa disponibilidad de grava. Requiere mantenimiento con regularidad.	Puede ser durable y efectivo en costo. Soporta apropiadamente un tránsito moderado (20 a 200 vehículos), incluyendo camiones de tamaño mediano. Se comporta mejor cuando el terreno es plano o con pendientes moderadas y donde las lluvias no son muy frecuentes e intensas. Requiere acciones regulares de conformación o reperfilado y recargas de grava, tanto más frecuentes y costosas cuanto mayor sea el tránsito o más agresivo el clima. No es recomendable en regiones donde la grava sea escasa, ni cerca de zonas habitadas si hay la posibilidad de que genere mucho polvo en la estación seca.

3.3.2.4 MEJORAS FUNCIONALES DE CAMINOS EN TIERRA O EN MATERIAL GRANULAR MEDIANTE PALIATIVOS DE POLVO

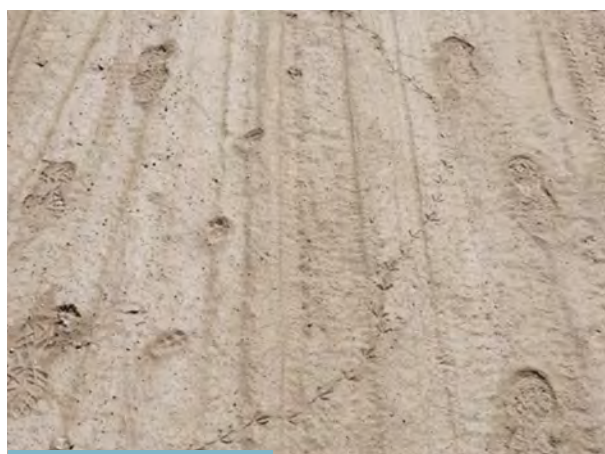
Desde el punto de vista funcional, uno de los aspectos negativos, de incidencia relevante sobre el servicio a los usuarios y vecinos del camino, es el polvo originado por el paso de los vehículos. Este genera riesgos de siniestralidad al tránsito por las limitaciones de visibilidad, además de las afectaciones adversas en higiene, salud y ambiente que produce en las áreas aledañas a la vía.

Polvo es un término genérico referido a partículas de diámetro igual o inferior a 10 micras (PM_{10}), susceptibles de ser transportadas por el aire. Las emisiones de polvo generadas por el tránsito automotor en las carreteras sin pavimentar constituyen la mitad de las emisiones de PM_{10} en Estados Unidos. Considerando que en los países latinoamericanos la proporción de caminos no pavimentados dentro de sus redes viales es muy superior a la estadounidense, existe la posibilidad de que la cifra proporcional en algunos de estos países sea aún mayor. En la ilustración 3.7 se muestran casos de exceso de polvo en caminos no pavimentados.

ILUSTRACIÓN 3.7. GENERACIÓN DE POLVO EN UN CAMINO NO PAVIMENTADO



A. Caminos rurales sin pavimentar en Brasil



B. Camino entre Jordan y Aratoca, Santander del Sur (Colombia)

Fuente: Imágenes en A de Aislan Buhler, imagen B de Ernesto Puyana

La manera más obvia de prevenir la generación de polvo es, por supuesto, pavimentar los caminos, sin embargo, esta opción es muy costosa y probablemente solo aplicable en cortos tramos por los que circulen al menos unos cientos de vehículos por día. En consecuencia, la opción inmediata consiste en realizar tratamientos protectores de reaplicación periódica sobre la superficie. Aparte de los riegos cotidianos de agua, que implican la utilización de un valioso recurso natural, las emisiones de polvo en una vía no pavimentada se pueden reducir a través de una variedad de medios, entre ellos, la aplicación de derivados del petróleo y otros productos químicos a la superficie de la carretera. El comportamiento efectivo de estos materiales depende de factores como la concentración del producto y la tasa de aplicación, el tiempo entre aplicaciones, el tamaño, la velocidad y el volumen de tránsito durante el período entre aplicaciones y las condiciones meteorológicas, así como de condiciones propias del camino: material constitutivo de la superficie de rodadura y su grado de compactación, pendiente del camino, etc. La gran variabilidad que puede existir entre estos factores y las diferencias entre los productos que ofrece el mercado para el control del polvo hace que sus eficiencias sean difíciles de estimar.

Las especificaciones de construcción y mantenimiento vial suelen exigir que los materiales destinados a la construcción de capas de rodadura de grava tengan más partículas finas y de mayor plasticidad que los destinados a la construcción de las capas granulares de pavimentos formales. El tratamiento de los caminos de grava mediante técnicas paliativas de polvo tiene por finalidad limitar la pérdida de esos finos, que son el “adhesivo” que mantiene juntas las partículas granulares que forman la capa superficial. Estos finos, que son los que dan cohesión, se pueden perder como polvo en los períodos secos y como lodo en las épocas lluviosas.

Mantener los finos de la capa de rodadura de un camino produce incontables beneficios. Ante todo, incrementa la vida de la capa y reduce la demanda de mantenimiento debido a que se amplían los intervalos entre las operaciones periódicas de perfilado con motoniveladora y las recargas de grava. Un estudio llevado a cabo en Estados Unidos muestra que en un camino con rodadura de grava se pierden 2,6 toneladas americanas²¹ de agregado/milla/año/TPD (1474 kg/km/año/TPD) (Addo y Sanders, 1995). Obviamente, esta cifra varía con la cantidad de lluvia, la calidad de la grava, la clase de vehículos, la velocidad de circulación y otros factores, pero la retención del agregado es un beneficio añadido del control del polvo.

Controlar la emisión de finos reduce los deterioros al ambiente y mejora la seguridad y la comodidad de los usuarios del camino. Además protege la salud y mejora la calidad de vida de quienes viven junto a él, preserva la calidad del agua al reducir la escorrentía de partículas y sedimentos, y eleva las condiciones socioeconómicas de las áreas adyacentes a la vía. En zonas propensas a largos períodos de clima seco, la cantidad de polvo puede llegar a ser tan significativa que da lugar a malestar y quejas del público, especialmente cuando hay viviendas al lado o cerca de los caminos.

²¹ Una tonelada americana o corta son 2000 libras, que en el sistema métrico equivalen a aproximadamente 907,18 kilogramos.

Una superficie de rodamiento en buen estado y con poco polvo o sin él permite a los vehículos mayores velocidades de circulación, con el consecuente mejoramiento en la eficiencia del transporte. La necesidad de limitar la presencia de polvo es particularmente importante en áreas destinadas a la explotación agropecuaria, donde puede producir daños en los cultivos y afectar la salud de los semovientes.

Entre los paliativos de polvo hay algunos higroscópicos y aglomerantes de uso general (cloruros de calcio y magnesio), así como otros productos de empleo regional o local. Estos incluyen higroscópicos que carecen del estatus de normalización general (bischofita), orgánicos no derivados del petróleo, orgánicos de base asfáltica, resinas de petróleo, aceites minerales, polímeros sintéticos y fluidos sintéticos.

3.3.2.4.1 Productos higroscópicos y aglomerantes de normalización y uso general

Los productos empleados usualmente para la supresión de polvo en los caminos actúan a través de uno de dos mecanismos: higroscopicidad y aglomeración. La higroscopicidad se refiere a la capacidad de una sustancia sólida para absorber o adsorber la humedad de la atmósfera circundante. Debido a su afinidad con el agua, las sustancias higroscópicas pueden retener agua y mantener la superficie del camino humedecida, firme y compacta, lo que evita la erosión del polvo fugitivo. Por su parte, la supresión de polvo basada en la aglomeración se logra al introducir agentes aglutinantes o cementantes en las partículas de polvo, a causa de lo cual las partículas sólidas de tamaño pequeño se unen convirtiéndose en gránulos de mayor diámetro. El agente aglutinante introduce fuerzas adhesivas entre las partículas para acumular una mayor cantidad y masa de partículas más pequeñas. A medida que aumenta la masa de las partículas aglomeradas, se vuelven menos propensas a ser transportadas por el aire.

La elección de un paliativo de polvo se debe regir, en última instancia, por la necesidad de control de polvo que exista. Cada tipo de producto químico tiene beneficios y limitaciones que se deben sopesar antes de elegir. Muchos proveedores ofrecen productos químicos que, según afirman, eliminarán el polvo en cualquier circunstancia. Este es un asunto que se debe verificar con rigor técnico. Es importante confiar en la experiencia y la reputación del producto en el instante de la elección. Si bien las aplicaciones en forma diluida son las más empleadas, algunos cloruros se pueden aplicar en forma de hojuelas (*flakes*) o esferas (*pellets*).

Los supresores de polvo se pueden aplicar directamente sobre la superficie del camino preparado o mezclándolos con la parte superior de la capa que se va a proteger. Las aplicaciones de tipo tópico constituyen la técnica más habitual y rápida. Consisten, simplemente, en esparcir el producto sobre

el suelo preparado. Sin embargo, hacer el tratamiento por aspersión sobre una superficie que no esté debidamente conformada constituye una pérdida de tiempo y de dinero, el efecto del control de polvo será de muy corta duración, la calidad de la conducción no mejorará y el camino requerirá algún tipo adicional de mantenimiento a muy corto plazo, el cual reducirá la vida útil del tratamiento. En consecuencia, antes de cualquier aplicación por aspersión se debe dar forma al camino y luego perfilarlo para asegurar una superficie de rodamiento de calidad (ver la ilustración 3.8). Se deben conformar, además las cunetas y zanjas, así como proveer las alcantarillas necesarias para que el agua pueda ser canalizada hacia un sitio alejado del camino durante los eventos de lluvia.

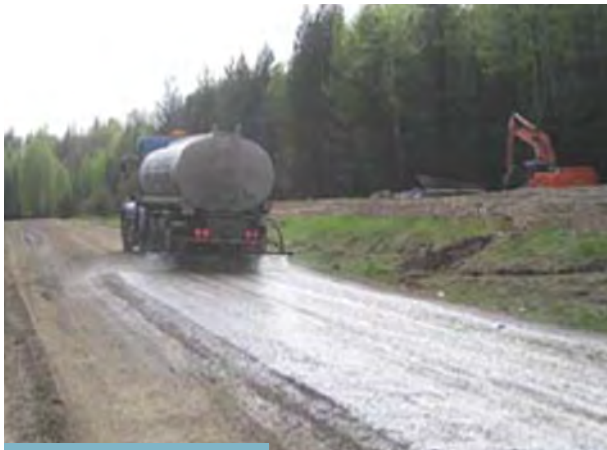
ILUSTRACIÓN 3.8. CONFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE ANTES DE UN TRATAMIENTO USUAL PARA EL CONTROL DEL POLVO



Fuente: Rushing y Tingle (2006)

Los aditivos no se deberán aplicar si está lloviendo o hay vientos fuertes. Los paliativos higroscópicos no son efectivos si se aplican en regiones excesivamente lluviosas o secas. En las primeras se pueden disolver en el agua y filtrar en el suelo, en tanto que en las muy secas no hay suficiente humedad en el aire para que sean efectivos. El proveedor del producto escogido deberá haber investigado las tasas de aplicación en detalle y proporcionar toda la orientación requerida junto con el producto químico. Sus recomendaciones se deben atender, pero considerando, además, el humedecimiento de la superficie del camino para ayudar a la penetración del aditivo. La aplicación de tratamientos en carreteras secas da como resultado una concentración del producto en la superficie que será eliminada rápidamente por el tránsito, sin embargo, también se debe evitar regar en exceso, ya que se pueden formar charcos o escorrentía. Un escarificado ligero de la capa puede ayudar a la penetración del aditivo. Para que el tratamiento sea eficiente, es imperativo mantener el mayor nivel de uniformidad en la aplicación (ilustración 3.9).

ILUSTRACIÓN 3.9. APLICACIÓN DE ADITIVOS



A. Tratamiento tópico



B. Tratamiento para mezcla

Fuente: Jones *et al.* (2013)

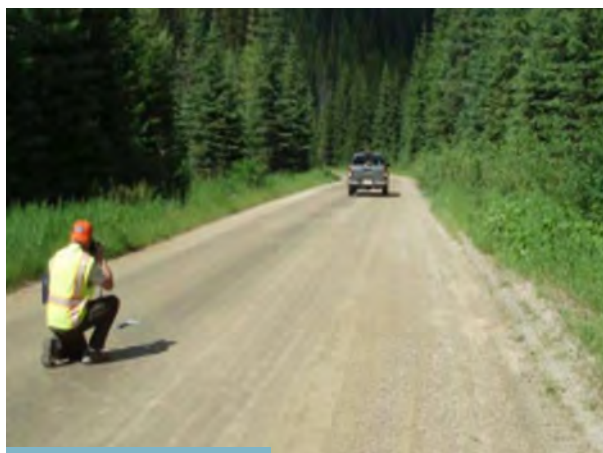
Siempre que el área que se pretenda tratar con un paliativo sea estructuralmente deficiente para soportar el tránsito anticipado o si se requiere un tratamiento durable, se deben emplear técnicas de mejoramiento diferentes al control del polvo.

El uso de cloruros como paliativos de polvo está documentado desde hace 100 años y existe un importante historial de aplicación (Dillman y Smith, 1922). Los más utilizados han sido los cloruros de calcio y magnesio (CaCl_2 y MgCl_2) (ilustración 3.10). Ambos son higroscópicos, lo que, en términos simples, significa que absorben agua de la atmósfera, la cual aglomera los finos y mantiene unida la matriz de agregados a través de fuerzas de succión.

ILUSTRACIÓN 3.10. CAMINOS TRATADOS CON SALES INORGÁNICAS



A. Con cloruro de calcio



B. Con cloruro de magnesio

Fuente: Jones (2017)

La habilidad de los cloruros para absorber agua depende de la temperatura y la humedad relativa. De acuerdo con estudios realizados en Estados Unidos (Rolt, Mukura et al., 2020), el cloruro de calcio comienza a absorber agua cuando la humedad relativa es del 29 % a 25 °C, mientras que a 38 °C lo hace a partir de una humedad relativa del 20 %. Según los mismos estudios, en el caso del cloruro de magnesio, la absorción de agua ocurre a partir de una humedad relativa del 32 %, independientemente de la temperatura. Ambos productos generan aumentos significativos en la tensión superficial de la película de agua entre las partículas, ayudando a reducir la velocidad de evaporación y haciendo que el suelo permanezca más unido a medida que el secado progresa. La solución de cloruro de magnesio es más efectiva que la de calcio en el incremento de la tensión superficial. El cloruro de sodio prácticamente no se utiliza a pesar de ser más barato, por cuanto comienza a absorber agua cuando la humedad relativa es del 79 %, propiedad que reduce su rango de aplicación efectiva.

Los problemas asociados con el uso de cloruros para el control de polvo son su tendencia a la lixiviación con fuertes lluvias, su ineficacia en ambientes muy secos y su potencial de producir perjuicios a la vegetación y daños por corrosión a los vehículos. Además, cuando el contenido de finos del suelo tratado es alto, pueden hacer que la superficie del camino se torne excesivamente húmeda y resbaladiza debido a sus propiedades de retención de agua.

Los cloruros son fáciles de usar y, en general, son rentables, dependiendo de la disponibilidad a nivel local. Generalmente, se deben reaplicar al inicio de cada temporada seca. Ambientalmente, pueden causar efectos perjudiciales tanto sobre especies vegetales como sobre el agua local, por lo que es conveniente que exista una zona de amortiguación entre las áreas de aplicación, las zonas donde la presencia de vegetación sea deseable y los depósitos o corrientes de agua natural. Asimismo, se deben evitar derrames accidentales de líquido concentrado.

3.3.2.4.2 Paliativos de polvo de normalización y uso regional: categorías y limitaciones

Aunque actualmente existe en el mercado una amplia oferta de productos químicos para cumplir este propósito, además de los citados en el inciso anterior, prácticamente ninguno ha logrado el estatus de la normalización general. Entre ellos se pueden mencionar, sin carácter limitante, algunos higroscópicos, como la solución acuosa de cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita)²², de uso en algunos países suramericanos (ilustración 3.11), los orgánicos no derivados del petróleo, categoría que incluye lignosulfonatos, resinas de árboles, aceites vegetales y productos a base de melaza, los orgánicos de base asfáltica, principalmente emulsiones diluidas en agua, resinas de petróleo, que son generalmente mezclas de polímeros naturales y aditivos derivados del petróleo, aceites

²² La solución acuosa de cloruro de magnesio hexahidratado o bischofita es de uso frecuente en varias regiones de Argentina, Bolivia, Chile y Perú. En Bolivia se utiliza en caminos de acceso y de interconexión de instalaciones o predios mineros. Igualmente, se emplean en caminos secundarios que conectan poblaciones importantes, como Uyuni y Avaroa, en la frontera con Chile, en tramos cuyas longitudes superan los 100 km.

minerales y aceites base. A ellos se suman fluidos sintéticos, que incluyen fluidos de base sintética y formulaciones únicas de isoalcanos sintéticos, y las emulsiones poliméricas sintéticas, que son suspensiones de polímeros sintéticos, en las cuales los monómeros son polimerizados en un medio predominantemente acuoso, cuyos ingredientes activos aglomeran las partículas del suelo una vez evaporado el medio acuoso tras su aplicación (acrilatos, acetatos de polivinilo, etc.).

Los países de la región cuyas especificaciones ofrecen la posibilidad de emplear algunos de estos paliativos no lo han hecho identificándolos individualmente, sino calificándolos como productos químicos y estableciendo pautas básicas para su adquisición y empleo. En general, se exige que sus proveedores acrediten su buen funcionamiento con los materiales por proteger y presenten certificaciones de las autoridades competentes, en el sentido de que su uso no implica riesgos de contaminación ambiental ni peligro para la salud de seres vivos. Igualmente, piden que proporcionen la asistencia técnica necesaria durante su aplicación en el camino.

ILUSTRACIÓN 3.11. RIEGO PALIATIVO DE POLVO CON BISCHOFITA EN CHILE



Fuente: Miranda Araya, J.C. (2013)

El contenido del cuadro 3.4 ayuda a seleccionar la categoría de paliativo de polvo que posiblemente dé mejor resultado en función del tránsito esperado, la geometría del camino, el clima y la química del suelo. En cada caso bajo estudio, es posible que más de una categoría resulte apropiada.

CUADRO 3.4. SELECCIÓN DE CATEGORÍAS DE PALIATIVOS DE POLVO

Categoría del aditivo	Limitaciones de tránsito		Limitaciones geométricas del camino		Limitaciones climáticas		Limitaciones de la química del suelo
	Autos	Camiones	Pendientes pronunciadas	Curvas cerradas/peraltes	Humedad	Lluvias intensas	
Higroscópicos ¹	A	B ²	B ³	B ²	C	B	B ⁵
Orgánicos no derivados de petróleo	A	B ²	B ⁴	C ²	A	C ⁴	A
Orgánicos de base asfáltica	A	B ²	A	B ²	A	A	B ⁶
Resinas de petróleo	A	B ²	A	B ²	A	A	
Aceites minerales	A	B ²	A	B ²	A	B ⁴	
Polímeros sintéticos	A	B ²	A	B ²	A	A	A
Fluidos sintéticos	A	B ²	A	B ²	A	A	A

A. Sin influencia significativa en el comportamiento

B. Alguna influencia en el comportamiento

C. Influencia significativa en el comportamiento

1. Se refiere a los cloruros de calcio y magnesio.
2. Camiones vacíos a alta velocidad pueden romper la costra superficial y acelerar las corrugaciones y los desprendimientos de material.
3. Puede ser resbaloso en condición húmeda.
4. Es posible que se filtre en las capas inferiores con lluvia intensa.
5. Puede reaccionar con algunos elementos, si abundan en el suelo, para formar compuestos no higroscópicos (por ejemplo, cloruro de hierro en suelos con un alto contenido de hierro).
6. La elección de una emulsión aniónica o catiónica puede influir en el comportamiento en algunos suelos.

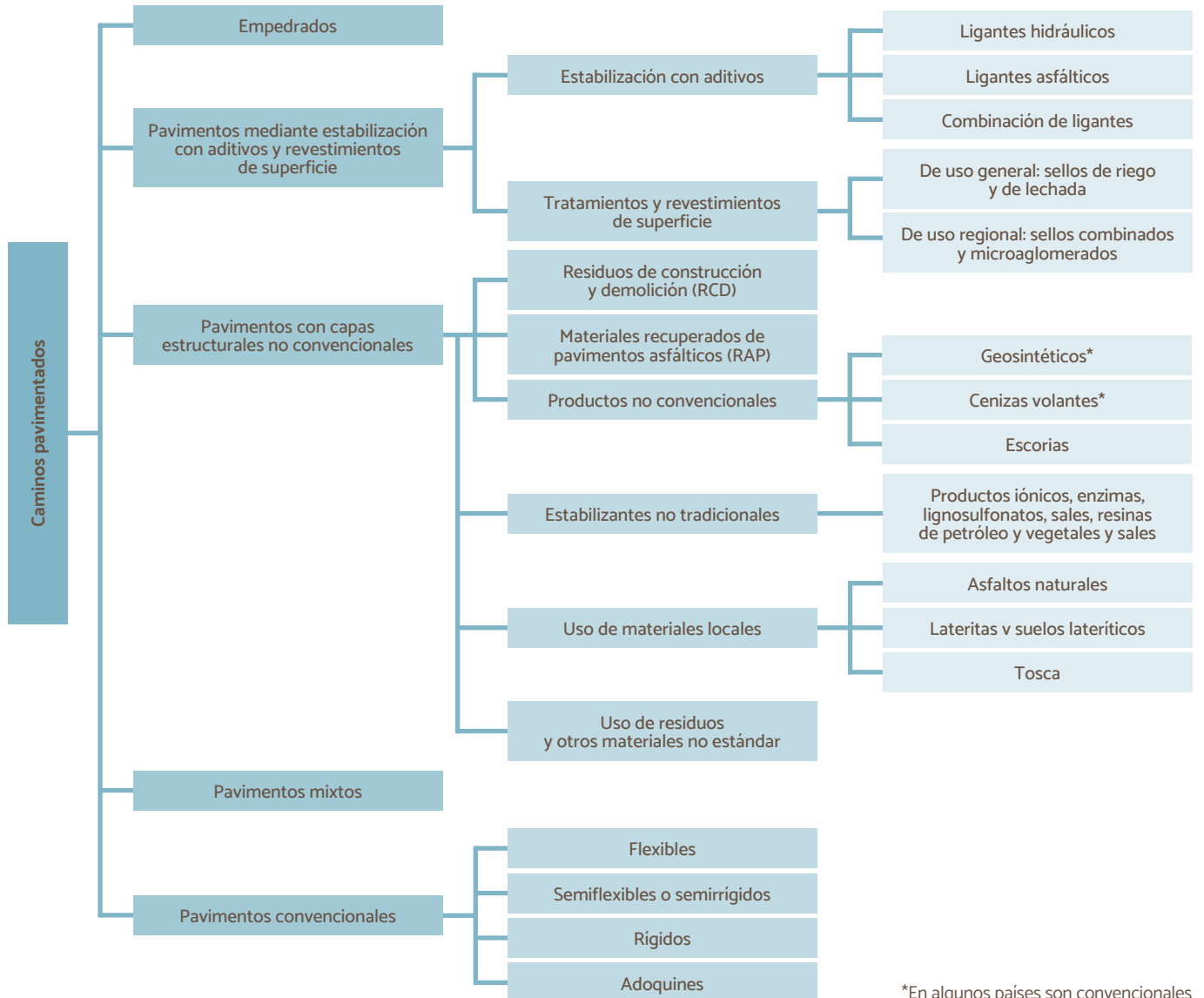
Fuente: Jones et al. (2013)

3.3.3 CAMINOS PAVIMENTADOS

En el conjunto de los caminos pavimentados se incluye una amplia variedad constituidos por diversos materiales para proporcionar la capacidad estructural y la condición funcional pertinentes para soportar determinadas combinaciones de clima, terreno y niveles de tránsito en forma permanente y a costos razonables. Entre las soluciones técnicas de reconocida eficacia cabe indicar las siguientes:

- Empedrados, que son pavimentos sin diseño formal.
- Conformación de capas estructurales mediante estabilizaciones con aditivos (ligantes hidráulicos y asfálticos) o materiales no convencionales y tratamientos o revestimientos de superficie (de uso general y regional).
- Pavimentos mixtos, incluyen empedrados con capas asfálticas y los denominados placa huella o huella placa.
- Pavimentos convencionales: flexibles, semiflexibles o semirrígidos, rígidos y con adoquines.

FIGURA 3.3. CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS Y MATERIALES PARA LA PAVIMENTACIÓN DE CAMINOS



Fuente: Elaboración propia

*En algunos países son convencionales

3.3.3.1 CAMINOS EMPEDRADOS

Los empedrados han sido soluciones de rodadura empleadas en caminos desde tiempos milenarios. La llegada del contingente español en el siglo XVI supuso una revolución en el sistema de comunicaciones internas del continente americano tanto por el establecimiento del tráfico marítimo de alto bordo como por la expansión de una malla de comunicaciones terrestres gracias a las cuales el Nuevo Mundo rompió su aislamiento regional. Según describen los historiadores, parte de esta malla recibió el beneficio del empedrado con el apoyo de la mano de obra nativa, muchas veces forzada (Serrera, 1992). Aún se conservan algunos de los llamados caminos reales, que eran utilizados para la movilización de personas a pie o a caballo.

En Ecuador se elaboró el *Manual andino para la construcción y el mantenimiento de empedrados* (Argüello Godoy, 2004), el cual define un empedrado como el “recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de cantos rodados o de piedra partida para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica. El recubrimiento se efectuará sobre la capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos”.

Según menciona ese manual, en las redes viales de tercer orden y de caminos vecinales de algunos países de América Latina se presentan longitudes significativas en empedrados (Ecuador, Bolivia, Paraguay y Perú, con 3415 km, 1250 km, 1106 y 200 km, respectivamente). Algunos de los países del área disponen de especificaciones de materiales y de construcción para la técnica. Nicaragua, por ejemplo, cuenta con un manual para la rehabilitación de caminos rurales empleando empedrados, el cual incluye especificaciones para la ejecución de todas las actividades relacionadas (MTI, 2013). Como no existe un método tecnológico para el diseño estructural de las calzadas empedradas, la experiencia local es muy importante en la toma de decisiones en lo que respecta a su dimensionamiento. Sin embargo, hay quienes se han animado a publicar catálogos de diseño estructural para tránsitos de hasta un millón de ejes equivalentes (Argüello Godoy, 2004).

El manual andino considera adecuada su utilización en caminos que tienen un TPD no mayor de 200 vehículos, con un componente de hasta un 30 % de camiones y autobuses. Además señala la posibilidad de emplearlos en caminos con tránsitos máximos de 250 vehículos diarios, aunque solo “cuando se tenga certeza [de] que no circularán vehículos de más de 10 toneladas”.

En la ilustración 3.12 se muestran casos de caminos empedrados construidos con materiales variados en diferentes lugares de América Latina.

ILUSTRACIÓN 3.12. EMPEDRADOS CON DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL



A. Empedrado en Brasil



B. Empedrado en Paraguay

Fuente: Imagen A, cortesía de Aislan Buhler, B, cortesía de Fernando Paniagua

ILUSTRACIÓN 3.12. EMPEDRADOS CON DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL



C. Empedrado en camino colonial en Santander (Colombia)



D. Camino empedrado en Cundinamarca (Colombia)

Fuente: Imagen C, cortesía de Ernesto Puyana, D, elaboración propia

Entre los aspectos favorables de la construcción de empedrados se encuentran el empleo de mano de obra local no calificada (ver ilustración 3.13), el requerimiento mínimo de equipo pesado y la posibilidad de usar materiales propios de la zona. Ello no implica, en todo caso, que se pueda usar cualquier material local que no satisfaga unos requerimientos mínimos en cuanto al tamaño de las partículas, la forma y calidad. Ya en 1855, un manual de caminos decía: “Las piedras rodadas o cantos rodados forman malos empedrados, así es que solo por economía pueden emplearse en algunos casos, además de no conseguir buena unión con ellas, forman una superficie desigual para el tránsito” (Espinosa, 1855).

Por su naturaleza, los empedrados no requieren altos niveles de mantenimiento para garantizar su durabilidad y una operación vehicular relativamente permanente, aunque tienen unos niveles de confort bastante cuestionables y unos costos de operación elevados. El mismo manual citado en el párrafo anterior decía que “esos firmes son más duros y molestos para la circulación, producen más ruido por el paso de los carruajes (.), pero ocasionan menos polvo y lodo, pudiendo conservarse más tiempo sin reparación”. Se pueden presentar problemas de seguridad con piedras pulimentadas húmedas, en particular para los vehículos de dos ruedas y peatones. Entre las actividades necesarias de mantenimiento se encuentran, principalmente, el bacheo del empedrado, la limpieza de cunetas y alcantarillas, la limpieza de taludes y la reparación de cunetas.

