



GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA

Título:

GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA

Depósito legal: DC2018001316

ISBN: 978-980-422-097-5

Editor: CAF

Vicepresidencia de Infraestructuras
Dirección de Análisis y Programación Sectorial
Mónica López, Especialista Vial

Vicepresidencia de Desarrollo Social
Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático
Ligia Castro, Directora Corporativa

Vicepresidencia de Riesgos
Unidad de Gestión de Riesgos Ambientales y Sociales (UGRAS)
Edgar Salas, Ejecutivo Senior
Sandra Mendoza, Ejecutiva Principal

Autores:

Elena de la Peña
Jacobo Díaz
Marta Rodrigo
Enrique Miralles
Lourdes Díaz
Santiago Valdés
Luis Canalda

Diseño Gráfico y Maquetación:

JR Molinero & Servicios Integrales de Comunicación, s.l. - Junio de 2018

Con la colaboración de:

Juan Fernando Mendoza
Juan Carlos Orrego
Gilberto Romero
Angel Arcones
Jacinto Luis García

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

© 2018 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.

PRESENTACIÓN

Las acciones relacionadas con la gestión de riesgos de desastres y las medidas de mitigación y adaptación al clima en el sector del transporte están cobrando una atención creciente a nivel internacional; específicamente en el sector vial se han identificado algunos eventos climáticos en la región de América Latina y El Caribe en los últimos años, que están impactando en la vida útil de las infraestructuras. Así por ejemplo, los fenómenos del Niño y la Niña o las tormentas tropicales y huracanes en Centroamérica y la zona del Caribe, han provocado elevadas pérdidas en las carreteras de algunos países (Colombia: 2% PIB en pérdidas en la ola invernal 2010-2011).

Por otro lado, CAF – banco de desarrollo de América Latina tiene una identidad fuertemente asociada con la financiación de proyectos de transporte, y por lo tanto tiene un fuerte interés en la preservación de activos de infraestructura. Esto se pone de manifiesto en los USD 5.300 millones de la cartera en vialidad, que supone un 23% de la cartera total del banco y más de un 70% de la cartera de la Vicepresidencia de Infraestructuras (VIN).

A esto cabe añadir que CAF, como agencia implementadora de Fondos Verdes, promueve acciones dentro de su agenda de conocimiento que contribuyen a la consecución de los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático de la comunidad internacional, con el fin de