ILUSTRACIÓN 3.13. CONSTRUCCIÓN DE UN EMPEDRADO EN BOLIVIA



Fuente: La Voz de Tarija (2021)

3.3.3.2 ESTABILIZACIONES CON ADITIVOS Y TRATAMIENTOS O REVESTIMIENTOS DE SUPERFICIE

Estabilizar un suelo consiste en conferirle características que no posee naturalmente, modificando algunas de sus propiedades naturales para utilizarlo en reemplazo de otros materiales escasos o muy costosos. Con la estabilización²³ se intenta modificar al menos una de las principales propiedades necesarias para conseguir que el material se comporte apropiadamente como parte de la estructura de pavimento de una carretera, a saber: resistencia mecánica, estabilidad volumétrica, compresibilidad, durabilidad e impermeabilidad. Por otra parte, se suele hablar de modificación, cuando el objetivo es más limitado, por ejemplo, disminuir la plasticidad para reducir el potencial expansivo de un suelo, mejorar su trabajabilidad y proporcionar una plataforma de trabajo permanente para las operaciones subsiguientes de construcción.

Las definiciones de los términos modificación y estabilización pueden ser ambiguas. La modificación tiene un alcance más moderado y generalmente de corto plazo, en tanto que la estabilización busca cambios con largo plazo de actuación y de importancia estructural.

²³ La bibliografía vial define muchos tipos de estabilizaciones y, dependiendo del país, algunos reciben nombres diferentes.

Las condiciones mínimas que deben cumplir los estabilizantes, sean de carácter universal o innovador, son:

- Disponibilidad en cantidad suficiente y en calidad normalizada.
- Facilidad para su transporte.
- No ser tóxicos para todo el entorno biótico.
- Tener acción duradera, avalada por experiencias de obra y lograr un material durable que mantenga la estabilidad a lo largo del tiempo (Asociación Argentina de Carreteras, 2018).

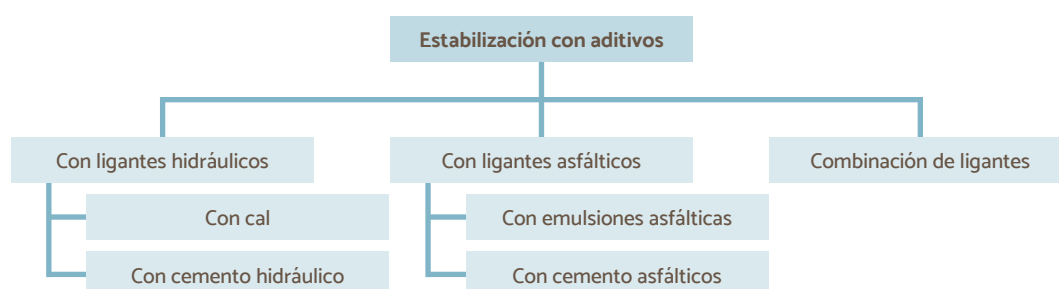
La combinación de estabilización y revestimiento superficial ofrece diversas soluciones técnicas a tener en cuenta e implementar de acuerdo con las circunstancias y condiciones locales. Dada su importancia, se describen en seguida en forma separada y con cierto detalle las estabilizaciones y los revestimientos superficiales de mayor uso y reconocida eficacia.

3.3.3.2.1 Estabilización con aditivos

La estabilización se puede realizar con agentes hidráulicos o bituminosos u otros aditivos químicos. Además, algunas soluciones exitosas incluyen la combinación de productos estabilizantes. Por otra parte, actualmente se está avanzando en la investigación sobre la aptitud de otros tipos de productos estabilizantes.

Los ligantes hidráulicos y asfálticos son materiales reconocidos como exitosos para la estabilización de suelos, hasta el punto de que sus especificaciones, los protocolos de diseño y los procedimientos de construcción se encuentran normalizados a nivel global. Pueden ser productos que reaccionen con el agua, como la cal, el cemento Portland y las cenizas volantes, o ligantes e impermeabilizantes, como los productos bituminosos.

FIGURA 3.4. PRINCIPALES TÉCNICAS NORMALIZADAS DE ESTABILIZACIÓN CON ADITIVOS

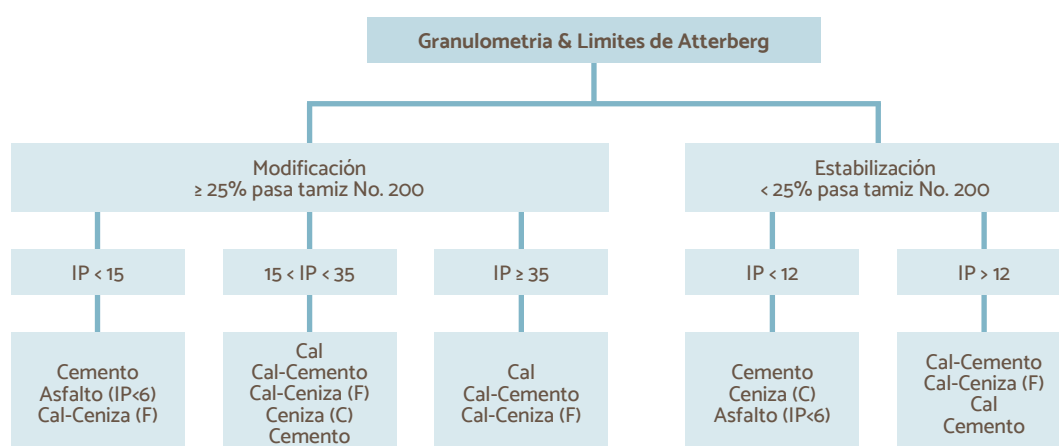


Fuente: Elaboración propia

Desde hace muchos años se han venido publicando guías para asistir a los ingenieros en la elección de los estabilizantes idóneos para cada tipo de suelo. En general, los criterios se basan en la granulometría y la plasticidad. En adición a las recomendaciones de esas guías elementales, las especificaciones de las agencias de vialidad pueden incluir otros requisitos que les permiten afinar mejor la selección, como, por ejemplo, el contenido de materia orgánica, el pH, el tipo de minerales y la presencia de sulfatos. En la figura 3.5 se sintetizan las recomendaciones generales que sobre el asunto presenta el Departamento de Transporte de Texas.

Consideradas y establecidas por el ingeniero las opciones técnicas preferibles con base en antecedentes prácticos reconocidos, le corresponde a este determinar cuál de ellas resulta más apropiada en cada caso, tanto en términos técnicos como de factibilidad económica y ambiental de acuerdo con el objetivo buscado. Cuando solamente se pretenda “modificar” algunas de sus propiedades, como la trabajabilidad, reducir la plasticidad y la susceptibilidad a la acción del agua, sin pretender la generación de incrementos de importancia en su resistencia a la tensión, generalmente se requieren bajas proporciones del producto escogido, por el contrario, cuando se desea obtener un material con propiedades como resistencia a la fatiga y durabilidad para incrementar la vida útil en servicio, la cantidad del estabilizante es normalmente superior. En este caso, se trata de una verdadera estabilización.

FIGURA 3.5. SELECCIÓN DE AGENTES CEMENTANTES O LIGANTES ASFÁLTICOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS



Cenizas tipo F: resistentes a los sulfatos, con bajo contenido de calcio.
Cenizas tipo C: resistentes a los sulfatos, con alto contenido de calcio.

Nota: Cuando se aplican cal y cemento, la secuencia de disposición en la obra es importante, debiendo primero hacerse la colocación y amasado de la cal y, posteriormente, poner el cemento.

Fuente: Texas Department of Transportation (2005)

A. ESTABILIZACIÓN CON LIGANTES HIDRÁULICOS

Los agentes cementantes de más amplio uso son la cal y el cemento Portland, los cuales se denominan estabilizantes o ligantes hidráulicos porque necesitan de la presencia de agua para desarrollar su poder cementante. También existen otros materiales que, sin embargo, por sí solos no pueden desarrollar propiedades cementantes y que exigen de la presencia de agua y calcio para poder hacerlo. Estos materiales son las denominadas puzolanas, que pueden ser naturales o artificiales²⁴. Aunque las cenizas volantes son ampliamente utilizadas y su uso está especificado en muchos países, en otros, principalmente de medio y bajo nivel de desarrollo, aún no son de uso habitual y carecen de normalización, motivo por el cual su empleo en la construcción vial todavía se puede considerar no convencional.

Los cementantes hidráulicos, cal y cemento, son útiles para su empleo en pavimentos por varias razones:

- Hacen que suelos de características inadecuadas o marginales mejoren sus propiedades, transformándose en materiales aptos. Por ejemplo, cuando se adiciona cal para mejorar las propiedades ingenieriles de una arcilla.
- Cuando se aplica en materiales que son intrínsecamente competentes, su aporte mejora sus características, haciéndolos mecánicamente más resistentes y durables. Por ejemplo, cuando se añade cemento a un material conformado por gravas y arenas.
- Dado que los materiales tratados con ellos presentan mejores propiedades mecánicas que antes del tratamiento, hace que estos se necesiten en menor cantidad, siendo técnicamente factible reducir los espesores de las capas estructurales, ahorrando en uso de materiales vírgenes, con lo cual se impacta menos el medioambiente.
- Desarrollan reacciones químicas no reversibles y, por lo tanto, duraderas y muy resistentes al tránsito y a la acción ambiental.

El contenido y la calidad del agua de amasado son importantes, siendo necesario que, al momento de incorporar el ligante, el suelo posea un contenido de agua ligeramente superior al óptimo del ensayo Proctor estándar, en el caso de los suelos finos, o del ensayo Proctor modificado, si se trata de un suelo grueso, valor que puede ser del orden del 1 % o 2 %, dependiendo de la cantidad de ligante por aportar. La acidez del agua, medida como pH, debe estar entre 5,5 y 8,0, según las especificaciones corrientes. El contenido de sulfatos y de materia orgánica también se deben limitar.

²⁴ Entre las artificiales se encuentran las cenizas volantes, utilizadas en los países donde se emplea el carbón para producir energía y consideradas también como una solución estructural no convencional (ver el apartado correspondiente en este mismo capítulo).

Para emplear los ligantes hidráulicos en un suelo, este no puede tener una cantidad de materia orgánica que supere cierto valor. La razón es que la materia orgánica interactúa con el calcio del ligante, impidiendo su acción cementante en el suelo. De igual manera, los estabilizantes hidráulicos no se deben emplear cuando los suelos están saturados.

- **Modificación y estabilización con cal**

La modificación y la estabilización de suelos con cal constituye una de las técnicas más antiguas que existen, con registros de más de 5000 años de antigüedad, y de las cuales se tiene certidumbre en cuanto a su eficacia y eficiencia. La experiencia muestra que la cal (óxido de calcio) reacciona con los suelos plásticos de partículas finas, a las que produce un conjunto de modificaciones que favorecen su comportamiento como material geotécnico: aumenta los tamaños de las partículas por cementación, reduce la plasticidad, incrementa la fricción interna entre las partículas aglomeradas, aumenta la resistencia al corte, reduce el potencial de expansión o contracción frente a las variaciones en el contenido de humedad del suelo e incrementa su trabajabilidad debido a que la textura cambia de arcillosa a friable, similar a la de un material limoarenoso. En general, los suelos que se clasifican en el método AASHTO²⁵ como A-4, A-5, A-6, A-7 y algunos A-2-6 y A-2-7 son los más fácilmente susceptibles a la estabilización con cal.

El uso más habitual y necesario de la cal como estabilizante de suelos es el mejoramiento de subrasantes de baja calidad, aunque también se puede emplear en cualquier capa granular, siempre que contenga una porción significativa de finos plásticos. La cal se utiliza, igualmente, como material para la desecación de suelos muy húmedos y para lograr que la capa superior se pueda construir de manera rápida sobre un piso de mejor calidad, permitiendo que la maquinaria tenga una superficie de apoyo apropiada. Se emplea también como tratamiento inicial del suelo previo a la incorporación posterior de otro estabilizante con el que se busca una ganancia estructural apreciable, como, por ejemplo, cemento o ceniza.

El grado de mejoramiento alcanzado con la adición de cal depende de factores como el tipo de suelo, el tipo y porcentaje de cal añadido, el periodo de curado, la temperatura del suelo y la humedad durante el curado. En general, no se requiere ningún periodo de curado para que la subrasante tratada alcance los resultados deseados cuando la cal se usa para la modificación. Cuando se emplea para estabilización, suele ser necesario un periodo de curado de al menos siete días.

La cal para la modificación y la estabilización se puede aplicar en obra en forma de guijarros (viva), en polvo seco (hidratada) o en forma de lechada. Cada tipo presenta beneficios e inconvenientes, como muestra el cuadro 3.5.

²⁵ Denominada por el acrónimo en inglés de la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, esta prueba permite determinar la relación óptima entre el contenido de agua de un material para subrasante y su masa volumétrica seca.

CUADRO 3.5. BENEFICIOS E INCONVENIENTES DE LAS TRES MANERAS DE APLICAR LA CAL

Aplicación	Beneficios	Inconvenientes
Cal viva (óxido de calcio)	<p>Contiene el mayor porcentaje de cal útil vial entre todos los tipos.</p> <p>Seca rápidamente materiales excesivamente húmedos.</p>	<p>Requiere grandes precauciones de seguridad debido a su carácter cáustico.</p> <p>Puede necesitar aportes extra de agua.</p>
Cal hidratada (óxido de calcio hidratado)	<p>Fácil de conseguir.</p> <p>Puede secar materiales húmedos (a menor velocidad que la cal viva).</p>	<p>Propensión al espolvoreo.</p>
Lechada	<p>Minimiza la formación de polvo.</p> <p>Facilita una buena dispersión de la cal en la mezcla y una reacción rápida y más completa.</p>	<p>Puede escurrirse sobre el material si este no se encuentra en estado suelto.</p> <p>La mezcla puede requerir una aireación intensa si su humedad excede notoriamente la óptima de compactación.</p>

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las limitaciones de uso, los suelos con baja plasticidad (límite líquido [LL] menor que el 20 % e índice de plasticidad [IP] inferior al 12 %) y un contenido de materia orgánica elevado, superior al 3 %, no son recomendables para ser tratados con cal dado que la materia orgánica neutraliza la acción del calcio. Tampoco es recomendable en suelos con contenidos de sulfatos superiores al 0,3 %. Los anteriores umbrales son una referencia, susceptible de ajuste en cada región de acuerdo con la experiencia local.

Para el diseño de las estabilizaciones existen prácticas conocidas y valoradas por su efectividad. Al respecto, se recomienda utilizar la norma AASHTO T220.

ILUSTRACIÓN 3.14. ESTABILIZACIÓN CON CAL



A. Material escarificado y encamado para la dosificación de óxido de calcio



B. Homogeneización de arcilla con óxido de calcio

Fuente: Garnica Anguas y Martínez Almeida (2023)

ILUSTRACIÓN 3.14. ESTABILIZACIÓN CON CAL



C. Formación de capa estabilizada con óxido de calcio (izquierda) y aspecto físico de la capa 3 años después (derecha) en el municipio de Tomatlán, en el Estado de Jalisco (México)

Fuente: Garnica Anguas y Martínez Almeida (2023)

- **Estabilización con cemento hidráulico**

El cemento hidráulico constituye una buena alternativa como material cementante tanto en los suelos finos no plásticos como en los granulares con la fracción arcillosa muy escasa y en los cuales la reactividad suelo-cal es demasiado insignificante para dar lugar a mejoras en sus propiedades.

El empleo del cemento para la modificación y la estabilización de suelos es una de las técnicas más difundidas y sobre las que existe mayor experiencia internacional. Debido a las múltiples ventajas que presentan los suelos tratados con cemento, muchos países lo emplean en forma generalizada. Un motivo importante para confiar en el cemento es el hecho de que se encuentra perfectamente especificado para todo tipo de necesidad. El cemento recomendado para la modificación de suelos y agregados es el Portland tipo I de uso general, cuyas características están definidas en la especificación de la American Society for Testing and Materials: ASTM C150. En los casos en los que los cementos hidráulicos se clasifican por desempeño, la especificación aplicable es la ASTM C1157 y el producto por utilizar normalmente debe ser del tipo GU.

El suelo modificado con cemento se emplea para mejorar las propiedades físicas y mecánicas y las características de construcción tanto de suelos finos como granulares. Por lo general, los suelos mejorados con cemento suelen ser los mismos que se encuentran en el trazado de los caminos. Si son limoarcillosos (pasante por la malla n.º 200 > 35 % al clasificarlos por el método AASHTO), la finalidad es mejorar sus propiedades de ingeniería para hacerlos apropiados como subrasante o como subbase. En este caso, los objetivos específicos pueden ser la reducción de la plasticidad

y la susceptibilidad al cambio volumétrico, el aumento de la capacidad portante o el suministro de una plataforma estable de trabajo sobre la cual se puedan construir las capas del pavimento. Si los suelos se clasifican como granulares (pasante por la malla n.º 200 \leq 35 %), es posible que contengan suficientes finos cohesivos como para causar dificultades. En este caso, el objetivo de la modificación es alterar lo suficiente la fracción fina, de manera que el material cumpla los requisitos que exigen las especificaciones para los materiales de subbase granular.

Como en ambos casos la intención de la modificación es relativamente limitada, no hay protocolos estandarizados para el diseño de las mezclas con este propósito. Por ello, el trabajo de laboratorio consiste solamente en definir, mediante ensayos básicos, la cantidad mínima de cemento que permite satisfacer los requisitos de calidad que se pretenden. Según la Portland Cement Association (PCA), la tasa de aplicación de cemento para los suelos modificados con este producto varía, generalmente, entre el 3 % y el 5 %, aunque estas cantidades en algunos medios pueden ser desde el 1,5 %, dependiendo del suelo de partida y del objetivo que se busca.

El suelo estabilizado con cemento, también llamado suelo-cemento, es resultado de una mezcla íntima de suelos naturales o agregados manufacturados con cantidades medidas de cemento hidráulico y agua, que endurece luego de la compactación y el curado, para formar una capa de pavimento resistente y durable. En este tipo de material se emplea un mayor contenido de cemento que en el caso de la modificación, dando como resultado una capa resistente a la humedad y al congelamiento, lo que le permite soportar las tensiones del tránsito y las acciones del clima. Los contenidos de cemento varían, típicamente, del 3 % al 10 % dependiendo del tipo de suelo, con resistencias a la compresión a los 7 días que se sitúan normalmente entre 2,1 megapascales (MPa) y 5,5 MPa. La proporción óptima de estabilizante para la construcción de capas de suelo-cemento se define con los resultados de ensayos debidamente reconocidos y normalizados, principalmente relacionados con la compresión simple y la durabilidad.

Una de las preocupaciones que ha generado siempre el uso del suelo-cemento es la aparición temprana de fisuras transversales a intervalos típicos de 2,4 a 6 metros. Aunque ello obedece a un hecho inherente al proceso natural de hidratación y curado y no debe ser atribuida en general a fallos de ejecución, no deja de causar preocupación ante la posibilidad de que derive en deterioros de mayor intensidad. Un enfoque prometedor para su tratamiento consiste en la prefisuración de las capas de suelo-cemento antes de iniciar su compactación. Este procedimiento ha sido implementado experimentalmente en varios países. En Colombia lo consideran las especificaciones del INVÍAS. Otra medida que se considera adecuada consiste en la adición de ceniza volante en la mezcla, opción que ha mostrado un gran potencial para reducir la contracción de las mezclas de suelo-cemento.

Finalmente, una característica de los suelos tratados con cemento es su baja resistencia a la abrasión producida por la circulación vehicular, por lo que siempre es recomendable la construcción subsecuente de un tratamiento superficial o mezcla de protección.

B. ESTABILIZACIÓN CON LIGANTES ASFÁLTICOS

Los asfaltos producto de refinación son materiales que se obtienen de la destilación de crudos de petróleo y sus características básicas dependen del tipo de estos crudos. Son materiales de comportamiento viscoelástico, lo que les da un carácter flexible y relativamente dúctil, mientras que su carácter termoplástico los hace muy sensibles a los cambios de temperatura. Los asfaltos ofrecen resistencia al paso del agua debido a sus propiedades hidrófobas, originadas en su carácter aceitoso, al estar constituidos por una combinación de aceites hidrocarbonados pesados y ligeros, de cuya combinación resultan sus propiedades.

En la tecnología vial se utiliza la propiedad viscoelástica del asfalto para cubrir y mantener unidas las partículas de materiales, en lugar de inducir una reacción química o la formación de nuevos componentes. Su función es aumentar la resistencia y rigidez y reducir la susceptibilidad a la humedad. Tradicionalmente, los asfaltos diluidos en combustibles hidrocarbonados fueron los utilizados para estas estabilizaciones, sin embargo, la suspensión de su oferta, debido al control ambiental y al hecho de que los diluyentes son productos de alto valor energético que se perdían por evaporación, derivó hacia el empleo de emulsiones asfálticas y, años más tarde, también de asfaltos espumados. En el caso de las emulsiones, cuyo uso está mucho más generalizado, también se pueden emplear en riegos de adherencia entre capas, tratamientos superficiales y mezclas de diversos tipos.

- **Utilización de emulsiones asfálticas como material estabilizante**

Las emulsiones asfálticas se consideran una opción técnica útil a considerar para el mejoramiento y la conservación de caminos rurales. Dependiendo del emulsificante utilizado en la fabricación de las emulsiones asfálticas, estas pueden ser de velocidad de rotura rápida, media o lenta, siendo la primera y la tercera las de mayor empleo en la región.

Conceptualmente, las emulsiones asfálticas se pueden emplear en el mejoramiento de una amplia gama de suelos, pero su acción es distinta en cada uno de ellos. En los suelos gruesos, que es donde se usan de manera habitual, su función consiste en proporcionar cohesión, incrementando la resistencia mecánica y la durabilidad, mientras que, en suelos finos no plásticos o de baja plasticidad (IP generalmente inferior a 6, aunque algunas especificaciones permiten hasta 10), se pueden utilizar para dar impermeabilidad, disminuyendo la susceptibilidad del suelo al agua. Si la plasticidad excede este límite recomendable, se requerirá su reducción a través de la inclusión y mezcla de cal antes de proceder a la estabilización. Esta segunda aplicación es menos frecuente que la primera.

Una de las ventajas del empleo de emulsión asfáltica en la estabilización de granulares es la reducción en el acarreo de pétreos, por cuanto no se requiere material granular con alto grado de selección. Se puede, así, usar materiales de la zona, dependiendo, eso sí, de sus propiedades, tanto en calidad como en homogeneidad. Adicionalmente, el uso de emulsiones ayuda a proteger el ambiente, debido a la baja emisión de volátiles nocivos para la atmósfera.

A pesar de sus bondades comprobadas, siempre que se considere la estabilización bituminosa es necesario tener en cuenta algunos aspectos que pueden resultar limitantes. En primer lugar, el factor económico. Si bien existe la posibilidad de emplear materiales locales, su variabilidad puede afectar adversamente la calidad de la estabilización. Además, el precio del asfalto y del llenante mineral (filler) activo, normalmente cemento Portland, que se suele incorporar en las mezclas es elevado, por lo tanto, si en las cercanías del proyecto se pueden extraer materiales naturales idóneos, el costo del tratamiento con asfalto puede descartar su uso, sobre todo en las carreteras de bajo tránsito.

Por otra parte, el empleo de emulsiones asfálticas debe atender algunos requerimientos técnicos específicos:

- Antes de ser tratado, el material granular debe contener una humedad adecuada para facilitar su dispersión en los agregados. Esto se debe a que, si están secos, se puede producir una rotura prematura de la emulsión, impidiendo el amasado, mientras que, si están demasiado húmedos, la adición de la emulsión puede dar como resultado que el contenido total de fluidos exceda el óptimo requerido para la compactación y esta se escurra, impidiendo alcanzar los objetivos.
- El proceso de mezclado requiere la aplicación de una emulsión estable de rotura lenta, pero adecuada a los materiales con los que se va a mezclar y a la condición climática del lugar. Cuando la emulsión es demasiado estable o incompatible con el material, puede tardar semanas o incluso meses en romper. Este aspecto es especialmente importante en zonas que no tengan a su alcance la fabricación y dosificación a la medida de emulsificantes, la cual permite ajustar la emulsión a cada necesidad y en cada instante del trabajo. Además, muchos de los caminos rurales se encuentran a distancias considerables de las plantas de fabricación de emulsión, lo que, además del costo de transporte, también puede afectar adversamente a la estabilidad del producto.
- Se deben considerar, además, las condiciones ambientales, principalmente de humedad y temperatura en el sitio donde se vaya a realizar el trabajo.

- **Estabilización con cemento asfáltico espumado**

Los cementos asfálticos espumados (AE) constituyen una alternativa todavía relativamente novedosa en varios países de la región. Esta técnica amplía el abanico de posibilidades y herramientas para el desarrollo de procesos de estabilización de manera ambientalmente segura.

El asfalto espumado se puede usar como agente estabilizador de una gran variedad de materiales, desde gravas trituradas de buena calidad hasta suelos “marginales”. También, se puede utilizar con materiales procedentes del reciclaje o de la recuperación de capas de pavimentos. Generalmente, la cantidad requerida de asfalto espumado no es superior al 3 % en masa del agregado seco y, en muchos casos, es necesario incorporar en la mezcla llenantes activos, como cemento hidráulico o cal hidratada. La finalidad de esta adición es, fundamentalmente, mejorar la dispersión del asfalto y reducir la susceptibilidad al agua de la mezcla, aunque es evidente que adicionalmente se obtiene alguna rigidización del mortero asfáltico y un aumento en el módulo inicial de la mezcla, así como una reducción de su tiempo de curado.

Aunque la técnica de estabilización con asfalto espumado tiene bondades comprobadas, es necesario reconocer sus limitaciones en cuanto a aspectos económicos asociados a los costos de los cementos asfálticos y de los llenantes activos que normalmente se incluyen. Una restricción adicional es la necesidad imperiosa de contar con equipos muy especializados de laboratorio y de campo y con la experiencia del recurso humano para la aplicación de la técnica.

C. ESTABILIZACIÓN MEDIANTE COMBINACIÓN DE LIGANTES

Bajo determinadas circunstancias, la mezcla de agentes estabilizantes es benéfica para alcanzar los requerimientos del proyecto. La combinación de tratamientos debe superar los requisitos de resistencia y durabilidad impuestos al uso del estabilizante predominante. Ejemplo típico de estas combinaciones es el pretratamiento de suelos de alta plasticidad con cal antes de la aplicación de cemento hidráulico, ceniza o un producto bituminoso.

Cuando los suelos a modificar o estabilizar con cemento presentan valores excesivos de plasticidad, el cemento no es tan efectivo como la cal para lograr la pulverización requerida en el terreno. En este caso, puede ser conveniente realizar un tratamiento previo con una dosis moderada de cal, optimizando de esta manera la acción del cemento sobre el suelo. La mezcla se debe llevar a cabo en dos etapas: primero se mezcla el suelo con la cal y, transcurridas unas horas, se procede a incorporar el cemento, el cual producirá un efecto similar al que se obtendría en suelos de baja plasticidad. Aunque el ámbito de aplicación del cemento como modificador y estabilizante es muy amplio, existen restricciones en relación con los contenidos de materia orgánica y sulfatos de los suelos. Mientras la presencia de materia orgánica inhibe el efecto estabilizador del cemento, su reacción con los sulfatos es expansiva.

La combinación de estabilizantes hidráulicos, cal o cemento (como llenantes activos) con las emulsiones es una técnica que ayuda a lograr las resistencias deseadas en menor tiempo, agilizando su cobertura e incrementando los rendimientos en la ejecución de las obras. Cuando esto se hace, la cantidad del ligante hidráulico es poca, usualmente en torno al 1 %, para que el diseño y las propiedades generales de la mezcla sean gobernadas por la emulsión. Esta alternativa es particularmente deseable cuando se necesita estabilizar materiales que tienen un IP superior al 6 % e inconveniente para las estabilizaciones con emulsión. En obra, se debe colocar y homogeneizar el cemento o la cal antes de incorporar la emulsión.

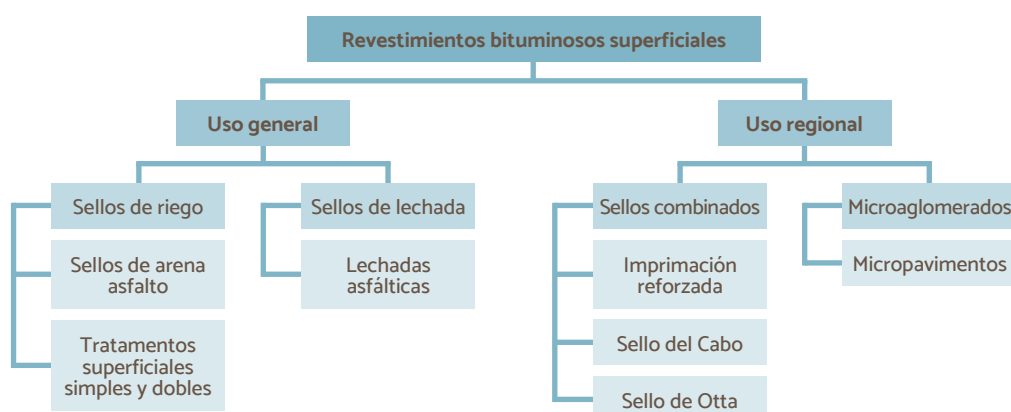
3.3.3.2.2 Tratamientos o revestimientos delgados de superficie

Estas técnicas comprenden los procedimientos que incluyen ligantes bituminosos y agregados pétreos, tendientes a acondicionar, impermeabilizar y restaurar superficies y a proteger capas inferiores, aunque su aporte a la capacidad estructural del conjunto sea prácticamente nulo. Debido a su escaso espesor, son muy sensibles al comportamiento de la capa que los soporta, a los materiales usados, al control durante las operaciones de construcción y al mantenimiento oportuno.

Las alternativas de amplio uso y normalización general incluyen una gran variedad de revestimientos bituminosos superficiales en frío: sellos de riego (arena-asfalto y tratamientos superficiales), lechadas asfálticas, sellos combinados y micropavimentos (microaglomerados en frío). Estas técnicas se han utilizado con éxito en diferentes ambientes, siendo conocidas sus características y reconocido su buen desempeño.

Los revestimientos bituminosos superficiales en frío de uso más habitual se presentan en la figura 3.6, donde se incluyen tanto aquellos que gozan de reconocimiento general como otros que, por el momento, solo han sido especificados en entornos más limitados. A continuación, se describen brevemente aquellos que tienen mayor historial de aplicación y se encuentran en la mayoría de las especificaciones de construcción, incluidos algunos de uso regional.

FIGURA 3.6. PRINCIPALES TIPOS DE REVESTIMIENTOS BITUMINOSOS SUPERFICIALES



Fuente: Elaboración propia

A. REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES DE USO GENERAL

• Sellos de arena-asfalto

Consisten en la aplicación de un material bituminoso, generalmente una emulsión asfáltica de rotura rápida, seguido por la extensión y compactación de una delgada capa de arena. Su durabilidad es baja, pero su período de comportamiento se puede extender aplicando un segundo sello pocos meses después. Aunque es un tratamiento bituminoso de bajo costo que permite el uso de mano de obra en su ejecución (ilustración 3.15) (OIT, 2013), la pérdida de arena es frecuente debido a su mínimo espesor, por lo cual, la superficie se vuelve resbaladiza en condición húmeda. Esta condición hace que su empleo sea más frecuente en áreas pequeñas para evitar generar inseguridad vial. Además, son poco resistentes a los giros y la frenada de los vehículos. Se usan principalmente como tratamiento de corta duración y en pequeñas extensiones (hasta 10 metros) de vías recién pavimentadas que presentan síntomas de segregación o escasez en la dosificación del asfalto con el fin de mejorar su impermeabilidad.

ILUSTRACIÓN 3.15. APLICACIÓN MANUAL DE ARENA Y COMPACTACIÓN DE UN SELLO DE ARENA-ASFALTO



Fuente: OIT (2013)

• Tratamientos superficiales simples y dobles

Consisten en la aplicación de riegos de material bituminoso seguidos por la extensión de capas de agregado pétreo de tamaño uniforme y su posterior compactación para orientar y embeber las partículas dentro del ligante. Si solamente se aplica un riego y una capa de agregado pétreo, el tratamiento superficial se denomina simple, mientras que, si el trabajo comprende dos aplicaciones de material bituminoso, seguidas por la extensión y compactación sucesiva de sendas capas de agregado pétreo, se trata de un tratamiento superficial doble. Aunque existen otras posibilidades para la ejecución de los tratamientos superficiales, no son muy utilizadas en la región.

El buen desempeño de los tratamientos, en especial los dobles, ha sido probado en muchos ambientes, siendo muy apropiados en la pavimentación de vías rurales. En países como Australia, Nueva Zelanda y Suráfrica, los tratamientos superficiales son de uso común en la construcción nueva, aun en carreteras con altos volúmenes de tránsito. Su buen comportamiento exige tanto la idoneidad de los materiales para su ejecución como una dosificación correcta de los mismos en la obra.

Recién construidos, son muy sensibles en climas fríos. Producen bastante ruido al circular sobre ellos. También, son sensibles a las acciones de giro, tracción y frenado, por lo que no son muy adecuados en trazados con alta pendiente longitudinal, donde, incluso, se pueden producir escurrimientos del ligante durante su aplicación. En el caso de los tratamientos dobles es conveniente que el tamaño máximo del agregado del segundo riego sea del orden de 1/3 del empleado en el primero.

Los tratamientos superficiales ofrecen varias ventajas: su construcción es rápida, proveen una superficie de rodadura libre de polvo, sellan y protegen la capa de base, se adaptan bien a las deformaciones del soporte, suministran resistencia a las fuerzas abrasivas del tránsito y del ambiente, y protegen las capas subyacentes contra el ingreso de agua, previniendo así pérdidas de resistencia. Además, mejoran la seguridad de los usuarios al suministrar una superficie con buena resistencia al deslizamiento, permiten la aplicación de elementos de señalización horizontal en la carretera, generan ahorros en los costos de operación vehicular en comparación con los caminos no pavimentados y proveen un camino transitable en toda temporada.

Los tratamientos superficiales son muy sensibles a los fallos en su ejecución. Errores en la dosificación de los materiales, el uso de un ligante demasiado fluido o demasiado viscoso, el uso de agregados con gradación inadecuada, la aplicación tardía de la gravilla y una apertura prematura al tránsito pueden causar su deterioro casi inmediato. Otro de sus peligros es la posible rotura de parabrisas producida por partículas sueltas que son proyectadas por las ruedas de un vehículo hacia el que lo sigue.

- **Lechadas asfálticas**

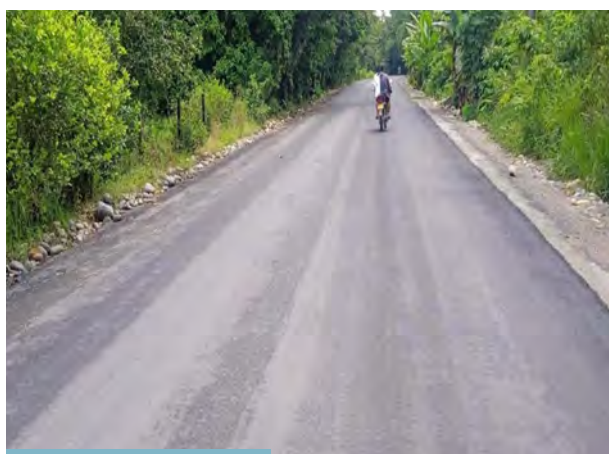
Las lechadas asfálticas también son técnicas bituminosas superficiales ampliamente normalizadas. Son mezclas, dosificadas en forma adecuada, de agregado fino bien gradado (arena), agua, emulsión asfáltica de rotura lenta, llenante mineral y, eventualmente, aditivos. La mezcla es inicialmente fluida, viscosa y homogénea, pero después cura y endurece, proporcionando una superficie impermeable y adecuada al tránsito.

Aunque aparentemente sencilla, la técnica de las lechadas asfálticas es bastante compleja y exige una verdadera especialización de personal y máquinas. Aunque muchos manuales sobre vías de bajo tránsito recomiendan su elaboración en pequeñas mezcladoras de hormigón y su extensión por medios manuales, esta alternativa solo es aceptable en arreglos de poca extensión, por cuanto su resultado nunca es comparable ni en rendimiento ni en calidad al obtenido al emplear un equipo autopropulsado, diseñado y construido específicamente para este trabajo.

Su comportamiento es apropiado en todos los climas siempre que se diseñen y construyan bien. Debido a la rigidez que adquieren tras su maduración y a su limitado espesor, son propensas a la fractura cuando se extienden sobre soportes muy deformables.

Las lechadas se pueden usar en pavimentos con algún problema superficial, como pérdida de su textura, o con desprendimientos ligeros de los agregados, así como en pavimentos que tienen procesos de fisuración en desarrollo inicial, con el fin de evitar el ingreso de agua y mantener la vida útil de la estructura.

ILUSTRACIÓN 3.16. CASOS DE UTILIZACIÓN DE LECHADAS ASFÁLTICAS EN SUPERFICIES



A. Sobre capas de material granular en Vía El Tigre, Putumayo (Colombia)



B. Sobre capa de material estabilizado con cal en Tona, Santander (Colombia)



C. Aplicada manualmente en Izalco (El Salvador)



D. Aplicada con equipo especializado en Richland (WA, Estados Unidos)

Fuente: imágenes A y B, cortesía de Fabio Méndez, imagen C, Barrera (2018), imagen D, City View (2014)

B. REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES DE USO REGIONAL

Entre los principales revestimientos superficiales de aplicación regional y de viabilidad de aplicación generalizada se encuentran la imprimación reforzada, el sello del Cabo, el sello de Otta y, con mayor limitación de implementación, los micropavimentos, también conocidos como microaglomerados en frío.

- **Imprimación reforzada**

La imprimación reforzada es un tratamiento asfáltico utilizado en algunos países de la región desde hace muchos años en el mantenimiento de caminos no pavimentados (Bergeret y Márquez, 1968). Básicamente, consiste en la aplicación de un asfalto líquido de curado medio sobre la superficie por proteger, acondicionada según se especifique, y a la que, tras el curado de la primera aplicación de ligante, se aplica un segundo riego, esta vez de emulsión de rotura rápida o de asfalto líquido de curado rápido, sobre el cual se esparce y compacta una capa de arena. Este tipo de tratamiento se encuentra especificado en Perú y países del Cono Sur.

- **Sello del Cabo**

Su nombre proviene de la Ciudad del Cabo, Sudáfrica, donde fue inventado. Es un sello asfáltico de protección, compuesto por una primera capa que corresponde a un tratamiento superficial simple y, sobre este, una capa de relleno de lechada asfáltica (ilustración 3.17). La idea es que, al terminar la ejecución del revestimiento, las cúspides de las partículas del tratamiento superficial queden justo encima de la lechada. Típicamente hay un lapso de una a dos semanas entre la aplicación de los dos tratamientos. La aplicación conjunta de estos combina las principales características favorables de ambos: el tratamiento superficial aporta impermeabilización y resistencia al deslizamiento, mientras que la lechada aporta lisura, reduce el nivel del ruido de rodadura y evita el desprendimiento de partículas, típico de los tratamientos superficiales.

Su buen funcionamiento requiere que se construya sobre una estructura sana en buena condición general. Una limitación práctica es que se trata de un proceso constructivo que requiere disponer de dos equipos, uno para el tratamiento superficial y otro para la lechada, lo que demanda personal con habilidad y experiencia en ambos trabajos, así como el manejo de emulsiones de distinta rotura. Ello hace que la operación sea delicada, costosa y de relativa complejidad técnica.

ILUSTRACIÓN 3.17. EXTENSIÓN DE SELLO DEL CABO SOBRE EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL



Fuente: BETA (s. f.)

- **Sello de Otta**

Es un tipo de tratamiento bituminoso ideado por el Laboratorio Noruego de Investigación de Carreteras (NRRL, por sus siglas en inglés) y debe su nombre al Valle de Otta, donde fue desarrollado en los años sesenta. La construcción de un sello de Otta es, en principio, similar a la de un tratamiento superficial convencional, pero da la posibilidad de que varias actividades involucradas en el procesamiento de los agregados y su ejecución se puedan adelantar utilizando métodos soportados por mano de obra no calificada. El sello de Otta difiere de los tratamientos convencionales en factores como la calidad del agregado empleado en su ejecución, el tipo de ligante y el proceso constructivo (Overby y Pinard, 2007).

El sello consiste en la aplicación de un riego relativamente grueso de un producto bituminoso de baja viscosidad (generalmente un cemento asfáltico de grado de penetración 150-200), seguido por la extensión de una capa de agregado pétreo gradado y su posterior compactación con un rodillo neumático de más de 12 toneladas o por camiones cargados. Una vez terminado, el sello se puede abrir al tránsito de manera inmediata (ilustración 3.18). El agregado pétreo puede ser natural, provenir de trituración o ser una mezcla de ambos. El éxito del sello depende de que el ligante sea impulsado hacia arriba a través del agregado debido a la acción amasadora de la compactación neumática y la posterior del tránsito. Todo ello da como resultado una matriz densa y durable que se basa tanto en la trabazón mecánica del agregado como en el efecto ligante del asfalto.

ILUSTRACIÓN 3.18. SELLO DE OTTA CONSTRUIDO EN KENIA EN 2005



Fuente: Overby y Pinard (2007)

Aparte de la posibilidad de usar agregados locales, sus ventajas son las mismas que las de otros revestimientos bituminosos: mejorar la calidad de vida de los aledaños al camino, eliminar el polvo, reducir los costos de mantenimiento y de operación de los usuarios, etc.

Entre sus desventajas está el hecho de requerir un tipo específico de cemento asfáltico blando, que puede no estar disponible en muchas regiones, así como el uso de cantidades de ligante y agregados superiores a las requeridas en los tratamientos superficiales convencionales. También está la necesidad de una compactación pesada e intensa, que no lo hace accesible a contratistas pequeños y dificulta su implementación completa por parte de la comunidad local. Aunque su elaboración permite el empleo de mano de obra de baja calificación en algunas labores, como la clasificación y extensión de los agregados (ilustración 3.19), se requiere personal experimentado para hacer en obra los ajustes al diseño nominal, a fin de adaptarlo a cambios en las condiciones, por ejemplo, en cuanto a la gradación del agregado y el tiempo atmosférico.

ILUSTRACIÓN 3.19. USO INTENSIVO DE MANO DE OBRA LOCAL EN LA EXTENSIÓN DEL AGREGADO EN UN SELLO DE OTTA



Fuente: OIT (2013)

Una vez construido, el sello de Otta se debe someter a control durante varias semanas, brindándole compactación adicional, limitando la velocidad de circulación y barriendo las partículas granulares desalojadas por el tránsito.

- **Micropavimentos**

También denominados microaglomerados en frío, son mezclas que se elaboran en una máquina autopropulsada específica para ello. Para elaborarlas, se emplean como ingredientes emulsión de rotura lenta modificada con polímeros, agregado fino y, eventualmente, aditivos. Estas mezclas se aplican en bajo espesor, principalmente con el fin de servir como capa de rodadura en un pavimento nuevo, aunque también se acostumbra aplicarlas sobre pavimentos en servicio con el propósito de controlar deficiencias superficiales, como desprendimientos leves, exudaciones de poca gravedad y áreas fisuradas de baja o media intensidad, mejorando así las condiciones del servicio, pero sin proporcionar ningún tipo de mejora estructural.

Posiblemente, su empleo en caminos rurales sea limitado²⁶ tanto por la dificultad de disponer de lechadas elaboradas con asfalto modificado con polímeros en las cercanías de los proyectos como por el alto costo asociado a ellas.

C. OBSERVACIONES SOBRE LA VIDA DE SERVICIO DE LOS REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES

Los revestimientos superficiales tienen la capacidad de extender en alguna medida la vida útil de los caminos, siempre y cuando estos se encuentren en relativas buenas condiciones. Por lo tanto, para que el tratamiento tenga la duración deseada, es condición necesaria que la estructura de la calzada sobre la cual se aplica tenga vida residual. Su posible vida de servicio dependerá, entre otros factores, de la calidad del diseño, de los materiales empleados, de los métodos constructivos, de las características del tránsito por servir, de las condiciones ambientales, de las características geométricas, de la seguridad, de factores económicos y, sobre todo, de las condiciones en que se encuentre el camino por mejorar.

Con excepción de los tratamientos paliativos de polvo, cuya eficacia es independiente de la resistencia estructural de las calzadas no pavimentadas, el empleo eficiente de las demás opciones de tratamiento de superficie se basa en considerar que la calzada es competente para soportar el tránsito anticipado tanto si el camino es pavimentado como si no lo es. Por lo tanto, no resulta técnica ni económicamente aceptable la ejecución de estos tratamientos directamente sobre superficies de grava si estas poseen finos que presenten alta plasticidad, una gradación inadecuada o si la calzada es estructuralmente insuficiente.

²⁶ En el PROREGIÓN de Perú se utilizarán micropavimentos.

Muchos de los documentos relacionados con la preservación de caminos recomiendan vidas de servicio típicas para diferentes tratamientos de superficie. El cuadro 3.6 resume las recomendaciones que aparecen en algunos de ellos. Los rangos de vida asignados suelen ser amplios, ya que sus autores los han fijado suponiendo condiciones de estado diferentes en caminos pavimentados. La conformidad entre estas vidas estimadas y la futura realidad reposa en el buen diseño del tratamiento, en el uso de materiales idóneos, en un procedimiento constructivo correcto y en una superficie que no solo facilite la adhesión adecuada del tratamiento, sino que, además, asegure una vida residual que al menos iguale la expectativa de vida de la solución funcional planteada en el cuadro. En la medida en que se usen materiales pétreos de calidad inadecuada, se empleen procedimientos artesanales en la ejecución de algunas actividades que requieren alta precisión y la capacidad estructural del camino sea insuficiente, estas expectativas serán imposibles de cumplir.

CUADRO 3.6. VIDA DE SERVICIO ESPERADA DE ALGUNOS REVESTIMIENTOS O TRATAMIENTOS TÍPICOS (FUNCIONALES)

Normalización	Tipo de solución	Vida de servicio estimada (años)						
		SADC (1)	Rural Road Note 01 (2)	Geoffroy (3)	Hicks <i>et al.</i> (4)	Maher <i>et al.</i> (5)	Wu <i>et al.</i> (6)	Galehouse (7)
General	SAA	2-4	2-3	-	-	2-6	-	-
	SAAD	6-9	3 - 6	-	-	-	-	-
	TSS	4 - 6	-	5-6	3-7	3-7	3-8	5-6
	TSS + SAA	-	8 - 11	-	-	-	-	-
	TSD	7-10	10 - 14	5-6	-	4-8	-	8-10
	LAS	2 - 6	3 - 5	5-6	3-7	3-8	4-7	3-5
	LAD	-	5 - 8	-	-	-	-	-
Regional o local	IR	-	-	-	-	-	-	-
	SC (13 mm + LAS)	8-10	10 - 14	-	-	7-15	-	-
	SC (19 mm + LAS)	12 - 16	-	-	-	7-15	-	-
	SOS	-	8 - 10	-	-	4-8	-	-
	SOS + SAA	8 - 10	10 - 12	-	-	-	-	-
	SOD	10 - 14	12-15	-	-	8-15	-	-

SAA = Sello de arena-asfalto, SAAD = Sello de arena-asfalto doble, TSS = Tratamiento superficial simple, TSS+SAA = Tratamiento superficial simple + sello de arena asfalto, TSD = Tratamiento superficial doble, LAS = Lechada asfáltica simple, LAD = Lechada asfáltica doble, IR = Imprimación reforzada, SC = Sello del Cabo, SOS = Sello de Otta simple, SO+SAA = Sello de Otta + sello de arena asfalto, SOD = Sello de Otta doble.

Fuente: Para la columna A, SADC (2003), columna B, Rolt, Otto *et al.* (2020), columna C, FHWA (1996), columna D, Hicks *et al.* (2000), columna E, Maher *et al.* (2005), columna F, Wu *et al.* (2010), y columna G, Galehouse (2013)

La idoneidad de varios tipos de tratamientos superficiales y sellos asfálticos, en términos de su eficiencia y eficacia en relación con los factores operativos descritos al inicio de este subapartado, se resumen en el cuadro 3.7.

CUADRO 3.7. IDONEIDAD DE VARIOS TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE EN CAMINOS RURALES

Atributo	Soluciones universales estructurales de uso						Soluciones de uso regional				
	SAA	SAAD	TSS	TSS+SAA	TSD	LAS/LAD	SOS	SOS+SAA	SOD	SC 13mm+LA	SC 19mm+LA
Facilidad de diseño	XXX	XXX	X	X	X	XXX	X	X	X	X	X
Facilidad de construcción	XXX	XXX	X	X	X	XXX	XX	XX	XX	X	X
Vida de servicio	⊗	⊗	⊗	XX	XXX	⊗	XXX	XXX	⊗	XXX	XXX
Evitar el riesgo de mantenimiento deficiente	⊗	⊗	⊗	X	X	⊗	X	X	XXX	XXX	XXX
Alta resistencia al deslizamiento	⊗	⊗	XXX	X	XXX	XXX	X	X	X	XX	XXX
Senalización horizontal temprana	X	X	XXX	X	XXX	XXX	⊗	⊗	⊗	XXX	XXX
Idoneidad para acciones de giro	⊗	⊗	⊗	X	X	⊗	XX	XX	XX	XX	XXX
Insensibilidad a la calidad del material	X	X	⊗	⊗	⊗	X	XXX	XXX	XXX	⊗	⊗
Sensibilidad a pendientes > 8 %	⊗	⊗	⊗	X	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	X	X

SAA = Sello de arena-asfalto, SAAD = Sello de arena-asfalto doble, TSS = Tratamiento superficial simple, TSS+SAA = Tratamiento superficial simple + sello de arena asfalto, TSD = Tratamiento superficial doble, LAS = Lechada asfáltica simple, LAD = Lechada asfáltica doble, IR = Imprimación reforzada, SC = Sello del Cabo, SOS = sello de Otta simple, SO+SAA = Sello de Otta + sello de arena asfalto, SOD = Sello de Otta doble.

XXX: Muy buena XX: Buena X: Razonable ⊗: Pobre inadecuada

Fuente: Rolt, Otto *et al.* (2020)

3.3.3.3 PAVIMENTOS CON CAPAS ESTRUCTURALES NO CONVENCIONALES

3.3.3.3.1 Residuos de la construcción y demolición (RCD)

En las zonas urbanas se generan materiales producto de construcciones o demoliciones de edificios, de los que hay mayor cantidad en las ciudades de gran tamaño. También hay materiales producto de las demoliciones de pavimentos de hormigón. Por tanto, es de esperar que se utilicen en vías urbanas y en caminos rurales próximos. Los municipios pequeños, que son a los que dan acceso los caminos rurales, no suelen poseer la logística para gestionar estos materiales y, además, el volumen generado anualmente en ellos debe ser tan reducido que su empleo como material para el mejoramiento de los caminos rurales de su dependencia sería mínimo y solo servirían quizá para reparaciones puntuales. Se debe tener en cuenta que, por su carácter antrópico, los rellenos con RCD son heterogéneos y potencialmente compresibles.

Como caso de referencia, caben mencionar las experiencias en Ciudad de México y zonas urbanas aledañas, donde, con el objeto de determinar la clasificación de los residuos de la construcción y demolición, se establecieron las especificaciones y requisitos técnicos para su manejo integral, también se definieron los requisitos complementarios que deberán observarse en la formulación de los Planes de Manejo de RCD, así como el procedimiento para la evaluación de la conformidad²⁷.

3.3.3.3.2 Reutilización y reciclaje de materiales recuperados de pavimentos asfálticos

Los materiales provenientes de la recuperación de pavimentos asfálticos (RAP, por sus siglas en inglés) debidamente clasificados se pueden usar, sin modificación, para mezclarlos con los que se encuentran en las capas existentes en la vía. La finalidad de esta mezcla es incrementar el espesor granular y reducir los niveles de esfuerzo actuantes en los caminos de tierra o grava. En el caso particular del RAP, también se pueden utilizar como aporte en las estabilizaciones, generalmente con emulsiones asfálticas o asfaltos espumados, mejorando la capacidad estructural del camino al proveer una capa de material de buena calidad y características de resistencia superior.

Muchos países cuentan con grandes cantidades de escombros recuperados de pavimentos flexibles en regular o mal estado y su empleo para la conformación de capas de la estructura de pavimentos ha ganado gran aceptación. Los materiales y procedimientos están debidamente especificados, por lo que su uso como agregados pétreos en caminos rurales es perfectamente posible, siempre que se pueda disponer de ellos.

3.3.3.3.3 Caminos mejorados con productos no convencionales

En la dinámica actual de intervenciones viales y considerando los Objetivos del Desarrollo Sostenible, el cuidado ambiental y la economía circular, cabe tener en cuenta diversas alternativas para la dotación de estructuras en los caminos rurales. Dichas alternativas incorporan productos fabricados por la industria, como los geosintéticos, productos de residuo, como las cenizas volantes y las escorias, y materiales locales, como los asfaltos naturales y algunas sales.

A. UTILIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN EL MEJORAMIENTO DE CAMINOS

Los geosintéticos son productos de forma diversa elaborados con material polimérico, que tienen diferentes aplicaciones en trabajos de ingeniería civil. Abarcan un amplio rango de familias, incluyendo geotextiles, geomallas, geoceldas, geomembranas y geodrenes. La utilización en la construcción vial, bien puede ser para producir una mejora temporal en términos de proporcionar una plataforma de trabajo estable para los equipos durante la construcción, o bien para mejorar a largo plazo la integridad estructural del camino.

²⁷ Este caso normativo de éxito en Ciudad de México se puede consultar en Secretaría del Medio Ambiente (2021).

Un geotextil puede fungir simplemente como capa de separación para prevenir la migración de finos de la subrasante a las capas superiores o como elemento de drenaje y filtro, caso en el que sus propiedades se deben escoger teniendo en mente esta situación, pero tanto un geotextil como una geomalla o un sistema de confinamiento celular (geoceldas) pueden actuar como verdaderos refuerzos. En tal caso, sus características deben estar ajustadas para cumplir esta función, y el proveedor debe suministrar un producto que produzca suficiente fricción con el relleno y con el material subyacente para resistir apropiadamente los esfuerzos generados.

Los geotextiles no tejidos y las geomallas biaxiales usados en combinación con agregados pétreos minimizan la alteración de un suelo débil subyacente y permiten el acceso de los equipos de construcción a sitios que de otro modo resultarían inaccesibles. Además, reducen la magnitud de los esfuerzos sobre el suelo debido a la fuerza de tensión que ejerce el refuerzo y previenen la penetración de los granulares en su interior, reduciendo la cantidad requerida de agregado para mejorar la capacidad de respuesta de la subrasante.

Las geoceldas consisten en un sistema de confinamiento celular tridimensional, conformado por cintas de polietileno de alta densidad, aleaciones poliméricas o una combinación de ambas, unidas de manera que producen una estructura con un patrón similar a un panal de abejas al ser desplegadas sobre el terreno (ilustración 3.20). Las geoceldas se instalan y ejercen su función como parte de la estructura del pavimento. Una vez desplegadas, se rellenan con un material, que puede ser suelo, arena, grava, material reciclado, etc., dependiendo del tipo de aplicación. El mecanismo clave del sistema consiste en el confinamiento tanto lateral como vertical del suelo contenido entre sus cintas. Este confinamiento provee mayor trabazón y fricción entre las partículas contenidas que, luego de ser compactadas, ven disminuidas las probabilidades de acomodarse bajo la acción de las cargas.

ILUSTRACIÓN 3.20. EMPLEO DE GEOELDAS



Fuente: Cortesía de Cristian Camilo Calvache Revelo

Una alternativa interesante para enfrentar la necesidad de acceso de las comunidades rurales en toda condición climática consiste en el empleo de geoceldas rellenas con una mezcla de hormigón de alto asentamiento (125 mm a 150 mm) y una resistencia a la compresión del orden de 30 MPa. Tras el curado, esta combinación da como resultado un conjunto de bloques entrelazados dentro de las cintas poliméricas, ofreciendo una superficie uniforme y flexible, que puede hacer las veces de rodadura a un costo más bajo que el de las alternativas convencionales, a la vez que reduce los requisitos de mantenimiento rutinario y periódico (ilustración 3.21).

Debido a que las geoceldas se instalan generalmente sobre el suelo natural, la subrasante se encuentra menos protegida contra cargas excesivas y ello puede conducir a una vida útil de la estructura significativamente más corta que la de un pavimento convencional. El problema se puede exacerbar si la subrasante es débil, caso en el cual su mejoramiento mediante estabilización podría compensar favorablemente el costo de la construcción de capas granulares.

El método resulta muy llamativo para los caminos rurales por cuanto, salvo para la conformación del terreno de soporte, la construcción de la capa celular no exige el empleo de maquinaria pesada. Esto se debe a que las geoceldas se instalan manualmente y el hormigón se puede fabricar en mezcladoras portátiles y verter con ayuda de recipientes de poco volumen, lo que estimula el potencial del enfoque de construcción empleando mano de obra y ayudando así a los objetivos de alivio de la pobreza.

ILUSTRACIÓN 3.21. EMPLEO DE GEOELDAS RELLENAS DE MATERIAL GRANULAR Y HORMIGÓN



A. Geocelda rellena de material granular en carretera de Colombia



B. Sección de un camino rural después de ser tratado con geoceldas rellenas de hormigón en Kiribati

Fuente: Imagen A, cortesía de Leonardo Castro, B, Whalley (2016)

B. ESTABILIZACIÓN CON CENIZAS VOLANTES

En muchos países la ceniza volante se considera un estabilizante tradicional. Mientras la cal y el cemento hidráulico son productos manufacturados, la ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón en plantas termoeléctricas. Como sucede con otros subproductos, las propiedades de la ceniza varían significativamente, dependiendo del origen del carbón y de los pasos seguidos durante su combustión. La norma ASTM C618, especificación estándar para las cenizas volantes de carbón y puzolanas naturales crudas o calcinadas para uso en concreto²⁸, clasifica las cenizas volantes provenientes de la combustión de carbón en dos clases: la C, que es una combinación de puzolana y material autocementante, que, al combinarse con agua, produce una reacción cuyo resultado es una unión de las partículas, y la F, que es solamente una puzolana con una baja concentración de calcio disponible y a menudo requiere un activador, como cal o cemento, para iniciar el proceso de endurecimiento durante la estabilización. Tanto la puzolana de clase C como la de clase F tienen diferentes oportunidades de participación exitosa en la modificación y estabilización de suelos en aplicaciones viales.

Debido a la naturaleza compleja de la hidratación de las cenizas, las propiedades de las mezclas en las que intervienen no se pueden predecir solamente a partir de su composición química, por lo tanto, su utilidad en este campo se debe basar en las propiedades físicas de los materiales tratados con ellas. Las reacciones provocadas por la ceniza se producen más lentamente que las del cemento hidráulico, pero más rápidamente que las de la cal.

El uso de las cenizas volantes como estabilizante en vías rurales, aunque perfectamente válido, depende por completo tanto de la distancia a la que se encuentren los sitios de generación de la ceniza como de la disponibilidad real de este producto para la estabilización. Hace 50 años, por ejemplo, las cenizas volantes constituían en Colombia un desperdicio absolutamente incómodo para las plantas termoeléctricas, las cuales las cedían gratuitamente a quien las solicitara. Gracias a ello, se utilizaron con gran éxito hasta finales del siglo pasado tanto en la construcción de rellenos livianos como en la estabilización de gravas arcillosas mezcladas con cal en proyectos viales en la región central del país. Sin embargo, tras conocerse su valor para la industria del cemento y del hormigón, el producto no solo perdió su gratuidad, sino que, además, el volumen total generado (aproximadamente 150.000 toneladas anuales en promedio) (UPME y UIS, 2018) se encuentra comprometido en su mayoría con esta industria.

²⁸ El nombre original de la norma es *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*.

C. EMPLEO DE ESCORIAS

La escoria de alto horno se produce durante la fundición del hierro. Está formada por la combinación de los constituyentes silíceos del mineral de hierro con el flujo de piedra caliza. Aunque no es un producto cementante, contiene los mismos elementos del cemento hidráulico y posee propiedades hidráulicas latentes que se pueden desarrollar con la adición de cal u otro material alcalino. Su empleo como parte constituyente de una capa granular también es factible, ya que su textura rugosa le brinda un gran rozamiento interno y una elevada capacidad de soporte, aunque perjudica su trabajabilidad. El principal problema que plantea la escoria cristalizada para la elaboración de capas granulares de pavimentos es su falta de finos, la cual se acostumbra solucionar combinándola con un agregado fino calizo.

Si la escoria líquida que sale por el fondo del alto horno se apaga rápidamente usando grandes volúmenes de agua a alta presión, se produce un material arenoso conocido como escoria granulada de alto horno (granulated blast furnace slag [GBFS]). La GBFS es un material granular fino, cuyo tamaño nominal no excede por lo general 6 mm, con una densidad del orden del 60 % al 70 % de la densidad de la arena natural. Este material se puede emplear como agregado fino en capas de base y subbase y en rellenos seleccionados. Debido a sus propiedades puzolánicas, también es posible su empleo como estabilizante de capas granulares de pavimentos.

Las escorias de acería de horno de arco eléctrico, cuya materia prima para la fabricación de acero es la chatarra de hierro dulce o de acero, son de dos tipos: blancas y negras. Las primeras prácticamente no se han empleado en la construcción de carreteras, su uso ha sido como materia prima en sustitución de la marga en la fabricación de cemento. Las escorias negras, en cambio, se han empleado como aporte de hierro en fábricas de cemento en el proceso de fabricación del clínker, pero también como materiales para la construcción de terraplenes y capas de pavimentos flexibles, previa trituración, separación de metales y tamizado.

Los requisitos físicos de calidad que deben cumplir las escorias para su uso en la construcción de capas granulares son, en general, los mismos que se exigen a los agregados de procedencia natural. Sin embargo, el carácter expansivo que pueden manifestar, como resultado de la hidratación del óxido de calcio (cal) que contienen, puede causar deformaciones y agrietamientos prematuros en el pavimento, siendo necesaria la identificación previa de su potencial de expansión en la dosificación.

3.3.3.3.4 Mejora de caminos mediante el empleo de estabilizantes no tradicionales

Los estabilizantes no tradicionales²⁹ representan una tecnología emergente, aunque no necesariamente nueva. Los productos dentro de esta categoría están generando un creciente interés para el mejoramiento de las propiedades de ingeniería de materiales marginales, con especiales perspectivas en la construcción y el mejoramiento de caminos de bajo volumen de tránsito. Abarcan una amplia variedad de agentes químicos, que tienen diversa composición y manera de interactuar con los suelos y sobre los cuales hay un conocimiento muy limitado en lo que se refiere a sus mecanismos fundamentales de estabilización.

Dado que la mayoría de estos productos son formulaciones patentadas, su composición precisa no está a mano de quienes los aplican en los caminos. Este vacío en el conocimiento puede limitar el alcance de las aplicaciones, sobre todo si no se dispone de información clara y confiable en relación con los posibles impactos humanos y ambientales de cada uno de estos productos. Ese desconocimiento dificulta, además, la toma de decisiones en instancias en las que se requiere comparar ofertas competitivas.

Los estabilizantes no tradicionales se clasifican, principalmente, en función de sus componentes químicos primarios, sus mecanismos de estabilización y su idoneidad para el uso previsto. Esta clasificación tiene por objetivo facilitar la investigación, la transferencia tecnológica, la certificación de los productos, su clasificación para los diversos usos, la selección del tipo apropiado de aditivo y la transparencia en los procedimientos de adquisición por parte de las agencias de vialidad.

Los documentos técnicos más reconocidos sobre el tema acostumbran a agruparlos en siete categorías: iónicos, enzimas, lignosulfonatos, sales, resinas de petróleo, polímeros y resinas vegetales. Muchos de ellos incluyen aditivos secundarios, como surfactantes, catalizadores e inhibidores ultravioleta, así como productos cuya función es enmascarar el aditivo principal. Normalmente, en todos ellos hay un mecanismo primario dominante en la estabilización.

A diferencia de lo que ha sucedido con los estabilizantes tradicionales, los intentos por definir los mecanismos de refuerzo de los estabilizantes no tradicionales han sido limitados. La mayoría de las investigaciones de campo y laboratorio adelantadas para valorar la eficacia de estos productos se han centrado en la evaluación del desempeño, en lugar de enfocarse en la identificación de sus mecanismos de estabilización. Los resultados de las pruebas de laboratorio referentes a la estabilización con estos productos se refieren, por lo general, a resultados de ensayos mecánicos básicos o a la medida de sus propiedades índice. Posibles razones para ello han sido una falta general de comprensión de las aplicaciones de cada producto, un uso inadecuado de los aditivos con determinados suelos, suministros del producto faltos de homogeneidad, su aplicación o mezcla inadecuada con los suelos, así como información imprecisa o incompleta por parte de

²⁹ Ver Campagnoli Martínez y Sánchez Sabogal (2022).

los proveedores. Para conocer debidamente las aplicaciones apropiadas y las limitaciones de los estabilizantes no tradicionales es imprescindible, por lo tanto, entender los mecanismos fundamentales de estabilización de cada uno de ellos. El cuadro 3.8 presenta un resumen de los mecanismos primarios de estabilización y una evaluación de la idoneidad de las siete categorías de productos no tradicionales para la estabilización de suelos (Tingle et al., 2007).

CUADRO 3.8. MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN E IDONEIDAD PARA APLICACIONES DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Productos estabilizantes	Mecanismo primario de estabilización	Evaluación de la idoneidad			
		Compatibilidad con el suelo	Mejora de la resistencia	Estabilidad volumétrica	Impermeabilidad
Iónicos	Intercambio catiónico y floculación	Suelos finos	Baja-media	Baja-media	Baja-media
Enzimas	Encapsulación molecular orgánica	Suelos finos	Baja	Baja-media	Baja
Lignosulfonatos	Unión física/cementación	Suelos granulares	Media	Baja-media	Baja-media
Sales	Higroscopia/intercambio catiónico y floculación/cristalización y cementación	Todos	Baja-media	Baja	Baja
Resinas de petróleo	Unión física/cementación	Suelos granulares	Media	Media	Alta
Polímeros	Unión física/cementación	Suelos granulares	Media-alta	Media	Media-alta
Resinas vegetales	Unión física/cementación	Suelos granulares	Media-alta	Media	Media-alta

Fuente: Tingle *et al.* (2007)

A pesar de que muchos de los estabilizantes no tradicionales se ofrecen en el mercado desde hace más de medio siglo, las agencias viales se han mostrado reacias a su inclusión en sus especificaciones generales de construcción. Ello parece obedecer al hecho de que los experimentos llevados a cabo en tramos de prueba en algunos países del continente se han enfocado a evaluar el desempeño de los aditivos bajo un conjunto de circunstancias prefijadas, idénticas para todos ellos, lo que ha traído como resultado un número abundante de casos insatisfactorios, en lugar de realizarlos con la finalidad específica de identificar las condiciones límites del buen comportamiento de cada producto. Esto último hubiera permitido elaborar documentos de guía y especificaciones para el uso apropiado de cada uno. Las reticencias también pueden obedecer al elevado costo que implica eventualmente el uso y la aplicación de diferentes estabilizantes no tradicionales.

Entre los casos relevantes a mencionar está una prueba en caminos rurales realizado entre 2000 y 2001 por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay, con el apoyo del Banco Mundial. Su objetivo era definir la eficacia de nueve estabilizantes no tradicionales y establecer las diferencias en el desempeño de los diversos productos colocados bajo iguales condiciones ambientales y mezclados con diferentes tipos de suelos. Un informe, elaborado con motivo de una evaluación realizada año y medio después de construidos los tramos, indicó que las secciones estabilizadas con cuatro de los productos utilizados presentaban mejor desempeño, determinado a partir de una simple inspección visual y un par de pruebas mecánicas elementales (Brazetti, 2002). Es posible que la falta de éxito de los otros cinco no se haya debido a su carencia de idoneidad como estabilizantes, sino al hecho de que se emplearon para estabilizar suelos poco compatibles con ellos o porque se pretendieron alcanzar incrementos de resistencia que no tenían capacidad de suministrar.

Con un enfoque similar, a finales de 2017, se construyeron en el sur de Colombia varios tramos de prueba empleando nueve estabilizantes no tradicionales, de cuyo desempeño a mediano plazo se esperaba determinar cuáles estaban en condiciones de recibir el aval para intervenir en el futuro los caminos rurales por mejorar. En ninguno de los dos casos mencionados, las estabilizaciones recibieron un deseable tratamiento superficial de protección. Cabe mencionar que la precipitación media en la zona donde se construyeron los tramos de prueba colombianos excede los 3000 mm anuales.

También en 2017, en Uruguay se realizó una prueba sobre un sector vial con una extensión de 10,8 km, ubicado en el departamento de Paysandú. En él se realizaron aplicaciones de seis productos estabilizantes, cinco de los cuales calificaban como no tradicionales³⁰. Tal como preveía el protocolo de la prueba, la dirección de las obras de aplicación de cada producto fue realizada por los técnicos y encargados designados por las empresas proveedoras de los productos. El material sometido a estabilización fue una arena limosa, clasificada como SM en el sistema unificado y como A-1-b y A-2-4 en el método AASHTO. El control de desempeño de las capas construidas durante la etapa operativa se realizó únicamente a través de la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI), por cuanto se consideró que los deterioros que se presentaran en los tramos de prueba incidirían directamente sobre los valores de rugosidad. Al cabo del período inicial de observación de dos años, se encontró que solamente tres de los tramos estabilizados mantenían un IRI por debajo del máximo fijado como aceptable (8m/km). Aunque se menciona que una evaluación posterior determinará cuál es el producto que dé lugar a una mayor durabilidad, el hecho es que, al ser aplicados sobre un mismo tipo de suelo, es posible que alguno de ellos no presentara una adecuada compatibilidad, aunque tal vez ofreciera un mejor desempeño que otros al enfrentarse a suelos de otras características.

³⁰ Ver Oficina de Planeamiento y Presupuesto (2019).

En varios países del área se han venido emprendiendo iniciativas en un intento por superar esta falta de adecuada implementación. Una de estas iniciativas se refiere a la certificación de idoneidad, que implica revisar la investigación realizada sobre un aditivo específico y la documentación desarrollada a partir de ella. El objetivo de la revisión es determinar si existe información suficiente para que el gerente de un proyecto o el director de una agencia de vialidad adopte una decisión informada respecto a su uso como alternativa potencial para el diseño estructural de un camino o para su mantenimiento o mejoramiento.

Los sistemas de certificación también se pueden utilizar para garantizar que los aditivos cumplan ciertos estándares mínimos, en especial los relacionados con impactos ambientales potenciales. Como parte del proceso de revisión, se acostumbra realizar una serie de ensayos de control en el laboratorio. El procedimiento se basa en una metodología de evaluación, la cual proporciona a los usuarios potenciales, a los fabricantes y a los vendedores una medida del comportamiento del aditivo presentado en relación con el desempeño de una gama de aditivos alternativos, así como respecto de las especificaciones estándar de los aditivos convencionales. Además, la metodología de evaluación debe permitir la identificación de las fortalezas y limitaciones de cada aditivo, definiendo así sus aplicaciones realmente efectivas. Por último, debe facilitar el juicio sobre las ventajas económicas, ambientales y de ingeniería que representa el uso del aditivo que se propone como alternativa al empleo de otros productos más convencionales.

En Perú, para citar un caso, se publicó en 2004 una norma técnica sobre la estabilización química de suelos, la caracterización del estabilizador y la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado³¹. En 2005, el gobierno peruano adoptó también una directiva referente a la evaluación de la aplicabilidad de los estabilizadores de suelos³². Adicionalmente, en 2015 se aprobó un documento sobre soluciones básicas en carreteras no pavimentadas, donde se considera el empleo de estabilizantes no tradicionales³³. En Colombia, el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá ha generado varios documentos sobre el asunto. Uno de ellos, publicado en 2018, establece los criterios básicos para la presentación y eventual adopción de productos, técnicas o tecnologías innovadoras para el desarrollo de la infraestructura vial a cargo de la entidad³⁴.

A pesar de que en la actualidad existe una conciencia colectiva sobre la necesidad de proceder con cautela, algunas administraciones de vialidad de la región han optado por especificar el uso de aditivos no tradicionales. Por ejemplo, las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (MTC) incluyen una especificación sobre la construcción de capas estabilizadas con aditivos “de diversa índole,

³¹ Ver MTC (2004).

³² Ver MTC (2005).

³³ Ver MTC (2015).

³⁴ Ver Instituto de Desarrollo Urbano (2018).

resultantes de la fabricación industrial de productos químicos u orgánicos”. La norma exige que el producto escogido únicamente sea acorde al diseño de la mezcla (elaborado por el contratista y aprobado por el supervisor) y esté respaldado por una certificación del fabricante sobre su eficiencia, forma de uso, fecha de elaboración y vencimiento, garantizando, además, que la utilización del producto no implique riesgos de contaminación ambiental ni peligro para la salud de seres vivos. La especificación no incluye ninguna exigencia sobre durabilidad e impone el ensayo CBR³⁵ como medida única de resistencia. En Perú, además, se tiene un documento técnico de soluciones básicas en carreteras no pavimentadas, el cual incluye diferentes tipos de estabilizantes, como cemento, emulsión asfáltica, cal, sales, y productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)³⁶.

En 2022, el INVÍAS de Colombia incluyó en sus especificaciones generales de construcción una referente a la estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales, en la que describe cinco tipos. Esta especificación es muy limitada y deja los referentes de calidad que debe cumplir la mezcla al criterio de quien elabore los documentos del proyecto. Asimismo, es de señalar que las verificaciones de calidad de las mezclas se basan en un solo ensayo mecánico de resistencia, independientemente del tipo de aditivo, sin considerar el mecanismo primario de actuación específico de cada producto.

Finalmente, cabe reconocer que toda investigación en favor del uso de productos alternativos y no tradicionales para la estabilización del suelo merece el apoyo de las agencias de vialidad. Sin embargo, constituye un gran riesgo su adopción formal sin conocer debidamente el mecanismo específico de actuación de cada uno, los ensayos que verdaderamente valoran su eficiencia o los valores por satisfacer al realizar esos ensayos. También es arriesgado emplearlos cuando no se dispone del soporte de suficientes investigaciones independientes que avalen el buen comportamiento a medio y largo plazo de las estabilizaciones de las que han formado parte.

3.3.3.3.5 Mejora de caminos mediante el empleo de materiales locales

En varios países de la región se utilizan materiales locales existentes que se han estudiado y de los cuales se tienen valiosas experiencias. Es el caso de los llamados asfaltos naturales en Colombia, las lateritas y suelos lateríticos en Brasil y la tosca en Uruguay y Argentina.

³⁵ Por esta sigla inglesa de California Bearing Ratio (prueba de relación de carga de California) se conoce un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo a partir de la resistencia de las subrasantes y los materiales de la capa base.

³⁶ Ver MTC (2015).

A. ASFALTOS NATURALES

Los asfaltos naturales se emplean desde hace más de un siglo en Colombia en la construcción de capas superficiales. La heterogeneidad de los depósitos ha constituido siempre una dificultad para su selección y empleo eficiente. Sin embargo, con el paso de los años se ha ido mejorando el conocimiento sobre su manejo y, en algunos de los yacimientos de mayor volumen, se han establecido procedimientos idóneos de extracción, procesamiento y aplicación. En 2017, el INVÍAS adoptó tres especificaciones particulares referentes a su uso en pavimentos para vías de bajo volumen de tránsito (INVÍAS, 2018a, 2018b).

Los llamados asfaltos naturales se encuentran en la naturaleza en forma de impregnaciones viscosas en areniscas, aluviones y calizas. Estos asfaltos se han formado en la naturaleza por un fenómeno de migración ascendente de crudos de petróleo a través de grietas y rocas porosas, seguido o combinado con la volatilización de sus componentes más livianos y la consiguiente concentración de los compuestos asfálticos existentes en el crudo. De esta manera, se encuentran mezclados con menores o mayores proporciones de materia mineral (ilustración 3.22).

Existe una gran variabilidad en la composición y en las propiedades de los depósitos de asfalto natural dispersos por el mundo. En Colombia, los asfaltos naturales se han empleado desde hace más de 100 años en varias regiones, al comienzo con poco éxito, y se han logrado resultados cada vez mejores a medida que se han tecnificado progresivamente los procedimientos.

Desde el punto de vista de su interés para aplicación en carreteras, se pueden dividir en tres grupos: asfaltitas, asfaltos de lago y rocas asfálticas (conglomerados y morteros asfálticos). Mientras los dos primeros se usan como modificadores para incrementar la rigidez de cementos asfálticos refinados de baja consistencia, las rocas asfálticas, constituidas por lo general por areniscas, calizas y gravas conglomeráticas impregnadas de asfalto, se han empleado directamente o con alguna trituración y clasificación previa como capas de rodamiento en carreteras de medio y bajo tránsito y aeropuertos. Dada la variabilidad en su composición, su empleo satisfactorio ha sido el resultado de estudios, investigación y experiencias locales.

En Colombia el diseño y la práctica constructiva en la utilización de asfaltos naturales para la pavimentación se han ido mejorando progresivamente y actualmente se considera que el uso de asfaltos naturales es una tecnología satisfactoria y útil, especialmente en vías regionales y para algunas soluciones particulares en vías de alto tránsito.

ILUSTRACIÓN 3.22. USO DE ASFALTOS NATURALES EN COLOMBIA



A. Mina subterránea de asfalto natural en Pesca, Boyacá (Colombia)



B. Caminos pavimentados con asfalto natural



C. Mina de asfalto natural a cielo abierto y camino pavimentado en Colombia

Fuente: Imágenes A y B de Jhon Jairo Conde, imagen C, de Jorge Peña Caicedo

B. MATERIALES LOCALES MARGINALES

La disponibilidad de materiales idóneos para la construcción de pavimentos se ha visto cada vez más limitada tanto por su progresivo agotamiento como por las restricciones que han impuesto las normas ambientales de muchos países para su explotación. Dado que el transporte de materiales constituye uno de los costos más importantes en el desarrollo de esta actividad, la construcción y el mantenimiento económicos de los caminos rurales requieren el máximo uso posible de materiales que se encuentren en sus inmediaciones. En ese orden de ideas, el ingeniero debe identificar materiales locales adecuados, algunos de ellos considerados “marginales” para la construcción de vías de tipo superior, y decidir hasta qué punto pueden constituir un aporte favorable a las estructuras requeridas para soportar el tránsito en estos caminos. Esos materiales locales incluyen suelos y agregados que se pueden emplear en su condición natural y aquellos que puedan ser beneficiados con tratamientos de estabilización, como los mencionados con anterioridad.

Aunque a primera vista no lo parece, el nivel de atención y el juicio de ingeniería necesarios para la provisión óptima de caminos rurales deben ser mayores que los exigidos para las carreteras principales, cuyas normas y especificaciones se encuentran usualmente bien definidas. Al contrario del concepto tradicional que rige para estas últimas, según el cual el objetivo es buscar materiales que se adapten al diseño propuesto, la filosofía aplicable en los caminos rurales debe ser diseñar sus estructuras de manera que se adecúen a los materiales disponibles. En algunos casos, el problema se ha intentado resolver proponiendo rebajar las exigencias impuestas por las especificaciones a los resultados de los ensayos típicos utilizados para determinar la calidad de los materiales destinados a la construcción de los pavimentos de las vías de mayor tránsito, a la vista del aceptable comportamiento de algunos caminos rurales construidos con materiales de bajos estándares (Meyer y Wilson, 1987, Ruenkairergsa, 1987). Con un enfoque de mayor contenido de ingeniería, en otras regiones donde los materiales de calidad son bastante escasos, se ha intentado conocer mejor los materiales locales y su comportamiento geotécnico y, a partir de ese conocimiento, se han desarrollado prácticas idóneas de uso.

B1. LATERITAS Y SUELOS LATERÍTICOS

En los países del continente americano situados en la zona intertropical hay extensos y profundos depósitos de laterita y suelos lateríticos. Estos son los materiales más económicos y casi los únicos accesibles en muchas áreas, aunque no satisfacen las exigencias de las especificaciones corrientes sobre suelos y agregados pétreos para la construcción de carreteras. Los perfiles lateríticos con interés geotécnico se producen principalmente como lateritas (endurecidas) o suelos finos lateríticos (sin endurecer). Se trata de materiales residuales típicos de zonas bien drenadas de las regiones tropicales húmedas, resultantes de una transformación de la parte superior del subsuelo debido a un proceso de meteorización llamado laterización.

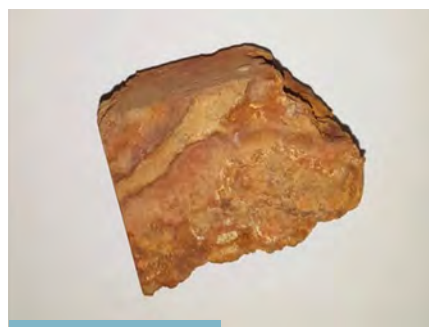
La formación de suelos tropicales es inicialmente producto de los procesos de intemperismo físico sobre los macizos de rocas constituidas por diferentes minerales, en presencia de acción y cambios de temperatura principalmente, produciendo fisuras o agrietamientos en el macizo. A lo largo del tiempo, la acción del agua, combinada con la temperatura, la evapotranspiración y la presencia de materia orgánica, producen el intemperismo químico, que da lugar a la presencia de agua acidulada, la cual traspasa el macizo por efecto de la percolación. En la parte superficial del estrato intemperizado se forman los suelos lateríticos, con presencia de óxidos minerales de sílice, hierro y aluminio, producto del proceso de laterización. Los restantes minerales que no quedan retenidos en la superficie (magnesio, calcio, potasio y sodio [Mg, Ca, K y Na]) continúan percolando y lixiviándose hacia capas subyacentes, que pasan a formar los suelos saprolíticos.

Las lateritas consisten en concreciones acompañadas de suelos finos lateríticos. Son materiales intensamente meteorizados, de los cuales se han removido los minerales solubles debido al proceso de laterización, y están enriquecidos por minerales de baja solubilidad, como óxidos de hierro y aluminio. Se forman en zonas con relieve horizontal sobre rocas ricas en hierro. La mayoría de las lateritas se encuentran en un estado endurecido, presentando una coloración roja, amarilla, marrón, púrpura u ocre, siendo el rojo normalmente el predominante³⁷ (ilustración 3.23). Aunque no satisfacen los criterios tradicionales de selección de materiales para su uso en la construcción de capas de pavimento, su comportamiento ha sido generalmente satisfactorio cuando se las ha empleado para este fin en América del Sur (Brasil, Bolivia, Paraguay y Perú), África y Asia.

ILUSTRACIÓN 3.23. LATERITAS EN ESTADO NATURAL



A. Con arena



B. Con arcilla



C. Camino en laterita arcillosa ubicado en Luziânia, Brasil

Fuente: Cortesía de Claudia Gómez Muñeton

Los suelos finos lateríticos, arcillosos o arenosos, se forman en condiciones menos severas de meteorización y se presentan en depósitos homogéneos en la superficie o en substratos. Desde el punto de vista geotécnico, se considera suelo fino laterítico aquel que se caracteriza por poseer un conjunto de propiedades que llevan a clasificarlo como suelo de comportamiento laterítico, según la clasificación MCT que se menciona a continuación.

³⁷ Ver Párraga Morales (2013).

Investigadores brasileños encontraron, hace varias décadas, que los métodos de clasificación AASHTO y USC, los más utilizados en el ámbito vial en el continente, no jerarquizan apropiadamente los suelos tropicales residuales. Así, por ejemplo, suelos finos lateríticos que se clasifican como A 7-5 y a los que la AASHTO asigna un desempeño entre regular y pobre como subrasantes, han presentado generalmente un buen comportamiento cuando se compactan debidamente. Considerando entonces que el uso de los sistemas tradicionales de clasificación generaba dificultades para establecer el comportamiento geotécnico laterítico, lo que llevaba al rechazo de materiales eventualmente utilizables, los expertos brasileños desarrollaron una metodología específica para clasificar los suelos tropicales, la cual separa claramente los lateríticos de los que no lo son. La metodología, llamada MCT (miniatura, compactado, tropical)³⁸, permite distinguir el comportamiento laterítico del que no lo es, posibilitando de esa manera una utilización más racional de estos materiales (Nogami y Villibor, 1994). Esta metodología, complementada con otros ensayos, ha permitido demostrar que los suelos lateríticos tienen propiedades que permiten su empleo en diversos trabajos de pavimentación, ya que es posible simular las condiciones de trabajo de las capas compactadas de estos suelos a través de sus propiedades mecánicas e hidráulicas. Gracias a ella, ha sido posible el empleo satisfactorio de suelos lateríticos en diferentes aplicaciones viales (Villibor et al. (2009). El Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes (DNIT) de Brasil ha normalizado tanto los ensayos como el método de clasificación, además, ha especificado el uso de los suelos lateríticos como parte integrante de estabilizaciones granulométricas para la construcción de capas de subbase y base³⁹.

B2. MATERIAL DE TOSCA

Otro ejemplo del uso exitoso de un material local en Sudamérica es el de la tosca en la pampa Argentina y Uruguay. Llamada por los geólogos roca sedimentaria carbonatada impura, un experto argentino la definió como “una concreción calcárea o calcáreo silíceo heterogénea, de color variado, que se originó en soluciones que impregnaron al loess pampeano y, por consecuencia, tiene proporciones de arena, arcilla y a veces partículas o rodados de otras rocas, presentándose en bancos, ora compactos, ora incoherentes y también formando nódulos o muñecas aisladas” (Monteverde, 1952). Su empleo en la construcción de capas de rodadura granulares viene de antaño. Un informe de 1947 menciona que el uso de la tosca había sido intenso en la construcción de bases, lo que había “traído una apreciable disminución en los costos de las obras camineras, ya que con ellos se eliminaron los transportes largos y costosos que hubieran sido necesarios de usarse otro tipo de construcción” (Courreges *et al.*, 1947). Su utilización no solo se limitó a la construcción de capas granulares, sino que, desde los años cincuenta se extendió a la manufactura de mezclas asfálticas en caliente “para solucionar, con urgencia y dentro de los medios disponibles,

³⁸ Según Nogami y Villibor (1994), entre los principios fundamentales que dan lugar al desarrollo de la metodología MCT, está la necesidad técnica de encontrar un método o tecnología que permita diferenciar el suelo laterítico de prestaciones aptas para pavimentación y los suelos saprolíticos de menores prestaciones físico-mecánicas para su utilización en la infraestructura vial.

³⁹ En la Norma DNIT 139/2010 – ES (IPR, 2010) y la Norma DNIT 098/2007 (IPR, 2007).

el refuerzo de los caminos de acceso a la Capital Federal” (Ruiz, 1969). Sus propiedades y su comportamiento han sido ampliamente estudiados desde entonces y actualmente su empleo en la construcción, tanto de capas granulares como asfálticas, se encuentra debidamente especificado en aquella zona del continente (Vialidad Nacional, 1998).

3.3.3.3.6 Residuos, subproductos industriales y otros materiales no estándar

La lista de materiales potencialmente utilizables es, al menos en teoría, casi ilimitada. Se pueden citar, sin carácter limitante, los residuos de procesamiento térmico, los residuos y subproductos de las industrias del acero, del cemento y la cal, así como materiales resultantes de la combustión del carbón en plantas de energía térmica o de la incineración de residuos sólidos, también, se incluyen las escorias de alto horno y de acería y las cenizas volantes, mencionados antes. Además, están los residuos de minería o de canteras, los de la industria del papel, los neumáticos fuera de uso, el vidrio y los plásticos. Algunos de ellos se pueden usar (y de hecho se han empleado) en capas estructurales de pavimentos, en tanto que otros se pueden emplear (y se han empleado) en capas inferiores de soporte o como modificadores o estabilizadores de suelos naturales. También, se investiga la utilización de residuos de la agroindustria (caña de azúcar, arroz, café, uva, madera, soya, etc.).

En el caso de los residuos y los subproductos industriales, el tipo y la cantidad que se puede emplear en la construcción de carreteras depende de la producción local, del tipo de industria existente en el país y, sobre todo, de su disponibilidad.

El aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso (NFU) abarca tres tipos de tratamientos: reencauche, valorización energética y reciclado para la fabricación de nuevos productos. En relación con el reciclado, los neumáticos se pueden utilizar sin procesar o reducidos de tamaño. Para la reducción, los métodos varían entre totalmente mecánicos y los que combinan tratamientos mecánicos con químicos o térmicos. En el campo específico de la construcción vial, los NFU se han empleado en estructuras de contención y en la fabricación de elementos de seguridad vial y pantallas antirruído, mientras su aplicación más extendida ha sido en forma de granulados y polvo para la fabricación de mezclas del tipo asfalto-caucho, cuyo beneficio técnico es su gran resistencia a la tensión y a la fatiga. Normalmente, este tipo de mezcla asfáltica se encuentra fuera del alcance de los caminos rurales.

En relación con el vidrio y el plástico reciclados, los centros de acopio y procesamiento se suelen encontrar en cercanías de centros urbanos de importancia y, por lo tanto, muy alejados de la mayoría de los caminos rurales. El uso del plástico reciclado en las carreteras latinoamericanas se ha limitado hasta ahora a proyectos menores de experimentación, principalmente de tipo académico. En cuanto al vidrio reciclado, es poco probable que su uso progrese en la pavimentación de caminos, sobre todo en los rurales, considerando el contexto del fuerte liderazgo

que está proporcionando la industria del vidrio en todos los países hacia un sistema de reciclaje de ciclo cerrado, que mantiene eficazmente en la industria todo el vidrio derivado de desechos.

De lo expuesto se deduce que, si bien la lista de subproductos industriales y de otra índole es amplia y aparentemente llamativa, las posibilidades de uso de la mayoría en trabajos de mejoramiento o mantenimiento de caminos rurales son limitadas por el momento. Pero no por ello se les debe cerrar la puerta. Las investigaciones se deben centrar en aquellos materiales que se consideren eficientes, ambientalmente aceptables y sobre todo suficientes. Es importante, como primer paso, hacer en cada país un inventario completo de los posibles subproductos y materiales de desecho realmente utilizables para la construcción y la conservación vial y mantenerlo actualizado. No basta con que los materiales existan si ya están comprometidos para otras aplicaciones, como se mencionó anteriormente en el caso del vidrio. Cada material tiene propiedades únicas que se deben investigar debidamente para beneficiar sus usos de manera óptima. Muchos de estos materiales se pueden emplear combinados con otros productos locales, siendo necesario realizar estudios con las diversas combinaciones debido a la variabilidad en las propiedades de los materiales naturales locales. Para adelantar este trabajo, las agencias de vialidad podrían contar con universidades y centros de investigación reconocidos en la búsqueda de soluciones cuya implementación es viable.

En relación con otros materiales no estándar, la lista puede resultar aún más larga que la de los subproductos. Para el mejoramiento del terreno en zonas de baja capacidad portante o con problemas de drenaje, se ha probado, por ejemplo, el empleo de geotextiles de fibras de yute o de coco en diferentes ambientes de Asia (ilustración 3.24), con resultados positivos y amplios beneficios económicos en los caminos rurales.

ILUSTRACIÓN 3.24. INSTALACIÓN DE UN GEOTEXTIL DE FIBRA DE COCO COMO CAPA DE SEPARACIÓN ENTRE UNA SUBRASANTE BLANDA Y EL MATERIAL GRANULAR EN UN CAMINO RURAL DE LA INDIA



Fuente: NRRDA (2021)

La búsqueda desmedida de alternativas a los materiales tradicionales de construcción ha llevado, desafortunadamente, a fracasos y no solo en caminos de menor importancia, sino también en vías de muy alto tránsito. Un producto de baja resistencia a la abrasión y casi nula a la erosión, llamado relleno fluido, se utilizó como capa de base de un pavimento rígido con motivo de la reconstrucción de los pavimentos de dos importantes avenidas de Bogotá para habilitarlos al sistema local de transporte masivo. El producto se degradó intensamente de manera prematura por acción del bombeo y causó la destrucción de una gran cantidad de losas del pavimento. En relación con el caso, la Sociedad Colombiana de Ingenieros (2004) afirmó que “todas las evidencias señalan al relleno fluido como responsable de las fallas por su propia degradabilidad, acelerada por la acción combinada del agua y las vibraciones inducidas por las cargas repetitivas de variada intensidad debidas al tráfico”. Fueron los contribuyentes quienes finalmente asumieron el costo de las reparaciones.

El empleo de recursos más eficientes y la adopción de tecnologías innovadoras y procesos más limpios en la construcción y mantenimiento de los caminos, con el fin de sumar fuerzas a la hora de impulsar prácticas más sostenibles ambiental, social y económicamente, ha traído como consecuencia un especial interés por la modificación de suelos y materiales locales de baja competencia. La finalidad era transformarlos en materiales idóneos como soporte o parte estructural de los caminos, con énfasis en los rurales. La literatura técnica, cada día más abundante y al alcance de todos, presenta técnicas variadas para la modificación o estabilización de suelos mediante el uso de residuos orgánicos y nuevos aditivos no convencionales en todos los rincones del planeta. Al respecto, es de indicar que la lectura detallada de esta información lleva a la conclusión de que la mayor parte de los estudios sobre el tema no tiene el sustento de investigaciones suficientes en el laboratorio y, sobre todo, de su comportamiento in situ a mediano y largo plazo.

Dada la gran cantidad y variedad de posibilidades, se requiere actuar con extrema cautela antes de adoptar cualquiera de ellas. En ese orden de ideas conviene, ante todo, revisar el estado del arte y de la práctica en relación con cada producto, con el fin de establecer las condiciones bajo las cuales una determinada metodología innovadora puede resultar aplicable, así como identificar los motivos por los que el uso de algunas ha derivado en obras de comportamiento y durabilidad deficientes. A partir de este conocimiento, y luego de una investigación rigurosa de campo y laboratorio que permita comprobar sus bondades y limitaciones, estas tecnologías no normalizadas podrían ser empleadas de forma confiable en el mejoramiento de los caminos rurales. La implementación de este tipo de prácticas novedosas se debe hacer sin afanes, de manera progresiva y sustentada siempre por criterios completamente objetivos que justifiquen su utilización.

La implementación de alternativas innovadoras o sostenibles debe seguir las mejores prácticas internacionales, con ensayos, monitoreo y evaluación apropiados. Hay que aplicar métodos de prueba y constructivos similares a los empleados internacionalmente para asegurar que se mantienen los principios fundamentales. Antes de ser seleccionadas, esas alternativas deben cumplir un largo recorrido de investigación, siguiendo los protocolos que al efecto han venido implantando algunas agencias viales de la región. Estos protocolos consideran, por lo general, las siguientes etapas:

- i. etapa de presentación, en la que el interesado ofrece el producto, la técnica o la alternativa innovadora o sostenible,
- ii. etapa de presentación formal, donde las propuestas que fueron aceptadas tras las evaluaciones de la primera etapa se deben completar con información detallada sobre el producto, la técnica o tecnología a través de notas de presentación y de satisfacción de agencias de vialidad reconocidas, guías, manuales, especificaciones nacionales o internacionales, etc., así como un análisis de su presumible viabilidad económica y ambiental,
- iii. etapa de investigación en el laboratorio, que incluye pruebas mecánicas y demás necesarias, que permitan predicciones de comportamiento sobre los productos y sistemas que superaron la segunda etapa,
- iv. pistas de prueba piloto a pequeña escala para evaluar los métodos de construcción y control, así como el comportamiento a corto plazo del material ofertado,
- v. tramos de prueba a escala real, con seguimiento de su comportamiento, para verificar si realmente se cumplen los resultados de las evaluaciones satisfactorias de las dos etapas anteriores,
- vi. finalmente, se deberá llevar a cabo una evaluación final del material o técnica propuestos para validar los métodos y especificaciones correspondientes y adoptar la alternativa innovadora o sostenible.

A nivel internacional se han llevado a cabo importantes investigaciones, financiadas por organizaciones gubernamentales, la banca multilateral y organismos de cooperación, con algunas de las técnicas y productos innovadores que hoy se ofrecen en el mercado y cuyo uso en la construcción de carreteras ha sido probado suficientemente. En el caso de que alguno de estos sea propuesto a las agencias de vialidad de la región, posiblemente no sea necesaria una investigación completa como la descrita anteriormente. Bastaría con llevar a cabo la implementación de la experiencia internacional en ambientes similares, con secciones de demostración para confirmar que dicha experiencia resulta aplicable, técnicamente válida, rentable y ambientalmente amigable en las condiciones particulares del país donde se implemente.

3.3.3.4 PAVIMENTOS MIXTOS

Los pavimentos mixtos, conformados por la combinación de soluciones flexibles o rígidas, son de uso especialmente regional o local. Entre ellos se puede mencionar la denominada placa huella en Colombia o huella placa en México. En esta clase se pueden incluir, además, los empedrados con capas asfálticas superficiales.

3.3.3.4.1 Placa huella o huella placa

Las placas huellas, llamadas en inglés “*concrete strip roads*”, han sido, tradicionalmente, soluciones económicas y duraderas para todo tipo de clima, especialmente empleadas para accesos a fincas, condominios campestres y zonas rurales. La idea básica consiste en un par de franjas longitudinales de hormigón simple o piedra, colocadas como pistas para la circulación de las ruedas de los vehículos. Su construcción se realiza sin el uso de equipos costosos o sofisticados y empleando mano de obra comparativamente no calificada (Cement & Concrete SA (2021) (ver la ilustración 3.25).

ILUSTRACIÓN 3.25. SOLUCIÓN TRADICIONAL DE PLACA HUELLA



A. Placa huella en la carretera Bago – Talawanda (Tanzania)



B. Huella en ladrillo camino del Municipio de Tabio (Colombia)

Fuente: Imagen A, Bishop y Jinadasa (2014), imagen B, elaboración propia

En Colombia, sin embargo, este modelo elemental se ha venido sofisticando en grado sumo en los últimos años, al punto de haberse convertido en uno de los proyectos bandera del INVÍAS. Aunque en su concepción actual el pavimento propiamente dicho comprende solamente las huellas por las que circulan las ruedas de los vehículos, lo que le ha permitido conservar el nombre, ahora la separación entre las franjas de concreto se rellena con una masa de piedra pegada (concreto ciclópeo). Además, dependiendo del ancho de la vía, se construyen cunetas y

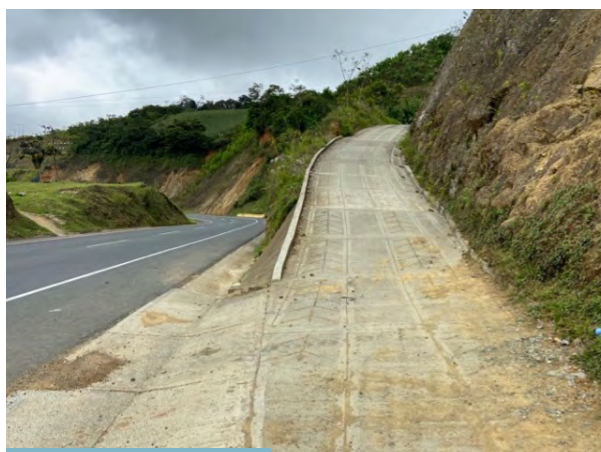
bordillos en hormigón para proveer un adecuado sistema de drenaje superficial. Adicionalmente, si se requiere que haya separación entre la parte exterior de cada placa-huella y la cuneta, se debe rellenar también con piedra pegada. El sistema se complementa con unas vigas transversales reforzadas (riostras), cuya función es confinar transversal y longitudinalmente los elementos del pavimento que se construyen sobre la subbase (placas-huella, piedra pegada, berma-cuneta y bordillo). El resultado, si bien es muy estético (ilustración 3.26) se aleja bastante de la modestia y de la economía ancestral de la placa huella y más bien trae a la memoria la magnificencia de las calzadas romanas (Sánchez Sabogal, 2022).

La sofisticación del producto ha llegado al punto de que el INVÍAS (s. f.) elaboró una guía para su diseño, en la que se describen las características de los materiales y las dimensiones de los elementos que la componen.

ILUSTRACIÓN 3.26. PLACA HUELLA EN COLOMBIA



A. Placa huella en proceso constructivo



B. Placa huella terminada

Fuente: Imagen A, cortesía de Ernesto Puyana, B, elaboración propia

Aunque el sistema ha sido aceptado ampliamente por la comunidad rural colombiana, por cuanto permite la circulación del tránsito automotor en toda temporada, sobre todo en vías con pendientes longitudinales superiores al 10 %, y por el uso intensivo que se puede hacer de mano de obra local, el costo de este modelo sofisticado puede superar con amplitud el de otras alternativas de tipo más convencional. A ello se debe sumar el hecho de que el tránsito automotor se debe suspender durante buena parte del período de ejecución de la obra (ilustración 3.27), que generalmente es de varios meses⁴⁰. Por otra parte, es de resaltar que muchas veces se construyen en tramos de escasa longitud de decenas o algunas centenas de metros, lo cual solo resuelve la transitabilidad en un sector mínimo de la vía.

⁴⁰ En la vía de la vereda Salitre Alto, en el municipio colombiano de Tabio, la construcción de 80 metros de placa huella mantuvo la carretera sin servicio al tránsito durante tres meses en el sector (información verificada personalmente en el sitio).

ILUSTRACIÓN 3.27. CONSTRUCCIÓN DE UNA HUELLA-PLACA EN MÉXICO



Fuente: Garnica Anguas y Martínez Almeida (2023)

3.3.3.4.2 Empedrado con concreto asfáltico

Los caminos empedrados son incómodos para la circulación vehicular y, a su vez, generan ruido que ocasiona molestias a los usuarios. Por estos motivos y por la baja velocidad de operación, cuando se produce un incremento de la cantidad diaria de vehículos, una opción aceptable consiste en la colocación de una carpeta asfáltica sobre el empedrado (ilustración 3.28). Para evitar la reflexión de la discontinuidad del empedrado se suele acondicionar encima de este una capa granular de material seleccionado. Esta es una solución técnica conocida y aplicada en varios países, entre ellos Brasil y Paraguay. Por su conformación, la estructura de empedrado-capasfáltica se puede considerar como un pavimento mixto.

ILUSTRACIÓN 3.28. MEJORAMIENTO FUNCIONAL DEL EMPEDRADO CON CAPA ASFÁLTICA SUPERFICIAL EN BRASIL



A. Restauración sobre empedrado



B. Experiencias en Caucaia y Fortaleza

Fuente: Imagen A, cortesía de Aislan Buhler, imágenes en B, CAF

3.3.3.5 CAMINOS PAVIMENTADOS CON TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES

La decisión de pavimentar los caminos pretende mejorar sus condiciones físicas y operacionales, de tal manera que aseguren a las comunidades rurales la transitabilidad permanente y la movilidad cómoda y segura. También buscan permitirles el acceso oportuno a bienes y servicios, así como promover su prosperidad y crecimiento económico, contribuir al bienestar social y mejorar su calidad de vida, todo en armonía con los requerimientos ambientales. Desde el punto de vista técnico, se trata de adecuar la capacidad estructural de las calzadas y la funcionalidad debida de la superficie de rodadura. Siempre que se decida la pavimentación formal de un camino, el proyecto deberá tener el sustento de un estudio de ingeniería, donde se apliquen métodos de dimensionamiento idóneos y conformes con la normatividad vigente en las diversas agencias de vialidad.

Mejorar mediante un pavimento convencional las condiciones de un camino rural genera beneficios inmediatos para la administración, los usuarios y los habitantes del entorno:

- Para la administración, por cuanto reduce los costos de mantenimiento derivados de las operaciones rutinarias de bacheo y perfilado, así como las actividades periódicas de adición de material granular. En las zonas tropicales andinas, por ejemplo, las lluvias y las altas pendientes hacen que las calzadas no pavimentadas sufran un deterioro acelerado y las inversiones en mantenimiento se pierdan en lapsos tan cortos que las comunidades no llegan a disfrutar de los beneficios del mejoramiento en las condiciones de movilidad.
- Para los usuarios, en la medida que el mejoramiento reduce los tiempos de recorrido y los costos de operación vehicular y de acceso a los mercados de productos e insumos, también, asegura condiciones de acceso prácticamente permanentes, superando el problema pendular de las temporadas de polvo y barro, y mejora la seguridad vial al disminuir o eliminar el polvo provocado por la circulación de los vehículos, el cual produce deficiencias de visibilidad que, en no pocas ocasiones, ha dado lugar a accidentes de variada gravedad.
- Para los habitantes del entorno, dado que la disminución o eliminación del polvo generado por el tránsito automotor favorece su salud y la de sus semovientes y la higiene doméstica. También, aumenta los niveles de producción agrícola y posibilita mayores ingresos totales y mejores indicadores de acceso a servicios de educación y salud, en particular para niños y mujeres.

Para que el mejoramiento de un camino rural mediante pavimentación sea exitoso, deberá estar perfectamente adaptado a su problemática específica. El número de técnicas de mejoramiento que ofrece hoy día la literatura técnica, tanto para corregir deficiencias funcionales como estructurales de los caminos, es casi ilimitado. Aunque la mayoría son de tipo universal, al mercado salen cada día más productos que, presumiblemente, igualan o mejoran las prestaciones de los

materiales convencionales. El problema de la gran mayoría de ellos es que, como se mencionó antes, su efectividad y eficiencia no están validadas por investigaciones independientes, ni han sido normalizados por departamentos de vialidad y transporte de reconocido prestigio. Las valoraciones sobre su eficacia y eficiencia han dado resultados muy variados. Incluso se conocen casos en los que el efecto fue reversible a los pocos meses de su aplicación. En consecuencia, la solución mejor o de mayor pertinencia para un camino rural puede ser una solución universal o una innovadora que cuente con los antecedentes suficientes que permitan garantizar un comportamiento estructural y funcional equivalente a la universal, a un costo similar o inferior durante el ciclo de vida previsto.

RECUADRO 3.3. MODELO PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE LA PAVIMENTACIÓN DE CAMINOS RURALES

El Banco Mundial dispone de un modelo, denominado SPADE-PLUS, mediante el cual considera de manera holística las diferentes variables que afectan la decisión de pavimentar un camino rural, manteniendo una justificación económica. SPADE-PLUS es un enfoque secuencial de dos etapas, que combina el modelo SPADE (acrónimo inglés del concepto modelo de decisión sobre pavimentación sistemática) con el modelo de decisión económica (RED, por sus siglas en inglés) o un análisis de costo-efectividad (ACE).

En la primera etapa, el modelo SPADE incorpora 41 factores agrupados en cinco categorías: contexto del país, contexto de la región, entorno operativo, contexto vial y contexto de ingeniería, asignando un puntaje a cada factor. La ponderación de los puntajes da lugar a la calificación de prioridad de pavimentación (PPS, por sus siglas en inglés), cuyo valor indica si no hay justificación convincente para pavimentar el camino ($PPS \leq 50$), si es recomendable un tratamiento relativamente económico (tratamiento superficial, sello de Otta, etc.) ($51 \leq PPS \leq 70$) o si hay una justificación convincente para la pavimentación formal ($PPS > 70$), debiendo considerarse en este último caso el menú completo de opciones de pavimento.

En la segunda etapa, los caminos que han pasado la priorización de pavimentación SPADE con una calificación de prioridad media o alta son objeto de un análisis económico, empleando el modelo RED (derivado del HDM-4^a) o un ACE. El Banco Mundial propone utilizar el primero cuando el tránsito promedio diario del camino objeto de análisis es al menos de 200 vehículos y el ACE cuando es menor.

^a El cuarto HDM (Highway Development and Management Model) es una herramienta para el análisis técnico y económico de programas de obra y proyectos relacionados con la construcción.

Fuente: Banco Mundial (s. f.)

Los tipos de pavimentos más utilizados por su pertinencia en cuanto a conocimientos técnicos y experiencias, disponibilidad de materiales y equipamiento, costos y aceptación por parte de los usuarios son:

- Flexibles.
- Semirrígidos o semiflexibles.
- Rígidos.
- Con adoquines.

3.3.3.5.1 Pavimentos flexibles

Se denominan también pavimentos asfálticos por el uso de productos asfálticos en la superficie de rodadura. Generalmente constan de: i) una estructura de material granular seleccionado (capas subbase y base) o con ligantes asfálticos, que se apoyan sobre el terreno natural o subrasante, y, ii) una capa de rodadura diseñada y elaborada con material asfáltico, que, por lo general tiene simultáneamente fines estructurales y funcionales o una superficie de rodadura que solo cumple fines funcionales.

Son de amplia utilización a nivel mundial y constituyen una solución técnica que integra las capas estructurales y la capa de rodadura, la cual también puede ejercer una función estructural si así lo establece el diseño (se pueden ver ejemplos de uso en la ilustración 3.29).

ILUSTRACIÓN 3.29. CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES EN COLOMBIA



Fuente: Elaboración propia

Los comportamientos estructural y funcional de los pavimentos flexibles para soportar debidamente la acción del tránsito y de las condiciones climáticas dependen esencialmente de: i) el tipo y la calidad de la subrasante, ii) los materiales y los espesores que constituyen las capas estructurales, iii) el tipo y espesor de la capa de rodadura, y iv) la configuración y el funcionamiento del sistema de drenaje. Además, son factores de consideración el entorno próximo de las zonas laterales y, de manera especial, la suficiencia y eficiencia de la conservación rutinaria y periódica⁴¹. Al respecto, se debe entender “conservar” según la definición de la Real Academia Española (RAE): “mantener o cuidar de la permanencia o integridad de algo o alguien”.

La tecnología de los pavimentos asfálticos permite el uso de una gran variedad de capas de rodadura. Aparte de los tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y micropavimentos mencionados con anterioridad, en los pavimentos de las vías rurales existe la posibilidad de emplear mezclas, si así lo validan tanto los diseños de ingeniería como las evaluaciones de tipo social, económico y ambiental.

Existen dos grandes familias de mezclas asfálticas para pavimentación: las mezclas en caliente, que se fabrican con asfaltos de penetración, y las mezclas en frío, elaboradas a partir de emulsiones asfálticas, todas ellas respaldadas por especificaciones validadas y aceptadas internacionalmente. Entre las mezclas en caliente se pueden distinguir, según la granulometría de los agregados que las constituyen, las densas, semidensas, gruesas y abiertas, así como las drenantes y los microaglomerados en caliente, en tanto que las mezclas en frío suelen ser de tipo denso o abierto.

Aunque las mezclas constituyen las capas de máxima calidad en los pavimentos asfálticos, siempre que se persiga la eficiencia en su aplicación, se debe tener en cuenta que su empleo en vías de baja intensidad de tránsito, como es el caso de los caminos rurales, puede revestir peligros de tres tipos (del Val Melús y Bardesi Orúe-Echavarría, 1992):

- De tipo económico. Las mezclas asfálticas son unidades de obra de alto costo que solo se suelen justificar para intensidades de tránsito apreciables. El empeño por emplearlas en cualquier tipo de camino sin una adecuada justificación puede desequilibrar un presupuesto, llevando a prescindir de otras partidas de trabajo importantes (sistemas de drenaje, por ejemplo).
- De tipo estructural. Dadas las características estructurales habituales de los pavimentos de los caminos rurales (espesores reducidos de capa de rodadura), conviene proyectar mezclas especialmente flexibles. La apreciable rigidez de algunas mezclas asfálticas, sobre todo elaboradas en caliente, lleva al desarrollo de agrietamientos prematuros siempre que se colocan sobre soportes relativamente flexibles.

⁴¹ En general, en la terminología internacional se denominan mantenimiento rutinario o mantenimiento rutinario preventivo y mantenimiento periódico, referidos a intervenciones de reparación y recuperación de condiciones funcionales de los elementos del camino.

- De tipo funcional. Las mezclas asfálticas proporcionan capas de rodadura muy cómodas y agradables que pueden propiciar el desarrollo de altas velocidades vehiculares, sin posibilidad de ofrecer una seguridad suficiente cuando el trazado es sinuoso. Este peligro existe, por supuesto, en cualquier tipo de pavimento que se construya en un camino rural.

A estos tres peligros se puede agregar un inconveniente específico de las mezclas densas elaboradas en frío. Su empleo resulta problemático en zonas húmedas y lluviosas, típicas en algunos países tropicales, por cuanto el camino solo se puede abrir al tránsito cuando las mezclas han alcanzado una resistencia suficiente. Este proceso, llamado maduración, consiste en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión y es relativamente lento, debido a que la granulometría cerrada del agregado hace que la mezcla tenga muy pocos vacíos con aire.

3.3.3.5.2 Pavimentos semirrígidos o semiflexibles

Se denominan así aquellos cuya estructura está constituida por capas de materiales estabilizados y una capa o tratamiento asfáltico.

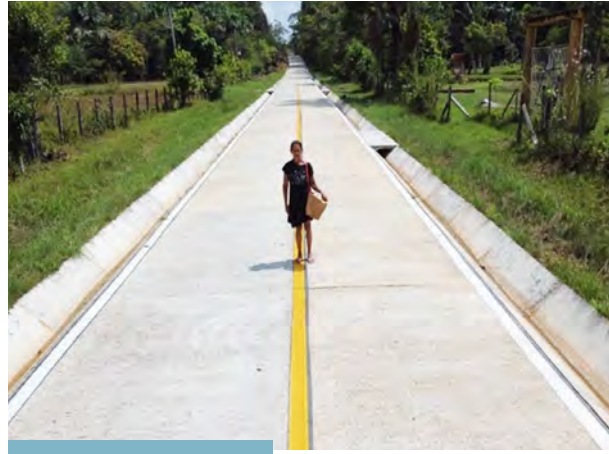
Este tipo de pavimentos se utiliza especialmente cuando se carece de materiales granulares apropiados para conformar su estructura y en su lugar se emplean materiales estabilizados con cemento hidráulico, cal u otros aditivos. La capa o tratamiento asfáltico se coloca encima de la capa estabilizada.

3.3.3.5.3 Pavimentos rígidos

Una alternativa que siempre está presente en los planes de pavimentación es el empleo de pavimentos rígidos, diseñados y elaborados con placas o losas de concreto simple (hormigón hidráulico), apoyadas sobre la subrasante o una capa de material seleccionado (de los que se muestran ejemplos en la ilustración 3.30). Estos pavimentos tienen simultáneamente fines estructurales y funcionales.

Generalmente, se tienen condiciones favorables para su empleo cuando se dispone de fábricas de cemento hidráulico en la zona de interés de la pavimentación o existen ventajas en materiales, personal y economía durante la operación y construcción.

ILUSTRACIÓN 3.30. PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CARRETERA LETICIA-TARAPACÁ, DEPARTAMENTO DEL AMAZONAS (COLOMBIA)



Fuente: INVÍAS (2022)

3.3.3.5.4 Pavimentos con adoquines

Los llamados pavimentos con adoquines tienen una capa de rodadura constituida por bloques prefabricados de hormigón o ladrillo, de espesor uniforme e iguales entre sí. Están apoyados sobre la subrasante o sobre una capa granular, con la aplicación de una interfase de arena seleccionada. En libros y documentos técnicos, estos pavimentos también son denominados articulados o intertrabados, aunque no se tengan articulación o trabazón entre los adoquines.

Tienen especial aplicación en caminos situados en zonas urbanas y semiurbanas. En el caso latinoamericano los más empleados utilizan adoquines de concreto o de ladrillo.

A. ADOQUINES DE CONCRETO

Los antecedentes sobre el uso de adoquines prefabricados de concreto como capa de rodadura en caminos rurales en la región se remontan a 1972 en Nicaragua, tras el terremoto de Managua. Este sistema presenta algunas ventajas sobre las rodaduras tradicionales de hormigón, entre ellas el hecho de no experimentar fractura por fatiga, permitir una apertura al tránsito inmediata tras su construcción, ser insensible a los cambios de temperatura, ser fáciles de reemplazar cuando se deterioran y ofrecer la posibilidad de su reutilización. Sin embargo, también presentan algunas limitaciones, como el hecho de requerir un confinamiento efectivo y un mantenimiento rutinario y periódico mayor. Su principal desventaja operativa como calzada para el tránsito

vehicular es que la innumerable cantidad de juntas que contienen hacen ruidosa y generalmente poco confortable la circulación vehicular. Si bien su uso como capa de rodadura no está vetado para un camino rural (ver la ilustración 3.31), solo se suele recomendar en zonas donde se compruebe que sus beneficios superan ampliamente las desventajas.

ILUSTRACIÓN 3.31. CAMINO RURAL EN PAVIMENTO CON ADOQUINES DE CONCRETO EN PARAGUAY



Fuente: Cortesía de Fernando Paniagua

Aunque la posibilidad de construir y mantener el pavimento con adoquines sin necesidad de equipo costoso y empleando mano de obra local no calificada hace muy atractivo su empleo en zonas rurales, muchos de estos pavimentos han fallado prematuramente. La razón es que se ha considerado, equivocadamente, que su diseño y construcción no requieren la aplicación de principios de ingeniería, siendo frecuente la carencia del primero y la ausencia de control de calidad en cuanto a los materiales y la ejecución de las obras, a pesar de que sus características y su procedimiento constructivo se encuentran completamente especificados. Si se aplica con rigor la buena práctica de ingeniería, se lograrán construir fácilmente pavimentos con adoquines resistentes y durables. Al respecto, son de resaltar, para este caso, las metodologías más utilizadas y aplicadas internacionalmente:

- La ASCE 58-10, de la American Society of Civil Engineers Transportation & Development Institute Standard: *Structural design of interlocking concrete pavement for municipal streets and roadways* (Diseño estructural de pavimento de hormigón intertrabado para calles y calzadas municipales).

- La BS 7533-2, del British Standards Institution (BSI). *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers – Part 2: Guide for the structural design of lightly trafficked pavements constructed of clay pavers or precast concrete paving blocks* (Pavimentos construidos con adoquines de arcilla, piedra natural u hormigón - Parte 2: Guía para el diseño estructural de pavimentos sometidos a tránsito liviano, construidos con adoquines de arcilla o adoquines prefabricados de hormigón).
- Normativas y ensayos internacionales para adoquines de hormigón o concreto: ASTM C 936-08, ASTM C 1645-09 y ASTM E 284-11.

En la ilustración 3.32 se muestran pavimentos con adoquines de hormigón en caminos situados en Brasil y Nicaragua.

ILUSTRACIÓN 3.32. PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE HORMIGÓN EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA



A. Pavimentos de adoquines de hormigón en Caucaia (Brasil)



B. Pavimentos de adoquines de hormigón en Nicaragua

Fuente: Imágenes en A, CAF, imágenes en B, cortesía de Carlos Useda

B. ADOQUINES DE LADRILLO

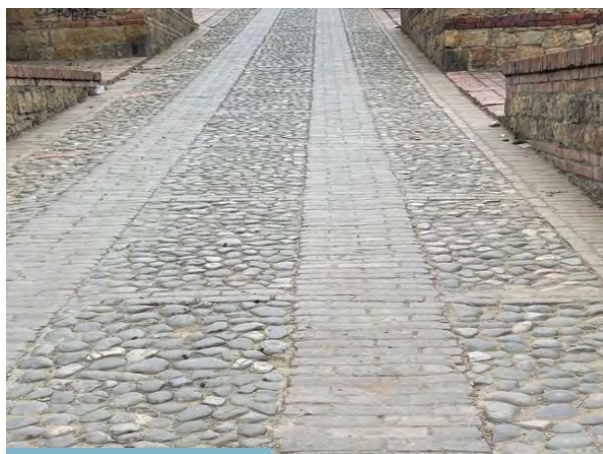
Los pavimentos de adoquines de ladrillo presentan, en general, las mismas ventajas y limitaciones que los tradicionales prefabricados de concreto. En la actualidad ya existen especificaciones sobre las propiedades físicas del producto, el cual se clasifica de acuerdo con el tipo de aplicación deseada: tipo R (rígidos), cuando van asentados sobre una capa de mortero y soportados por una base de hormigón o asentados sobre una capa asfáltica, y tipo F (flexibles), cuando van asentados sobre una capa de arena y soportados por una base conformada por materiales granulares compactados. Existen, además, procedimientos para el dimensionamiento de pavimentos que los incluyen⁴². Por otra parte, es de mencionar que existen experiencias de combinación de adoquines de ladrillo con empedrados.

Su uso en caminos rurales puede resultar llamativo y factible en áreas con deficiencias de materiales granulares convencionales y donde exista el insumo para la fabricación de los ladrillos. Adicionalmente, el sistema puede prestar beneficios económicos y sociales a través de la manufactura local de los ladrillos, siempre y cuando se garantice el cumplimiento de las especificaciones del producto. Su buen desempeño se ha comprobado en todos los climas.

ILUSTRACIÓN 3.33. CAMINOS EN LADRILLO Y EN COMBINACIÓN CON PIEDRA EN COLOMBIA



A. Camino de ladrillo en Paipa



B. Camino de piedra y ladrillo en Tabio

Fuente: Elaboración propia

⁴² Ver García Sáez (2004).

3.4 CONCLUSIONES

En este capítulo se han descrito someramente aquellas técnicas de mejoramiento cuya aplicación se considera, en principio, de mayor viabilidad técnica y pertinencia en los caminos rurales de los países de la región. En este sentido, el documento hace un reconocimiento primario de aquellas internacional o regionalmente aceptadas debido a la experiencia exitosa de largo plazo en su aplicación, al punto de encontrarse perfectamente especificadas por las agencias de vialidad, bien a nivel global, o bien a nivel regional o local. Ello no significa, de ninguna manera, que otras opciones que pueden llegar a ser iguales o más convenientes se consideren inapropiadas o inviables.

Aunque, en general, se tiende a favorecer las técnicas de mejoramiento debidamente probadas y confiables, no se debe descartar la utilización de algunos materiales o técnicas experimentales en situaciones para las cuales las condiciones particulares de la problemática de acceso así lo ameriten. Sin embargo, es importante reiterar que la implementación de este tipo de prácticas no se debe hacer con precipitación, sino de manera progresiva y sustentada en criterios objetivos que justifiquen su adopción.

Las técnicas de mejoramiento se han descrito teniendo en cuenta distintos tipos de caminos y considerando dos grandes categorías, de acuerdo con su carácter primordial: funcional o estructural. Si bien pueden existir muchas razones para la adopción de alguna, la escogencia del tipo de técnica de mejoramiento en cada caso debe responder al problema específico que se quiere solucionar (funcional o estructural). Hay que señalar que la técnica utilizada (o la combinación de ellas) debe estar enfocada hacia la solución de la problemática de movilidad en su totalidad, es decir, de nada sirve ofrecer capacidad estructural si no se garantiza la funcionalidad deseada en el camino.

Las técnicas mencionadas en este documento incluyen algunas alternativas basadas en una tecnología elemental, que hace uso intensivo de materiales tradicionales, equipos sencillos y mano de obra local, pero, también, opciones que requieren materiales de alto estándar y equipos sofisticados de alto rendimiento, que exigen habilidades especiales y un alto nivel de capacitación para su aplicación.

Se debe evitar la recomendación de alternativas técnicas que, aunque probadas a satisfacción e incluso normalizadas, involucren productos de los que no se pueda obtener el volumen necesario para la ejecución de las obras de un proyecto. Muchos estudios que han pasado por alto esta precaución, sobre todo en el desarrollo de tesis universitarias, han terminado olvidados en los anaqueles de sus bibliotecas.

Experimentar con productos novedosos vale la pena, pero sólo si se recopila nueva información, se sigue en su evaluación un conocimiento científico básico del procedimiento y el proceso está documentado y avalado a un nivel independiente y de reconocida competencia. Algo que desafortunadamente ha ocurrido en algunos países del área, es que el conocimiento ganado con gran esfuerzo se pierde cuando los miembros del personal técnico de las agencias de vialidad salen en busca de horizontes nuevos y mejor remunerados o se jubilan y no quedan registros de sus buenas y malas experiencias. Es necesario pensar en la capacitación de sucesión, para que los funcionarios mantengan la continuidad y aseguren que ese conocimiento valioso no quede en el olvido.

Las tecnologías nuevas e innovadoras son difíciles de implantar. Los ingenieros prefieren el uso de procedimientos estándar debidamente validados, ante el temor de que fallas prematuras los hagan objeto de reclamos y seguimientos por parte de los organismos oficiales de control, ya que las obras en los caminos rurales se adelantan con dinero público. La mala experiencia con el relleno fluido, por ejemplo, ha vuelto muy cautelosos a los consultores colombianos y confirma que, por ningún motivo, es prudente dejar en manos de los promotores de las nuevas tecnologías la iniciativa sobre la elaboración de las especificaciones sobre los materiales y la construcción, pues siempre tienden a dejar en ellas puertas abiertas para eludir sus responsabilidades.

Para cualquier material innovador o tecnología alternativa, es esencial que los beneficios del ciclo de vida se determinen utilizando procedimientos de análisis de costos del ciclo de vida completo, para garantizar que su uso sea rentable. Es deseable que las evaluaciones que se realicen incorporen análisis de los beneficios y los costos ambientales y de sostenibilidad, aunque a menudo son difíciles de cuantificar. Cuando la alternativa por considerar consista en la pavimentación del camino, una buena herramienta de ayuda para la toma de decisiones es el modelo SPADE-PLUS mencionado en este capítulo.

Finalmente, no hay tecnología de mejoramiento de caminos, por reconocida que sea, que funcione adecuadamente si el camino no está provisto de un sistema de drenaje apropiado. El drenaje es el factor individual más importante que controla el comportamiento de un camino, en especial uno no pavimentado, donde se suelen emplear materiales naturales sensibles a la humedad. Además de su importancia para el servicio del camino, la construcción y el mantenimiento de los dispositivos de drenaje traen un beneficio social: emplean una cantidad importante de mano de obra local.

Sin un buen drenaje, incluso los mejores materiales y métodos constructivos se pueden desperdiciar. Los principios de un buen drenaje son los mismos para los caminos pavimentados que para los que no lo son. Tal vez en estos últimos sean necesarios algunos ajustes en el énfasis o algún cambio en los procedimientos para adaptarse a las condiciones locales, pero el objetivo es el mismo: mantener el agua alejada de la estructura del camino.



CAPÍTULO 4

UNA MIRADA AL FUTURO DE LOS CAMINOS RURALES EN AMÉRICA LATINA

CAPÍTULO 4

UNA MIRADA AL FUTURO DE LOS CAMINOS RURALES EN AMÉRICA LATINA

4.1 PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO DE CONSERVACIÓN DE CAMINOS RURALES

En los años noventa, un estudio de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) señalaba lo siguiente:

En los distintos países de América Latina y el Caribe, existe una gran cantidad de maneras de definir y entender las intervenciones que se hacen a los caminos después de su construcción inicial. En los encuentros latinoamericanos de expertos en caminos, ha quedado de manifiesto el considerable grado de confusión semántica al respecto. Se utilizan las palabras ‘mantenimiento’ (rutinario y periódico), ‘rehabilitación’, ‘reconstrucción’, ‘renovación’, ‘refuerzo’, ‘reciclaje’ y muchos otros. Sin embargo, el contenido de estas palabras varía de un país a otro e incluso de un experto a otro dentro de un mismo país” (Schliessler y Bull, 1994, p. 20).

Existen manuales y normatividad técnica sobre el mantenimiento vial a nivel regional, como el *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras*, publicado por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA-2010), y a nivel nacional en la mayoría de los países latinoamericanos. Pese a ello, las intervenciones de mantenimiento o conservación se realizan de manera inoportuna y son insuficientes o deficientes para lograr tener los caminos en buen estado. Lo más preocupante es que se volvió costumbre dejar que se deterioren hasta el mal o pésimo estado, para luego rehabilitarlos o reconstruirlos a muy alto costo. Esta mala costumbre es la que se busca cambiar sustancialmente, para lograr lo que Schliessler y Bull calificaron como el “milagro” de los caminos indestructibles, descrito en el recuadro 4.1.

RECUADRO 4.1. EL “MILAGRO” DE LOS CAMINOS INDESTRUCTIBLES

A comienzos de los años noventa, la CEPAL encargó un estudio con el objetivo de orientar una posible reforma de la gestión vial en los países de América Latina y el Caribe, caracterizada por una organización y financiamiento de la conservación vial “inadecuados”.

Sus autores describen la experiencia europea frente a la de América Latina y el Caribe de la siguiente manera:

Muchos pueblos y pequeñas ciudades de Europa, sobre todo de Bélgica y Francia, están conectados por caminos que fueron pavimentados en la década de los años treinta o cuarenta. Estos caminos llevan funcionando 50 años o más, sin jamás haber sido “reconstruidos” o “rehabilitados”. En regiones rurales con un aumento del tránsito moderado, estos caminos continúan siendo adecuados para satisfacer las necesidades actuales, más aún, según los ingenieros viales, no necesitarán ningún tipo de reconstrucción o rehabilitación en el futuro previsible.

La respuesta básica a la pregunta de cómo estos caminos han logrado subsistir en buenas condiciones durante tanto tiempo, es que han sido sometidos a conservación en el pleno sentido de la palabra. Antes de la primera pavimentación delgada, hecha hace 50 o 60 años, hubo una preocupación por que existiera un buen drenaje del camino. Luego, los ingenieros no esperaron hasta que el pavimento original se desintegrara. Después, de algunos años, y a un costo relativamente bajo, aplicaron una segunda capa delgada de pavimento sobre la primera, que aunque ya estaba un poco desgastada, no presentaba aún mayores fallas [...] Así, se ha continuado en ese esquema de refuerzo hasta el día de hoy, combinándolo con otras medidas rutinarias de conservación [...] En ellos nunca se ha practicado una faena muy costosa de demolición o de levantamiento de los tramos destruidos. Siempre se ha conservado lo existente, usándolo como base para un refuerzo de la superficie, a un costo relativamente bajo.

Fuente: Schliessler y Bull (1994, p. 27 y 28)

El objetivo de este capítulo es, por tanto, llamar la atención y mostrar que es posible preservar a largo plazo el buen estado de los caminos rurales y alcanzar la calidad del servicio requerido por los diversos usuarios. De igual manera, se quiere mostrar que es necesario, indispensable y urgente generar cambios sustanciales y pertinentes en la gestión de la conservación o mantenimiento de los caminos para evitar las grandes pérdidas en los costos del transporte y del patrimonio vial como bien colectivo, así como para mitigar los impactos negativos ambientales y las afectaciones sociales⁴³.

4.2 ¿QUÉ ENTENDER POR CONSERVACIÓN VIAL?

La conservación vial es, en términos generales, el conjunto de actividades que se realizan para preservar y mantener permanentemente el buen estado de las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, brindar a los usuarios unas condiciones de movilidad cómodas, seguras, económicas y sostenibles.

Las labores de conservación se orientan a mantener en buen estado la red de caminos a costos eficientes y eficaces para la entidad vial y con costos de operación razonables para los usuarios. Asimismo, tratan de evitar la pérdida innecesaria del capital ya invertido durante varias generaciones, que constituye un patrimonio de muy alto valor y es necesario preservar y conservar como un bien colectivo. Todos los elementos que conforman la infraestructura caminera son los denominados activos viales.

⁴³ De este tema se estuvo hablando y buscando con insistencia los cambios en materia de conservación vial en la década de los años noventa, con el liderazgo de organismos internacionales como la CEPAL, la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) y el Banco Mundial, entre otros. Sin embargo, no se lograron los resultados anhelados.

La conservación del camino supone intervenciones de conservación rutinaria, con el llamado mantenimiento rutinario preventivo, y la conservación periódica, la cual comprende las reparaciones en el momento oportuno y el refuerzo de la superficie, incluido el agregado de capas adicionales sin alterar la estructura existente.

La conservación de los caminos es indispensable para retrasar el deterioro ocasionado por las cargas del tránsito, las condiciones climáticas y el entorno vial. Con esta finalidad, se espera lograr que el camino genere impactos positivos en el bienestar y el progreso social, la economía y la productividad, porque previene, evita o disminuye:

- Las pérdidas del valor patrimonial de la infraestructura.
- Las pérdidas económicas por reparaciones, rehabilitación, reconstrucción y emergencias.
- Los sobrecostos de transporte por demoras en la movilización vehicular y mayores costos de operación vehicular.
- Los siniestros de tránsito.
- El malestar y la inconformidad social.
- La imagen negativa de las instituciones y de los gobiernos.

4.3 URGENCIA HACIA UN NUEVO MODELO DE CONSERVACIÓN EFECTIVO Y SOSTENIBLE

Actualmente, se reconoce que la mayor parte de la longitud de los caminos rurales en Latinoamérica se encuentra entre regular y mal estado, sin ofrecer las condiciones requeridas por los usuarios para su movilidad. Se ha llegado a una situación crítica por el avanzado estado de deterioro de los caminos, porque se tiene la práctica tradicional de no conservarlos oportuna y suficientemente y dejar que se deterioren al máximo para luego reparar lo dañado. A esta práctica se le denomina usualmente mantenimiento vial y es de carácter reactivo, concebido como un conjunto de actividades y de obras que se ejecutan para reparar los sectores con graves daños, limpiar las obras de drenaje cuando están plenamente colmatadas o hacer la poda de vegetación cuando ella prácticamente está invadiendo el camino. Esta práctica se considera “perversa” por las pérdidas económicas que genera para las entidades viales, los usuarios, la comunidad en general y el medioambiente.

Los resultados de estudios realizados en diferentes regiones del mundo demuestran los sobrecostos de la práctica tradicional de efectuar las intervenciones de mantenimiento o conservación de manera inoportuna, escasa y deficiente. De igual manera, se comprueba reiteradamente que es posible mantener las redes de caminos en mejores condiciones a menor costo y mayor beneficio ahorrativo para las entidades viales y economía significativa en los costos de movilización de los diferentes usuarios de los caminos.

Según la AASHTO, cada dólar estadounidense invertido en mantener una carretera en buen estado, evita que se gasten entre 6 y 14 dólares más adelante para rehabilitar o reconstruir esa misma carretera una vez que se ha deteriorado apreciablemente (Rocci, 2012). La CEPAL, por su parte, calcula que cada dólar no invertido oportunamente en mantenimiento genera pérdidas entre el doble y el triple en sobrecostos de transporte, y triplica los costos de reparación y emergencias viales (Bull, 2003). Finalmente, en España se indica que 1 euro que no se invierte en mantenimiento hoy, supone 5 euros en 5 años en reparaciones, y 25 euros en 10 años en reconstrucciones (regla del cinco) (Rocci, 2012)⁴⁴.

Como referencia se muestran en el cuadro 4.1 los costos en dólares americanos (2020) del Plan Vial del Departamento del César en Colombia⁴⁵, que tiene planificado seguir el modelo tradicional reactivo al incluir intervenciones en rehabilitación y reconstrucción. Se puede observar que los costos de rehabilitación en material granular son del orden de cinco veces mayores que los de mantenimiento periódico y del orden de diez veces más que los de caminos pavimentados. También, se establece que los costos de mantenimiento rutinario son relativamente bajos.

CUADRO 4.1. PLAN VIAL DEL DEPARTAMENTO DEL CÉSAR (COLOMBIA): COSTOS DE INTERVENCIONES POR KM EN USD

Tipo de intervención	Costo de intervención/km (dólares americanos)			
	2020	2023	2026	2029
Mantenimiento periódico	54.774	63.384	73.402	84.963
Mantenimiento rutinario	2.031	2.356	2.735	3.141
Rehabilitación – reconstrucción (granular)	258.951	299.754	347.001	401.721
Rehabilitación – reconstrucción (pavimento)	588.841	681.656	789.092	913.477

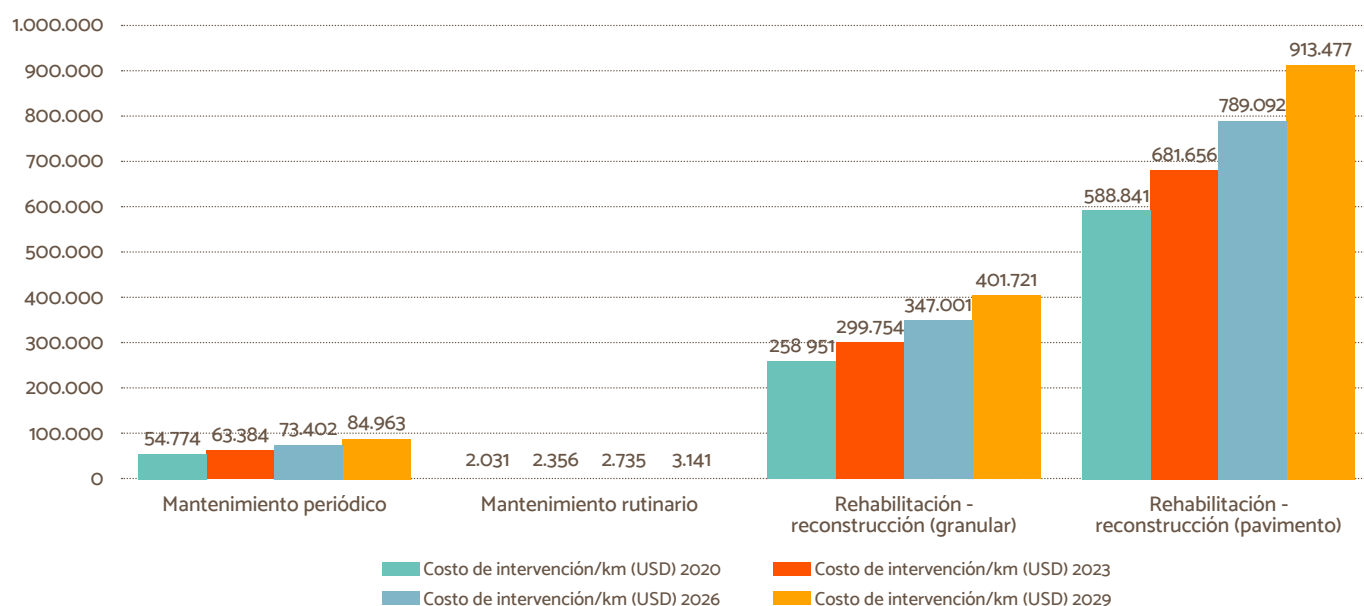
Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de Infraestructura (2020, pág. 168)

⁴⁴ Refiriéndose a palabras de la Ministra de Fomento en el Congreso de Diputados el día 9 de febrero de 2012.

⁴⁵ En Colombia se están estructurando planes viales departamentales y municipales que mantienen el modelo tradicional con rehabilitación y reconstrucción.

En el gráfico 4.1 se detallan las grandes diferencias entre los costos de mantenimiento rutinario y periódico con relación a los costos previstos de rehabilitación o reconstrucción de vías secundarias en material granular o en pavimento.

GRÁFICO 4.1. DIFERENCIAS DE COSTOS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO CON RELACIÓN A LOS COSTOS PREVISTOS DE REHABILITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL CÉSAR

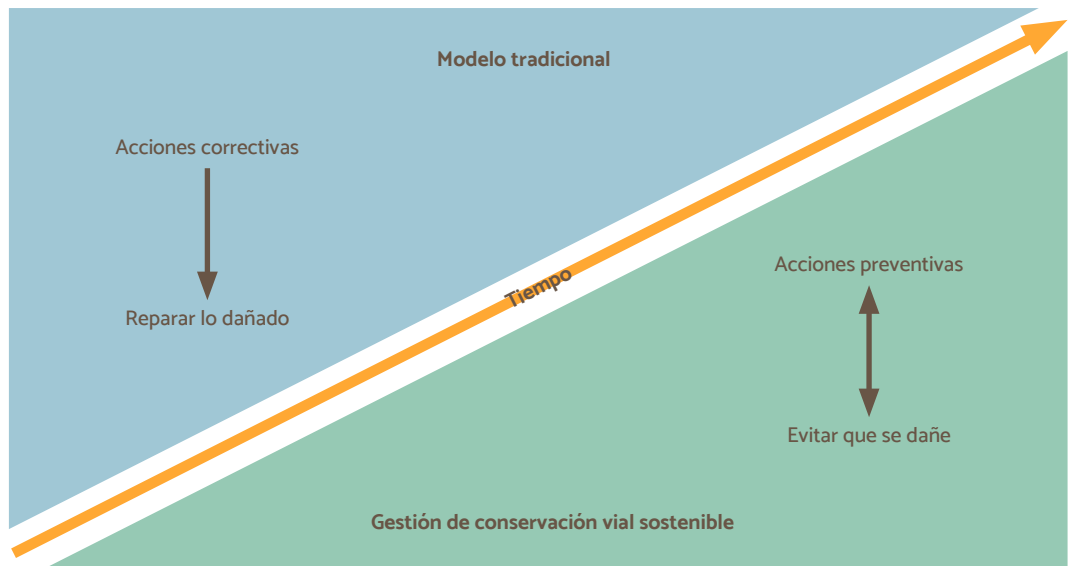


Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaria de Infraestructura (2020)

Para lograr tener las redes camineras en buen estado y a menor costo se propone efectuar un cambio progresivo hacia la práctica preventiva de conservación para evitar daño prematuro en la vía e intervenir oportunamente cuando se tienen los deterioros o daños superficiales.

La figura 4.1 ilustra (en el extremo izquierdo) la situación actual de prevalencia de las acciones correctivas de mantenimiento sobre las acciones preventivas de conservación, así como el proceso de avance (hacia la derecha) para que prevalezcan las acciones preventivas sobre las acciones correctivas.

FIGURA 4.1. PROCESO PARA GENERAR UN CAMBIO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO PARA UNA CONSERVACIÓN SOSTENIBLE

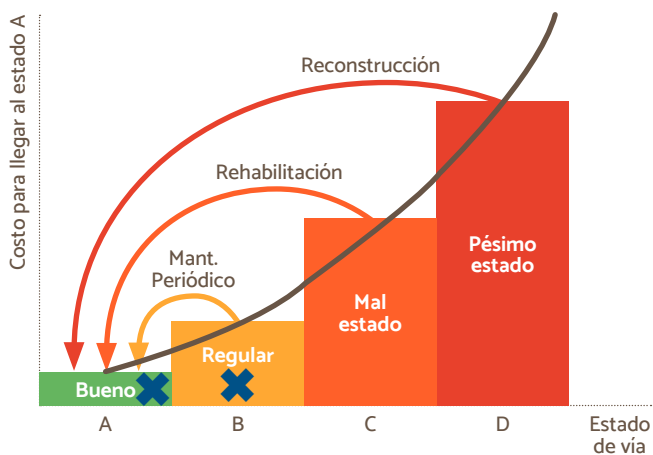


Fuente: Elaboración propia

En este sentido, lo que se propone es controlar el avance del deterioro para que los caminos no lleguen hasta el mal (M) o pésimo (P) estado y establecer la práctica institucional de mantenerlos en buen estado (B) en la mayor parte de la longitud, entre un 70 % y 80 %, y en estado regular (R) en la menor parte de la longitud, quizá entre un 20 % y 30 %. Idealmente 0 % en mal estado (M) y 0 % en pésimo estado (P).

FIGURA 4.2. PROPUESTA DE CAMBIO DEL MODELO TRADICIONAL REACTIVO A UN MODELO DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN PREVENTIVO Y SOSTENIDO

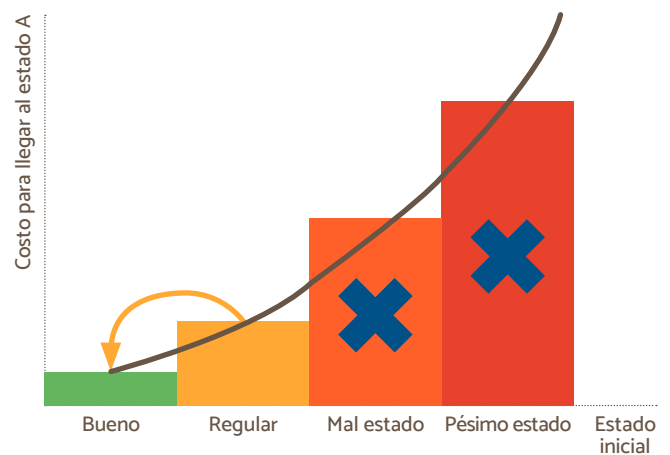
MODELO TRADICIONAL REACTIVO DE PERMITIR QUE SE DAÑE PARA LUEGO REPARAR LO DAÑADO



Esquema tradicional que no invierte recursos en conservación de caminos en buen o regular estado y los recursos limitados se invierten en rehabilitación o reconstrucción.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN PREVENTIVO Y SOSTENIDO DE CONSERVAR PARA EVITAR QUE SE DAÑE



Conservar los caminos entre buen y regular estado tiene menor costo y evita grandes pérdidas económicas.

En la ilustración 4.1 se muestran algunos caminos en Colombia en condiciones críticas por cuanto las deficiencias en el drenaje generan emergencias y dificultades para la movilidad durante la temporada de lluvias. La ilustración 4.2 presenta casos de reconstrucción de algunos caminos rurales en el mismo país.

ILUSTRACIÓN 4.1. DIFERENTES TIPOS DE DAÑOS EN CAMINOS EN TIERRA Y MATERIAL GRANULAR QUE REQUIEREN DIFERENTES TIPOS DE INTERVENCIONES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (COLOMBIA)



A



B



C



D

Fuente: Imágenes A y B, elaboración propia, imágenes C y D, Secretaria Infraestructura, departamento del Cauca (Colombia)

ILUSTRACIÓN 4.2. RECONSTRUCCIÓN DE CAMINOS RURALES EN COLOMBIA



Fuente: elaboración propia

4.4 LECCIONES APRENDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS

Se ha indicado anteriormente que la manera de mantener en buen estado las redes viales a largo plazo es mediante la implementación rigurosa de intervenciones de conservación de los caminos. Estas intervenciones se clasifican, usualmente, por la frecuencia con la que se realizan: rutinarias y periódicas. Las rutinarias se refieren a las actividades repetitivas que se efectúan una o más veces anualmente en un tramo del camino, y las periódicas son aquellas que se repiten en lapsos más prolongados, generalmente de más de un año. Bajo estas consideraciones, se

definen la conservación o mantenimiento rutinario preventivo y la conservación o mantenimiento periódico, de la siguiente manera:

- **La conservación o mantenimiento rutinario preventivo** comprende el conjunto de actividades que se deben realizar continuamente y que tiene como finalidad esencial la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de deterioro o daños y procurando mantener las buenas condiciones para su funcionamiento, seguridad vial y entorno ambiental.
- **La conservación o mantenimiento periódico** corresponde a intervenciones mediante las cuales se efectúan cambios parciales o ajustes que son necesarios realizar de manera cíclica, a intervalos diferentes, superiores a un año. Su finalidad es conservar la integridad estructural de los elementos del camino o prevenir la aparición o el agravamiento acelerado de defectos mayores derivados del desgaste natural producido por los efectos ambientales y por el tránsito automotor. Las intervenciones se realizan cuando el camino se encuentra en estado regular (R) y su magnitud dependerá, en cada caso, del avance del proceso de deterioro. De igual manera, se propone que en esta conservación se incluyan intervenciones pertinentes de mejora estructural y funcional de la calzada.

Por otra parte, en la situación actual de la red de caminos rurales en Latinoamérica, se requieren rápidas intervenciones de rehabilitación o reconstrucción bajo las consideraciones de la normatividad técnica vigente, para luego iniciar el ciclo de conservación rutinaria - conservación periódica.

4.4.1 CONSERVACIÓN RUTINARIA DE CAMINOS

La conservación rutinaria, denominada también mantenimiento rutinario preventivo, debe realizarse siempre en cualquier tipo de camino independientemente de su estado, ya sea este bueno, regular, malo o pésimo, para disminuir la aceleración y gravedad del proceso de deterioro. Incluye las actividades técnicas para el cuidado de los elementos físicos e intervenciones en los aspectos ambientales y operativos del camino en:

- La calzada, bermas o banquetas.
- Las obras de drenaje (alcantarillas, cunetas, canales, desagües, filtros y otras).
- Las zonas laterales (franja de espacio público).
- Las estructuras viales (puentes, muros y vados).
- La señalización y los elementos de seguridad vial.
- La vegetación del entorno.
- El cuidado y vigilancia de la vía.
- La atención de emergencias viales.
- La recolección de información operativa y del entorno de la vía.

Dada su importancia, en el anexo se mencionan algunos aspectos y detalles a tener en cuenta para la conservación rutinaria en su carácter preventivo de los caminos rurales.

4.4.2 CONSERVACIÓN PERIÓDICA DE CAMINOS

La conservación o mantenimiento periódico es una intervención fundamental para recuperar, acondicionar mediante mejoras y mantener en buen estado, de manera sostenida, las buenas condiciones de servicio del camino y evitar pérdidas económicas para las entidades viales, los usuarios y las comunidades. Esta actividad debe realizarse oportunamente cuando se identifique técnicamente que el camino se encuentra en estado regular, determinado anualmente mediante su inspección por personal calificado, dado que es la fase crítica antes de pasar rápidamente a los estados malo y pésimo. La magnitud de las intervenciones físicas deberán ser el resultado de estudios técnicos rigurosos y del tipo de camino y del estado de avance del deterioro.

Los aspectos técnicos básicos y relevantes por considerar se relacionan con:

- La calzada, las bermas o banquetas.
- Las obras de drenaje (alcantarillas, cunetas, canales, desagües y otras).
- Las zonas laterales (franja de espacio público).
- Las estructuras viales (puentes, muros y vados).
- La señalización y los elementos de seguridad vial.
- La vegetación del entorno.
- Aspectos operativos (plan de manejo del tránsito, seguridad y salud en el trabajo, recolección de información).

4.4.3 REHABILITACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

Como se ha descrito anteriormente, la mayor parte de los caminos rurales de Latinoamérica se encuentran en el rango de estados malo o pésimo, situación que urge intervenciones de rehabilitación o de reconstrucción para recuperar el estado bueno e iniciar un nuevo ciclo bajo las condiciones esperadas de eficiencia, eficacia y sostenibilidad.

Las intervenciones de rehabilitación o reconstrucción requieren de estudios y diseños técnicos rigurosos para determinar las obras a ejecutar según la clase de camino. En general, se deben considerar todos los elementos viales y el entorno en cuanto a:

- La calzada, las bermas o banquetas.
- Las obras de drenaje (alcantarillas, cunetas, canales, desagües y otras).

- Las zonas laterales (franja de espacio público)
- Las estructuras viales (puentes, muros y vados).
- La señalización y los elementos de seguridad vial.
- Actividades ambientales.
- Aspectos operativos (plan de manejo del tránsito, seguridad y salud en el trabajo, recolección de información).

En la ilustración 4.3 se muestran algunos casos de intervenciones de rehabilitación o reconstrucción y mejora de algunos caminos en Colombia.

ILUSTRACIÓN 4.3. EQUIPOS REALIZANDO INTERVENCIONES DE RECUPERACIÓN Y MEJORAMIENTO DE CAMINOS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (COLOMBIA)



Fuente: elaboración propia

ILUSTRACIÓN 4.3. EQUIPOS REALIZANDO INTERVENCIONES DE RECUPERACIÓN Y MEJORAMIENTO DE CAMINOS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (COLOMBIA)



Fuente: elaboración propia

4.5 CONCLUSIONES GENERALES Y HOJA DE RUTA HACIA CAMINOS PERDURABLES Y SOSTENIBLES

La importancia de los caminos rurales se extiende a todos los aspectos del ámbito geográfico, social y económico de los países latinoamericanos. No es solo la cantidad de población ubicada en un territorio de reconocida biodiversidad y gran extensión lo que hace necesario aumentar y mejorar las vías de comunicación terrestre. Son particularmente las condiciones sociales críticas de gran parte de sus habitantes. Un apreciable porcentaje de la población habita en zonas rurales en las que la agricultura es la actividad económica dominante. En buena parte de los territorios, este tipo de caminos es generalmente el único acceso a estas comunidades rurales, siendo, por tanto, esenciales para la movilidad de las personas y el traslado de las mercancías en el entorno rural urbano.

Independientemente de la denominación que reciban y quién los administre, la importancia de los caminos rurales, por su extensión y el estado que actualmente presentan hacen imperativo implantar nuevas soluciones técnicas para garantizar la transitabilidad permanente y un mejor nivel de servicio conforme con las condiciones particulares de cada país.

La localización de la mayoría de los caminos en la zona intertropical, su gran variedad de climas y condiciones ambientales, así como las distintas configuraciones geológicas, con características particulares y diversas en cuanto a las cualidades de soporte y materiales disponibles para su construcción, inciden de modo notable en la provisión y la conservación de la infraestructura vial. Prácticamente en todos los países se ha reconocido la importancia social, económica y ambiental de los caminos rurales. Por este motivo, en algunos se han definido políticas y planes para su mejoramiento y conservación. Al respecto, vale la pena destacar los casos de Argentina, Colombia, Chile, México, Perú y Paraguay.

La mayor parte de los países estudiados posee una normatividad técnica relativamente bien establecida en materia de construcción de infraestructura vial y algunos disponen incluso de normas y documentación específica para los caminos rurales. Sin embargo, los enfoques tradicionales para la provisión de caminos rurales en muchos países de ingreso medio y bajo se han basado históricamente en tecnologías desarrolladas en ambientes ajenos a los que prevalecen en ellos. Aunque muchas de las normas aplicadas pueden ser adecuadas para los caminos de la red principal y aún para los de la secundaria, es posible que resulten inaplicables o demasiado costosas para los caminos rurales de bajo volumen de tránsito.

Si bien el diseño de un camino rural no debe ignorar los principios del buen diseño vial, hay diferencias importantes que deben ser consideradas con el fin de entregar vías de comunicación que satisfagan de manera sostenible las múltiples necesidades sociales, económicas y ambientales de las regiones donde se construyen. Entre estas diferencias se pueden mencionar la necesidad de emplear materiales locales usualmente sensibles a la humedad, el hecho de que el alineamiento no se ajusta a principios ortodoxos de ingeniería, que los deterioros que sufren normalmente estos caminos están motivados principalmente por factores ambientales, que una gran cantidad de sus usuarios se movilizan en vehículos de dos ruedas o incluso a pie y, por último, que los análisis económicos convencionales no suelen justificar las inversiones públicas en la provisión o mantenimiento de estos caminos debido a su tránsito reducido.

En general, todos los países utilizan técnicas de mejoramiento de caminos rurales que se han empleado tradicionalmente en diferentes partes del mundo con efectividad, incluyendo las estabilizaciones con cemento o cal y los tratamientos superficiales bituminosos. Algunos países, sin embargo, han usado soluciones un poco menos conocidas, como sales y cloruros para la estabilización y la supresión de polvo en Chile, los empedrados en Brasil, Bolivia, Ecuador, Paraguay y Perú, y los asfaltos naturales en Colombia, por mencionar algunos.

En general, no se identificaron planes formales, estructurados y estables en el tiempo para el seguimiento del desempeño de las técnicas de mejoramiento implementadas. Esta carencia dificulta, en gran medida, la identificación potencial de los factores que afectan la vida útil de las soluciones.

Una apreciación holística de los atributos peculiares que caracterizan los caminos rurales deberá guiar en la elaboración de diseños más apropiados, usando un enfoque optimizado que sea adecuado a los objetivos, contextualmente sensible y ambientalmente optimizado para su diseño, construcción y posterior conservación.

Un aspecto muy crítico es que la mayor parte de la longitud de los caminos rurales se encuentra entre regular y mal estado. En general, se estima que menos del 20 % de esa longitud está en buen estado en cada país. Esta situación se debe a que el mantenimiento rutinario es insuficiente o deficiente o, simplemente, no se realiza. Predomina la cultura de la gestión reactiva, de dejar prosperar el deterioro del camino para luego repararlo, rehabilitarlo o reconstruirlo. Esto implica, irremediablemente, grandes pérdidas económicas para las agencias viales y los usuarios en general.

De igual manera, es importante mencionar que la disponibilidad de personal desempleado o subempleado en las zonas rurales podría justificar y facilitar la implementación de planes y programas de recuperación y conservación vial mediante participación comunitaria. Sobre el particular, se tienen reconocidas y valiosas experiencias en algunos países latinoamericanos, como Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay y Perú. De esta manera, será factible garantizar las condiciones de accesibilidad y transitabilidad de algunas regiones particulares y, también, generar fuentes de empleo estables en el tiempo, propiciar resiliencia social y reactivación económica.

Por otra parte, se dispone a nivel internacional de diverso equipamiento para realizar intervenciones viales con rapidez, alta calidad del producto terminado y relativo bajo costo, lo cual podría ayudar a hacer realidad el anhelo de una mejor infraestructura vial rural.

Teniendo en cuenta el escenario mundial, las características y condiciones regionales, los contextos nacionales y las situaciones políticas, sociales, económicas, ambientales, institucionales y técnicas de los países analizados, se proponen algunas ideas, recomendaciones y una hoja de ruta general para recuperar, mejorar y conservar el buen estado de los caminos rurales de manera sostenible y sostenida:

- **Decisión y compromiso al más alto nivel gubernamental.** Generalmente se requiere que las autoridades del más alto nivel decisorio nacional, regional o local tomen la iniciativa y la resolución de mejorar y conservar los caminos rurales. Esto deberá reflejarse en políticas que permitan el sostenimiento en el largo plazo, en planes, programas y estrategias institucionales enfocadas hacia el bien común y el bienestar colectivo.

- **Consideración de una visión del camino en el territorio.** Suponen la valoración del vínculo entre camino, sociedad, ambiente y economía, y determinación para que los caminos se conviertan en meridianos o ejes dinámicos hacia la seguridad territorial ligada a la sostenibilidad.
- **Vinculación del territorio.** Implica la realización de estudios y análisis de las circunstancias locales, del conocimiento y consideración de las motivaciones e intereses de las comunidades, de las oportunidades de integración del camino al territorio y de las posibilidades tecnológicas para la mejora. Conlleva, además, analizar la viabilidad y conveniencia de la participación comunitaria en las intervenciones de reparación y conservación vial.
- **Diversidad en las fuentes de recursos.** Se pueden incorporar: i) recursos presupuestales del orden federal, nacional, estatal, departamental, provincial o local, de acuerdo con los requerimientos de las longitudes de caminos a incluir, de las intervenciones y de otros programas asociados, ii) aportes del sector privado, de organizaciones o empresas privadas que desarrollan sus actividades en la zona de influencia del camino y con intereses económicos y de responsabilidad social en la región, iii) apoyo internacional de diversos organismos internacionales de crédito y agencias de cooperación, de los cuales ya se tienen valiosas experiencias, iv) obras por impuestos, cuya normatividad legal ya funciona en algunos países.
- **Recurso a la tecnología.** El uso de tecnologías apropiadas y pertinentes se debe hacer teniendo en cuenta la normatividad y las experiencias positivas de aplicación en el ámbito mundial y regional. Es crítico el fomento de la investigación para identificar técnicas que garanticen mayor economía, calidad y durabilidad en el marco del desarrollo sostenible.
- **Sostenibilidad ambiental.** El diseño y la gestión de los caminos rurales deben minimizar los impactos físicos producidos en el entorno natural por las actividades de construcción y mantenimiento. Deben, además, tener en cuenta los posibles impactos socioculturales, permitir el reciclaje de materiales no renovables y minimizar la huella de carbono, así como todos los impactos y emisiones que contribuyan al cambio climático.
- **Equipamiento.** Hay que estudiar y analizar la viabilidad práctica y económica de incorporar equipamiento pertinente para las intervenciones de construcción y conservación de caminos rurales.
- **Personal idóneo y competente.** Es indispensable contar con el personal profesional, técnico, y de operación, con conocimientos y experiencia debida en aspectos organizacionales, contractuales, técnicos, ambientales, de seguridad y salud en el trabajo y de responsabilidad social.

- **Sistema de información, seguimiento, evaluación y control.** Es necesario contar con un potente sistema de información, que permita tener, acumular, procesar y obtener información relevante de los caminos, las actividades de intervención, el personal participante, del entorno y, en especial, de los resultados alcanzados en aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales. Es recomendable diseñar e implementar un sistema de gestión de activos viales.
- **Comunicaciones.** El conjunto de decisiones, políticas, planes, programas, actividades y resultados alcanzados deberán ser comunicados a los interesados, en especial en lo que corresponde al uso eficiente y transparente de los recursos. También será conveniente tener la memoria institucional de las actuaciones.

La hoja de ruta recomendada que se propone seguir y que se reconoce como valiosa y útil en las experiencias internacionales consiste en dos fases generales: i) la priorización y selección a nivel de redes de caminos, ii) la determinación de intervenciones a nivel de proyecto.

4.5.1 PRIORIZACIÓN Y SELECCIÓN A NIVEL DE REDES DE CAMINOS

Para la priorización y selección de los caminos a intervenir a fin de mejorar su estándar, se propone considerar el contexto en el territorio, el ámbito social, las condiciones ambientales, los aspectos económicos y los servicios viales en materia de accesibilidad y conectividad con la infraestructura de transporte operativa, en el marco de las políticas y planes gubernamentales.

Para evaluar las condiciones viales regionales, se recomienda utilizar instrumentos tecnológicos competentes e idóneos para la priorización de las intervenciones de acuerdo con criterios económicos, técnicos, sociales y ambientales. Al respecto son reconocidos como herramientas útiles por su aplicación en diferentes contextos:

- El modelo HDM-4 (versión 2), diseñado por el Banco Mundial para apoyar la toma de decisiones a nivel de red, relacionadas principalmente con la gestión de la conservación y mejoramiento de redes viales.
- El RED, modelo de decisión económica para caminos. Es una herramienta que puede ser utilizada para la toma de decisiones de inversiones o mantenimiento de caminos de bajo tráfico, como son los caminos rurales.

- El modelo SPADE-PLUS, del Banco Mundial, mediante el cual se consideran de manera holística diferentes variables que afectan la decisión de pavimentar un camino rural, manteniendo una justificación económica. SPADE-PLUS es un enfoque secuencial de dos etapas, que combina el modelo SPADE, en la primera fase, con el modelo de decisión económica (RED) o un análisis de costo-efectividad (CEA) en la segunda.
- El análisis multicriterio. De amplia utilización por su viabilidad de estructuración y aplicación en diferentes contextos, en general se orienta a otorgar a los caminos rurales la funcionalidad requerida en conexión con las redes viales primarias. Para lograrlo, parte de la identificación de ejes de integración económica y territorial y de análisis que contienen la siguiente información: i) zonas de producción, indicando su grado de dinamismo y de especialización productiva (agricultura, ganadería, agroindustria, minería, turismo, etc.), ii) caracterización física del territorio, su relieve, clima, aspectos ambientales (áreas de riesgo) y aspectos demográficos, como la concentración o dispersión poblacional, etnias, niveles de pobreza de la misma o su situación de vulnerabilidad especial, y iii) identificación de los ejes viales estratégicos para generar la dinámica territorial en lo social, económico y ambiental.
- Planificación Integral del Acceso Rural (PIAR), de la Organización Internacional del Trabajo. “Es un proceso cuyo objetivo es definir y priorizar los problemas y necesidades de acceso de la población rural con relación a los servicios sociales y económicos básicos que las familias requieren” (Cartier van Dissel, 2005).

4.5.2 CONSIDERACIONES Y CRITERIOS GENERALES PARA ALCANZAR PROGRESIVAMENTE EL BUEN ESTADO DE LOS CAMINOS

Con el propósito de identificar y priorizar las intervenciones que permitirán la mejora y conservación efectiva de los caminos rurales, a fin de mantener en forma permanente su buen estado mediante el uso óptimo de los recursos disponibles, se considera necesaria la evaluación de las intervenciones requeridas. Dicha evaluación debe considerar la magnitud de la demanda de los servicios viales, el tipo y estado de la superficie del camino y, en especial, las condiciones de accesibilidad, transitabilidad, movilidad y seguridad.

Las evaluaciones deben describir la situación actual, pronosticar la evolución en el tiempo y sus consecuencias futuras, cuantificar y calificar necesidades y beneficios, comparar y priorizar alternativas de intervenciones y asignar y distribuir los recursos óptimamente. En este sentido, se proponen cinco líneas principales de acción a seguir:

1. Garantizar recursos para la conservación vial rutinaria de todos los caminos, priorizando aquellos que se encuentran en buen estado con la finalidad de preservar sus condiciones.

2. Asegurar la accesibilidad y la transitabilidad en todos los caminos mediante la reparación de sectores críticos, incluidos los puentes, y la intervención preventiva de sitios donde se identifiquen amenazas para la transitabilidad y seguridad de los usuarios.
3. Efectuar reparaciones puntuales y la conservación periódica de los caminos que se encuentren en estado regular. Se reitera que se debe dar prioridad en la ejecución obligatoria a la conservación rutinaria y la reparación de sectores críticos.
4. Realizar la rehabilitación de los caminos que se encuentran en mal estado. Se reitera que se debe dar prioridad en la ejecución obligatoria a la conservación rutinaria y la reparación de sectores críticos.
5. Realizar la reconstrucción de los caminos que se encuentran en pésimo estado. Como en el anterior punto, se debe dar prioridad en la ejecución obligatoria a la conservación rutinaria y la reparación de sectores críticos.

Por otra parte, para poder avanzar en la recuperación de las buenas condiciones físicas de los caminos rurales para el servicio de los usuarios, se recomienda estructurar una estrategia secuencial que conlleve:

1. Conservar de forma prioritaria y debida los caminos y los tramos que se encuentren en buen estado y dar especial atención al drenaje en los territorios que lo requieren.
2. Realizar la conservación periódica de los caminos que se encuentran en regular estado para llevarlos a buen estado y a la mejora requerida.
3. Ejecutar la rehabilitación de los caminos que se encuentran en mal estado para llevarlos a buen estado o una mejora superior.
4. Ejecutar la reconstrucción de los caminos que se encuentran en pésimo estado para llevarlos a buen estado o un estándar superior.

Las cuatro acciones descritas suponen iniciar el ciclo conservación rutinaria o conservación periódica en esos caminos.

La planificación y gestión efectiva y sostenible de los caminos rurales podrá lograrse apoyándose en una herramienta útil como lo es el sistema de gestión de activos viales.

Finalmente, el mensaje categórico del libro está centrado en promover el valor de los caminos cuyo cuidado bien merece convertirse en hábito y costumbre. Ellos son fuente de vida, prosperidad y trabajo, de acercamiento y solidaridad. Son parte de la inclusión para disfrutar puntos de encuentro y, de esta forma, posibilitar la sana convivencia, la paz, el progreso y el bienestar social bajo los objetivos del desarrollo sostenible.



ANEXO

CONSERVACIÓN RUTINARIA DE CAMINOS RURALES

ANEXO. CONSERVACIÓN RUTINARIA DE CAMINOS RURALES

Las actividades requeridas para la conservación rutinaria efectiva y sostenible que se proponen son: 1) la información técnica del camino y del entorno, 2) el funcionamiento eficaz del drenaje, 3) el cuidado de los puentes, 4) la seguridad vial, y 5) el cuidado del entorno.

LA INFORMACIÓN TÉCNICA DEL CAMINO Y DEL ENTORNO

Es indispensable disponer del inventario de los elementos del camino, de los usuarios viales y del entorno territorial de la vía en cuestión para facilitar la identificación y programación de actividades a realizar, determinar la logística, establecer costos, efectuar el seguimiento y la evaluación de los resultados de desempeño vial y definir las intervenciones periódicas.

EL FUNCIONAMIENTO EFICAZ DEL DRENAJE

El sistema que componen las obras de drenaje tiene como finalidad recibir y encauzar el agua de las zonas laterales y del camino para evacuarla fuera de él lo más pronto posible dada su agresividad y los daños que ocasiona. Por este motivo, el funcionamiento adecuado de todas las obras de drenaje es indispensable para evitar el deterioro prematuro de la infraestructura y las emergencias viales que genera. La ausencia de un drenaje adecuado puede tener las siguientes consecuencias:

- En las vías en tierra, una temporada de lluvias intensa puede llegar hasta volver intransitable el camino.
- En vías en material granular con ausencia de revestimiento superficial, se pueden generar daños prematuros, pues el agua lluvia, cuando fluye por la calzada, arrastra el material granular y produce su pérdida, ocasiona surcos por erosión, genera pérdidas de la pendiente transversal, provoca la aparición de baches y de otros daños similares.
- En las zonas laterales de todo tipo de caminos, se puede producir la inestabilidad de los taludes, la caída de piedras y derrumbes, ocasionar la erosión de terraplenes y hasta pérdidas de la plataforma del camino.
- En alcantarillas, puentes, pontones y muros, se puede producir socavación.
- En carreteras pavimentadas, el agua contribuye al deterioro superficial y, cuando penetra en el interior de las capas estructurales del pavimento, se producen mayores agrietamientos, baches y deformaciones de diversa índole. También el agua superficial facilita el deslizamiento y dificulta el frenado de los vehículos, con incidencia en la seguridad vial.

ILUSTRACIÓN A.1. CAMINOS CON DIFERENTES CONDICIONES DE DRENAJE



A. Camino en material granular con sección transversal que facilita el drenaje superficial. Acumulación de agua en cuneta por colmatación parcial de alcantarilla (Colombia)



B. Camino en tierra con insuficientes y deficientes elementos de drenaje superficial (Colombia)



C. Camino en piedra con acumulación de agua por deficiencias del drenaje (Brasil)



D. Camino en tierra con acumulación de agua por deficiencias del drenaje (Colombia)

Fuente: Imágenes A y B de elaboración propia, C, cortesía de Aíslan Buhler, D, cortesía de Carlos Palta

ILUSTRACIÓN A.2. FUNCIONAMIENTO DEFICIENTE DE ELEMENTOS DE DRENAJE QUE CAUSAN EL DETERIORO ACCELERADO DEL CAMINO EN MATERIAL GRANULAR



A. Pasacuneta colmatado en vía de acceso a predio privado ocasiona 100 m de daños en la calzada



B. Detalle del pasacuneta, recuperado para prevenir el incremento del deterioro



C. Alcantarillas colmatadas que generan acumulación de agua y daños en la calzada



Fuente: Elaboración propia

Lo descrito anteriormente demuestra que es prioritario mantener en buen funcionamiento todas las obras de drenaje para la preservación y el funcionamiento eficiente de los caminos (Keller y Sherar, 2004). En este sentido, la provisión, el acondicionamiento y la limpieza de las obras de drenaje es una de las actividades indispensables de la conservación rutinaria para garantizar que todos los elementos del sistema funcionen correctamente y que el agua superficial pueda fluir libre y rápidamente.

EL CUIDADO DE LOS PUENTES, PONTONES Y VADOS, BADENES O BATEAS

Los puentes y pontones son algunas de las estructuras más importantes del camino y están contruidos principalmente de hormigón, acero estructural, piedra o madera. Su costo es alto y son elementos esenciales para la funcionalidad integral del camino. Dada su importancia, se recomienda implementar sistemas de gestión de puentes como parte de los sistemas de gestión de activos viales.

Asimismo, se considera esencial conservar los vados (bateas o badenes). Estas son estructuras utilizadas en vías de muy bajo tránsito, contruidas en hormigón o mampostería de piedra en los sitios donde el camino atraviesa un cruce de quebradas o arroyos al mismo nivel y cuyos flujos de agua son de tipo estacional.

ILUSTRACIÓN A.3. DIFERENTES TIPOS DE PUENTES EN CAMINOS RURALES



A. Pontón en estructura de hormigón, barandas metálicas y barreras rígidas que generan riesgos



B. Pontón en hormigón y barandas metálicas tubulares

Fuente: Imágenes A y B de elaboración propia, C, cortesía de Jorge Quinayas Guamanga, D, elaboración propia, imágenes en F, de PROVIAS Rural de Perú

ILUSTRACIÓN A.3. DIFERENTES TIPOS DE PUENTES EN CAMINOS RURALES



C. Puente de troncos de madera



D. Puente en concreto



E. Batea en vía secundaria



F. Puente en piedra y madera

Fuente: Imágenes A y B de elaboración propia, C, cortesía de Jorge Quinayas Guamanga, D, elaboración propia, imágenes en F, de PROVIAS Rural de Perú

Entre los puentes se encuentran algunos de la época colonial y otros de carácter ancestral como el puente del Inca, que es un puente natural sobre el río Cuevas, formado por una capa de sedimentos coluviales cementada por sales de depósitos principalmente travertinos. Se encuentra en la provincia de Mendoza, en Argentina, y debe su nombre a que personas de los pueblos incas lo visitaban para disfrutar de las aguas termales de propiedades curativas. Forma parte del sistema vial andino Qhapaq Nan y ha sido declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

ILUSTRACIÓN A.4. PUENTE DEL INCA, EN LA PROVINCIA DE MENDOZA (ARGENTINA)



Fuente: Elaboración propia

LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD VIAL

La seguridad de los usuarios es uno de los aspectos de especial atención en todo tipo de caminos. Por ello se deben conservar y mantener debidamente todos los elementos que se instalan con el propósito de contribuir a prevenir siniestros de tránsito y reducir los riesgos para los usuarios: los postes kilométricos o de referencia, las señales verticales, la demarcación, las barreras de contención vehicular y otros con propósitos similares.

EL CUIDADO DEL ENTORNO

El entorno comprende principalmente las zonas laterales, que son las franjas de terreno paralelas y aledañas a la plataforma del camino, que son irregulares y están limitadas, generalmente, por propiedades privadas contiguas. En ellas se encuentran los taludes de los cortes y de los terraplenes, las obras complementarias, las obras accesorias y, en algunos casos, redes de servicios públicos.

ILUSTRACIÓN A.5. VEGETACIÓN EN EL ENTORNO DE CAMINOS RURALES
EN MUNICIPIOS DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA



A. Vegetación en estado natural



B. Vegetación ornamental próxima

Fuente: Elaboración propia



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Addo, J. Q. y Sanders, T. G. (1995).** Effectiveness and environmental impact of road dust suppressants. *Report MPC 95-28A*. Fort Collins, CO: Colorado State University, Department of Civil Engineering
- Argüello Godoy, J. (2004).** *Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados*. Quito (Ecuador): Organización Internacional del Trabajo
- Asociación Argentina de Carreteras (2018).** *Manual de caminos rurales*. Buenos Aires: Comisión de Caminos Rurales. <https://www.aacarreteras.org.ar/pdfs/documentos-tecnicos/MANUAL-CAMINOS-RURALESe-book.pdf>
- Banco Mundial (2020).** Tasa de incidencia de la pobreza, sobre la base de la línea de pobreza nacional (% de la población). *Indicadores del Desarrollo Mundial* [base de datos]. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.NAHC?view=chart>
- Banco Mundial (2021).** Tasa de incidencia de la pobreza, sobre la base de la línea de pobreza nacional (% de la población) - Bolivia. *Indicadores del Desarrollo Mundial* [base de datos]. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.NAHC?view=chart&locations=BO>
- Banco Mundial (2022).** Población rural (% de la población total). *Indicadores del Desarrollo Mundial* [base de datos]. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS>
- Banco Mundial (s. f.).** *Systematic PAVING DEcision (SPADE) Support System (SPADE Model). User Manual*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/541811613507089782/pdf/Systematic-Paving-Decision-SPADE-Support-System-SPADE-Model-User-Manual.pdf>
- Barrera, F. (2018).** *Lechada asfáltica Primera Calle Oriente Izalco B, San Sebastián*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=GwZYG6YazEQ&ab_channel=FranklinBarrera
- Bergeret, H. A. y Márquez, R. (1968).** Las imprimaciones reforzadas. Nueva orientación del mantenimiento económico de carreteras sin carpeta de rodadura. Decimoquinta reunión anual del asfalto, Buenos Aires, 15 a 19 de abril de 1968.
- BETA (s. f.).** Cape Seal. *BETA Improving Communities Together*. <https://www.beta-inc.com/services/gis-asset-management/pavement-repair-treatments/cape-seal/>
- Bishop, T. y Jinadasa, D. (2014).** *Road traffic injury on rural roads in Tanzania: A study to determine the causes and circumstances of motorcycle crashes on low-volume rural roads*. Amend.org. <https://www.amend.org/portfolio/portfolio-title-18-2-3/>
- Brazetti, R. (2022).** *A comparative study of the performance of the soil stabilizers in secondary unsurfaced roads in Paraguay. Final Report*. Soil stabilization project BIRF 3685-PA. Paraná, Brasil.
- Brundtland, G. (1987).** *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Documento de la Asamblea General de las Naciones Unidas A/42/427.

- Bull (2003).** Mejoramiento de la gestión vial con aportes específicos del sector privado. *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, n.º 56. Santiago: CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6416/1/S036386_es.pdf
- AC&A y Cenit (2020).** Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040. Caracas: CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1537?show=full>
- Campagnoli Martínez, S. X., Sánchez Sabogal, F. (2022).** *Fundamentos para el diseño de pavimentos asfálticos de carreteras*. Primera edición digital: Bogotá D. C. <https://sites.google.com/site/ingepav/escritos-de-fernando-s%C3%A1nchez-sabogal?authuser=0>
- Cartier van Dissel, S. (Ed.).** Planificación Integral del Acceso Rural – PIAR. Lima: Organización Internacional del Trabajo. <https://www.ilo.org/public/spanish/employment/recon/eiip/download/piar.pdf>
- Cedergren, H. R. (1988).** *Why all important pavements should be well drained*. Washington D. C.: Transportation Research Record 1188.
- Cement & Concrete SA (2021).** *Concrete strip roads for the farm*. Midrand, Suráfrica.
- City View (2014).** Learn why the city of Richland is using slurry seals on local roadways. YouTube. Richland, WA.
- Clavijo, F. (2017).** *Esto es lo que tienen en común Colombia, Nueva Zelanda e India*. Semana [sitio web]. Publicación del 18 de julio de 2017. <https://www.semana.com/nacion/todo-lo-que-debe-saber-sobre-la-marcha-del-primer-de-abril/articulo/que-tienen-en-comun-colombia-nueva-zelanda-e-india/551271/>
- CNT (2021).** *Pesquisa CNT de Rodovias 2021*. Confederação Nacional do Transporte).
- Coneval (2020).** *Medición de la pobreza*. Coneval [sitio web]. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Costa, D. J. y Casali, C. A. (2022).** *Caminos rurales. De la degradación a la sustentabilidad*. Rosario. Argentina: Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRuS). Versión digital disponible en: <https://www.aacrus.org.ar/wp-content/themes/eco-greenest-lite/images/aacrus-libro-caminos-rurales.pdf>
- Courreges, J. A., Rebollar, A. M., Herrero Laporte, F. D. (1947).** *Pavimentos asfálticos contruidos con tosca*. Segunda reunión anual, Comisión Permanente del Asfalto, Buenos Aires, República Argentina, 17 a 22 de noviembre de 1947.
- CPI (2020).** *Miradas que construyen futuro*. Programa de Innovación de Políticas Públicas de Infraestructura. Consejo de Políticas de Infraestructura de Chile. <https://www.infraestructurapublica.cl/miradas-que-construyen-futuro/>

- CPI (2022).** Infraestructura verde. Infraestructura enfocada en el buen vivir. *Cuaderno n.º 138*. Consejo de Políticas de Infraestructura. <https://www.infraestructurapublica.cl/cuaderno-n138-infraestructura-verde-infraestructura-enfocada-en-el-buen-vivir/>
- CVF (2016).** Estadística del Consejo Vial Federal. Extraído de la tesis “Sistema de Información Geográfica, de bajo costo, para una red de caminos comunales” Maestrando: Ing. Sabina Fanelli. Universidad Nacional de Rosario. Agosto 2022.
- DANE (s. f.).** El territorio colombiano. *DANE* [sitio web]. Atlas Estadístico. Tomo I Demográfico. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. https://geoportal.dane.gov.co/servicios/atlas-estadistico/src/Tomo_I_Demografico/1.1-el-territorio-colombiano.html
- Datosmacro.com (2019).** *Índice de competitividad global*. Datosmacro.com. Expansión. <https://datosmacro.expansion.com/estado/indice-competitividad-global>
- Datosmacro.com (2022).** *Índice de Gini*. Datosmacro.com. Expansión. <https://datosmacro.expansion.com/demografia/indice-gini>
- Datosmacro.com (s.f.).** *PIB – Producto interior bruto*. Datosmacro.com. Expansión. <https://datosmacro.expansion.com/pib>
- Del Val Melús, M. A. y Bardesi Orúe-Echavarría, A. (1992).** *Manual de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tránsito*. Madrid: Composan-Espas.
- Departamento Nacional de Planeación (2021).** *Realizar una evaluación de impacto de las inversiones realizadas en la red terciaria de Colombia*. Documento elaborado por Econometría Consultores, Unión Temporal Quantil. Bogotá, D. C.
- Dillman, G. C. y Smith, H. C. (1922).** *State investigations covering dust prevention on and preservation of gravel roads*. Proceedings from the Eighth Annual Conference on Highway Engineering. University of Michigan.
- Dirección de Vialidad (2020).** *Red Vial Nacional 2021. Dimensionamiento y características*. Dirección de Vialidad, Subdirección de Desarrollo, Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.
- Ellis, C. I. (1979).** Pavement engineering in developing countries. *TRRL Supplementary Report 537* [Ingeniería de pavimentos en países en desarrollo. TRRL Informe Suplementario 537]. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, Berkshire: Department of the Environment and Department of Transport. http://transport-links.com/wp-content/uploads/2019/11/1_292_SR537-Pavement-engineering-in-developing-countries.pdf
- Espinosa, D. P. C. (1855).** *Manual de caminos*. Madrid.
- Ethiopian Roads Authority (2011).** Part B, Design standards for low volume roads. En *Design manual for low volume roads*. Final draft. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08ad4e5274a27b20007bf/Design-Manual-for-Low-Volume-Roads-Part-B.pdf>

- Faiz, A. (2012).** The promise of rural roads. Review of the role of low-volume roads in rural connectivity, poverty reduction, crisis management, and livability. *Transportation Research Circular E-C167*. Washington, D. C.: Transportation Research Board
- FAO (2000).** Perfil general de Ecuador. En *Forest Resources Assessment 2000. Bibliografía comentada. Cambios en la cobertura forestal*. Ecuador. Programa de Evaluación de Recursos Forestales de FAO. <https://www.fao.org/3/ad670s/ad670s03.htm>
- FHWA (1996).** Preventive maintenance effectiveness - preventive maintenance treatments. *Report n.º FHWA-SA-96-027*
- Frost, H. (1910).** *The art of roadmaking*. Nueva York: The Engineering News Publishing Co.
- Galehouse, L. (2013).** *Addressing pavement asset management*. APWA Florida Chapter.
- García Sáez, R. (2004).** *Manual para el uso del adoquín cerámico*. Madrid: Hispalyt – Sección Adoquines.
- Garnica Anguas, P. y Martínez Almeida, M. (2023).** *Caminos rurales, una puerta al desarrollo y la conectividad territorial / México*. Caracas: CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2076>
- Gobierno de México (2014).** *Secretaría de Relaciones Exteriores. Consulado en San Pedro Sula*. <https://consulmex.sre.gob.mx/sanpedrosula/index.php/bienvenida-y-directorio/34>
- Hicks, R. G., Seeds, S. B. y Peshkin, D. G. (2000).** Selecting a preventive maintenance treatment for flexible pavements. Foundation for Pavement Preservation. *Publication n.º FHWA-IF-00-027*. Washington, D.C.
- IBGE (s.f.).** *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* [base de datos]. <https://www.ibge.gov.br/en/>
- IGN (s. f.a).** Límites, superficies y puntos extremos. *IGN* [sitio web]. Instituto Geográfico Nacional de Argentina. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/LimitesSuperficiesyPuntosExtremos>
- IGN (s. f.b).** División política, superficie y población. *IGN* [sitio web]. Instituto Geográfico Nacional de Argentina. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/DivisionPolitica>
- Inauguración del Cristo Redentor de Los Andes (1904).** Fotografía de autor desconocido. Tomado de Wikimedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Cristo_Redentor_de_los_Andes
- INDEC (2022a).** Mercado de trabajo. Tasas e indicadores socioeconómicos (EPH). *Trabajo e ingresos*. Vol. 6, n.º 9. Tercer trimestre de 2022. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía Argentina.

INDEC (2022b). Incidencia de la pobreza y la indigencia en 31 aglomerados urbanos. *Condiciones de vida*. Vol. 6, n.º 12. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía Argentina.

INE (2019). Aspectos geográficos. *Instituto Nacional de Estadística* [sitio web]. Bolivia. <https://www.ine.gob.bo/index.php/bolivia/aspectos-geograficos/>

INE (2020). Proyecciones de población, revisión 2020. *Instituto Nacional de Estadística* [sitio web]. <https://www.ine.gob.bo/index.php/censos-y-proyecciones-de-poblacion-sociales/>

INE (2022). Bolivia en cifras. *Instituto Nacional de Estadística*. Encuesta continua de empleo. Agosto de 2022.

INE (s.f.). Longitud de caminos según RED y rodadura 2020-2021. *Instituto Nacional de Estadística* [sitio web]. Cuadros estadísticos. Ministerio de Planificación del Desarrollo de Bolivia. <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/transportes/longitud-de-caminos-cuadros-estadisticos/>

INE (s.f.). Estadísticas. *Instituto Nacional de Estadística*. Santiago: INE. <https://www.ine.gob.cl/>

INEC (s.f.). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos* [sitio web]. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>

INEGI (2022). *Tasa de desocupación de 3,3% de la PEA*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEI (2022). *Instituto Nacional de Estadística e Informática* [sitio web]. Perú. <https://www.gob.pe/inei/>

Instituto de Desarrollo Urbano (2018). Protocolo para la presentación de productos, técnicas o tecnologías innovadoras para el desarrollo de la infraestructura vial o de espacio público a cargo del IDU. *Código IN-IC-019, Versión 2.0*. Bogotá D. C.

INVÍAS (1995). *“Microempresas asociativas” Una respuesta social para el mantenimiento vial*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transportes.

INVÍAS (2018a). Subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural. *Artículo 341P. Especificaciones Particulares de la Resolución 10099 del 27 de diciembre de 2017, “Por la cual se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1”*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7030-sub-base-estabilizada-con-una-mezcla-asfaltica-natural-articulo-321p-17>

INVÍAS (2018b). ART.442P. Mezcla asfáltica natural. *Artículo 442P. Especificaciones Particulares de la Resolución 10099 del 27 de diciembre de 2017, “Por la cual se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1”.* <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17>

INVÍAS (2022). *Metodología para la evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura de transporte.* Instituto Nacional de Vías. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/cnsc/sostenibilidad/13155-metodologia-para-la-evaluacion-de-la-sostenibilidad-de-los-proyectos-de-infraestructura-de-transporte-aika>

INVÍAS (2023). *Caminos Comunitarios de la Paz Total.* Instituto Nacional de Vías. <https://caminoscomunitarios.invias.gov.co/>

INVÍAS (s. f.). *Guía de diseño de pavimentos con placa-huella.* Instituto Nacional de Vías. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6644-guia-de-disenoo-de-pavimentos-con-placa-huella/file>

IPR (2007). Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificação de serviço. *Norma DNIT 098/2007 – ES.* Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro: Ministerio dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_098_2007_es.pdf

IPR (2010). Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. *Norma DNIT 139/2010 – ES.* Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro: Ministerio dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_139_2010_es-1.pdf

Jones, D. (2017). Guidelines for the selection, specification, and application of chemical dust control and stabilization treatments on unpaved roads. *Report Number UCPRC-GL-2017-0,3.* Davis, CA: University of California Pavement Research Center.

Jones, D., Kociolek, A., Surdahl, R., Bolander, P., Drewes, B., Duran, M., Fay, L., Huntington, G., James, D., Milne, C., Nahra, M., Scott, A., Vitale, B. y Williams, B. (2013). Unpaved road dust management. A successful practitioner’s handbook. *Report n.º FHWA-CFL/TD-13-001.*

Keller, G. y Sherar, J. (2004). *Ingeniería de caminos rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales.* Versión español producida por el IMT y la SICT de México.

La Voz de Tarija (2021). Alcaldía empedrará calles de 20 barrios de Tarija hasta fin de año. *La Voz de Tarija* [sitio web]. Bolivia.

Lente Regional (2018). Administración de El Paujil trabaja para cumplir exigencia de Corpoamazonia sobre Mina de Pavas. Facebook. Entrada del 8 de agosto. <https://www.facebook.com/watch/?v=1921771644545513>

Maher, M., Marshall, C., Harrison, F., Baumgaertner, K. (2005). Context sensitive roadway surfacing selection guide. *Publication n.º FHWA-CFL/TD-05-004* Washington, D. C.

Meyer, A. H. y Wilson, W. R. (1987). *Preliminary guidelines for material requirements of low-volume roads. Transportation Research Record 1106.* Fourth International Conference on Low Volume Roads. Ithaca, New York.

Ministerio de Transporte, INVÍAS y SENA (2009). *Plan Vial Regional. Cooperativas de trabajo asociado para realizar labores de mantenimiento rutinario vial.*

Ministerio de Transporte (2021). *Transporte en cifras 2021. Anuario Nacional de Transporte.* Ministerio de Transporte de Colombia.

Miranda Araya, J.C. (2013). *Presentación: Caminos básicos: Modalidades y alternativas de conservación de caminos no pavimentados.*

Monteverde, A. (1952). *Definición del término tosca.* Sexta reunión anual, Comisión Permanente del Asfalto, Córdoba, República Argentina, 14 a 18 de abril de 1952.

Morales, E. y Backhoff, M. A. (2022). Visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos 2021. *Notas n.º 196, art. 4.* Instituto Mexicano del Transporte. Actualizado el 15 de mayo de 2023. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=556&IdBoletin=197>

Morano, P. (2022). *Plan Vial de la Provincia de Buenos Aires-Argentina.* XVIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Septiembre de 2022. Buenos Aires. Argentina.

MTC (2004). *Estabilización química de suelos. Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado. MTC E 1109 -2004 Norma técnica de estabilizadores químicos.* Primera edición. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

MTC (2005). Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos. *Directiva n.º007-2005-MTC/14.* Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

MTC (2015). *Documento técnico. Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas.* Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

MTC (2022). *Estadística – Infraestructura de transportes – Infraestructura vial*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>

MTI (2013). *Manual para la rehabilitación de caminos con bajo volumen de tránsito empleando la técnica del empedrado*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Naciones Unidas (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Resolución aprobada por la Asamblea General de la Naciones Unidas el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1*. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>

Nogami, S. y Villibor, D. F. (1994). *Identificação expedita dos grupos da classificação para solos tropicais*. Anais do X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Foz do Iguaçu.

NRRDA (2021). *Use of coir geo textiles in the construction of road at Kerala*. PMP TV en YouTube: National Rural Roads Development Agency.

Oficina de Planeamiento y Presupuesto (2019). *Innovación en pavimentos de caminería rural. Aplicación de nuevas tecnologías. Prueba experimental de Paysandú. Informe final*. Estado de situación a mayo de 2019. Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Presidencia de Uruguay. https://www.opp.gub.uy/sites/default/files/documentos/2019-09/Pruebas_FING_Completo.pdf

OIT (2013). *Construction of low volume sealed roads. Good practice guide to labour-based methods*. Organización Internacional del Trabajo. https://www.ilo.org/global/topics/employment-intensive-investment/publications/WCMS_662367/lang--en/index.htm

Overby, C. y Pinard, M. (2007). *The Otta seal surfacing. An economic and practical alternative to traditional bituminous surface treatments*. Botswana: Norwegian Public Roads Administration & InfraAfrica Consultants.

Párraga Morales, D. (2013). *Implementación de la metodología MCT, aplicada al estudio geotécnico de suelos tropicales para su uso en pavimentos*. Cochabamba (Bolivia): Universidad Mayor de San Simón.

Peña, J. (2022). Los materiales asfálticos no convencionales en Colombia.

PNUD (2022). *Uncertain times unsettled lives: Shaping our future in a transforming world. Human Development Report 2021/22*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2021-22pdf_1.pdf

Ponte Social (s.f.). *Ponte Social* [sitio web]. <https://pontesocial.org.br/>

Porta da Cidade Loanda (2022). Mais de 65 quilômetros de estradas rurais da região de Loanda recebem melhorias. *Porta da Cidade Loanda* [sitio web]. Noticias. Agronegocio. <https://loanda.portaldacidade.com/noticias/agronegocio/mais-de-65-quilometros-de-estradas-rurais-da-regiao-de-loanda-recebem-melhorias-3254>

PROVIAS Descentralizado (2014). *Elaboración de la evaluación de impacto y la ampliación de la línea de base del Programa de Transporte Rural Descentralizado (PTRD)*. Proyecto especial de infraestructura de transporte descentralizado. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima: Gobierno de Perú.

Registro Nacional de Personas (2021). *Población urbana en Argentina. Evolución y distribución espacial a partir de datos censales*. Dirección Nacional de Población. Registro Nacional de Personas. Ministerio del Interior de Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/poblacion_urbana_dnp.pptx_.pdf

Rocci, S. (2012). La regla del 5. *Rutas*, n.º 152. Tribuna abierta. Septiembre-octubre de 2012. Revista de la Asociación Técnica de Carreteras. Comité Nacional de la Asociación Mundial de Carreteras. http://www.atc-piarc.com/rutas_descargar.php?numID=152

Rolt, J., Mukura, K. y Otto, A. (2020). *Development of a simplified agency life-cycle costing tool for gravel roads*. Basilea, Suiza: MDPI. https://www.youtube.com/watch?v=3HhecRcknHw&ab_channel=RichlandCityView

Rolt, J., Otto, A., Mukura, K., Reeves, S., Hine, J., Musenero, L., TRL Limited (2020). *Rural road note 01: A guide on the application of pavement design methods for low volume roads*. Primera edición. Londres: ReCAP for UK aid.

Ruenkraiters, T. (1987). Proposed specifications of soil aggregates for low-volume roads. *Transportation Research Record 1106*. Fourth International Conference on Low Volume Roads. Ithaca, New York.

Ruiz, C. L. (1969). *Sobre el criterio de calidad para las mezclas de suelo calcáreo-arena-asfalto*. Decimosexta reunión anual, Comisión Permanente del Asfalto, Santa Fe, República Argentina, 17 a 21 de noviembre de 1969.

Rushing, J. F. y Tingle, J. S. (2006). Dust control field handbook. Standard practices for mitigating dust on helipads, lines of communication, airfields, and base camps. *Final Report ERDC/GSL SR-06-7*. Vicksburg, MS: Geotechnical and Structures Laboratory, U.S. Army, Engineer Research and Development Center.

SADC (2003). *Guideline low-volume sealed roads*. Gaborone, Botswana: Southern African Development Community.

Sánchez Sabogal, F. (2022). *Apuntes para una historia sobre los métodos utilizados en Colombia para el diseño de pavimentos de calles y carreteras.*

Schliessler, A. y Bull, A. (1994). *Caminos. Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales.* Naciones Unidas. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL).

Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (s. f.). *Estradas da Integração.* Paraná Governo do Estado [sitio web]. <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Estradas-da-Integracao>

Secretaría de Infraestructura (2020). *Plan Vial Departamental del César 2020-2030.* Lo hacemos mejor. Gobierno del César. Valledupar.

Secretaría del Medio Ambiente (2021). Aviso por el que se da a conocer la norma ambiental para la Ciudad de México NACDMX-007-RNAT-2019, que establece la clasificación y especificaciones de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México, del 20 de julio de 2021*, pp. 95-129. http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/proyectos-normas/NACDMX_007_RNAT_2019.pdf

Serrera, R. M. (1992). *Tráfico terrestre y red vial en las Indias españolas.* España: Ministerio del Interior.

SICT (2020). *Guía técnica, administrativa operativa para la pavimentación de caminos a cabeceras municipales, con uso intensivo de la mano de obra.* Ciudad de México: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. https://www.dof.gob.mx/2021/SCT/GUIA_TECNICA_2021.pdf

Sociedad Colombiana de Ingenieros (2004). *Informe troncal Transmilenio autopista Norte.* Bogotá.

Soloaga, I., Plassot, T., Reyes, M. (2022a). *Caracterización de los espacios rurales en México a partir de estadísticas nacionales.* Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Soloaga, I., Plassot, T., Reyes, M. (2022b). *Lo rural y lo urbano en México. Una nueva caracterización a partir de estadísticas nacionales.* Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Texas Department of Transportation (2005). *Guidelines for modification and stabilization of soils and base for use in pavement structures.* Austin, TX: Texas Department of Transportation.

Thenoux Zeballos, G. (2022). Webinar *Ingeniería y tecnología para caminos de bajo volumen de tránsito: una visión conceptual y un nuevo enfoque de diseño.* Gobernación de Antioquia, Secretaría de Infraestructura Física.

Tingle, J. S., Newman, J. K., Larsoon, S. L., Weiss, C. A. y Rushing, J. F. (2007). Stabilization mechanisms of nontraditional additives. *Transportation Research Record n.º 1989*. vol. 2. Washington, D. C.: Transportation Research Board of the National Academies.

Transport & ICT (2016). *Measuring rural access: Using new technologies*. Banco Mundial. Licencia: Creative Commons Attribution CC BY 3.0, Washington D. C. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/367391472117815229/pdf/107996-REVISED-PUBLIC-MeasuringRuralAccessweb.pdf>

TRRL (1981). Maintenance techniques for district engineers. *Overseas road note 2* [Técnicas de mantenimiento para ingenieros de distrito. Nota para carreteras en ultramar 2]. Crowthorne, Berkshire (Reino Unido): Transport and Road Research Laboratory. [https://trl.co.uk/uploads/trl/documents/ORN2%20\(2nd%20Ed\).pdf](https://trl.co.uk/uploads/trl/documents/ORN2%20(2nd%20Ed).pdf)

UCEN (s.f.). *Datos generales sobre Chile*. Universidad Central de Chile [sitio web]. https://www.ucentral.cl/datos-generales-sobre-chile/prontus_ucentral2012/2012-07-12/151845.html

UPME y UIS (2018). *Realizar un análisis del potencial de reutilización de minerales en Colombia y definir estrategias orientadas a fomentar su aprovechamiento por parte de la industria en el país bajo el enfoque de economía circular*. Entregable 3. Documento de análisis nacional. Bucaramanga (Colombia): Unidad de Planeación Minero-Energética y Universidad Industrial de Santander. <https://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20Análisis%20Nacional.pdf>

Vialidad Nacional (1998). Pliego de especificaciones técnicas generales. *Publicación 101/102*. Ministerio de Transporte.

Villibor, D. F., Nogami, J. S., Cincerre, J. R., Miranda Cerra, P. R., Zuppolini Neto, A. (2009). *Pavimentos de baixo custo para vias urbanas. Bases alternativas com solos lateríticos. Gestão de manutenção de vias urbanas*. 2ª edição São Paulo: Editora Arte & Ciência.

WEF (2019). *The global competitiveness report 2019*. Ginebra: Foro Económico Mundial. https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf

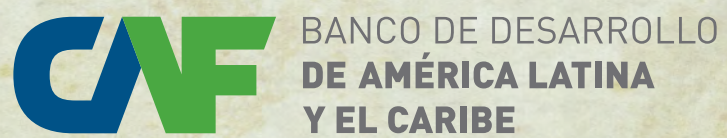
Whalley, O. (2016). Geocells for affordable low volume pavements. *2nd IRF Asia Regional Congress & Exhibition, Connecting Asia with Better Roads*. Kuala Lumpur, Malaysia, October 16-20, 2016. Sidney (Australia): Banco Mundial.

Wilches-Chaux, G. (2006). *Brújula, bastón y lámpara para trasegar los caminos de la educación ambiental*. Primera edición. ISBN: 978-958-8491-70-7 <https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/35711/00419.pdf?sequence=1>

Wilches-Chaux, G. (2007). *¿Qu-ENOS pasa? Guía de La Red para la gestión radical de riesgos asociados con el fenómeno ENOS*. Bogotá: La Red. <https://www.desenredando.org/public/libros/2007/quENOSpasa/>

Wilches-Chaux, G. (2014). *WitchesChaux* *twit* del 10 de diciembre de 2014. X. Republicada en Libreta de notas de un viajero frecuente [blog]. De Bogotá a Guayaquil: ruta de volcanes. Entrada del 28 de octubre de 2018. <http://wilchesviajerofrecuente.blogspot.com/2018/10/de-bogota-guayaquil-ruta-de-volcanes.html>, <https://twitter.com/wilcheschaux/status/542742474176098305>

Wu, Z., Groeger, J. L., Simpson, A. L. y Hicks, R. G. (2010). Performance evaluation of various rehabilitation and preservation treatments. *Report n.º FHWA-HIF-10-020*. Washington, D. C.



**BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE**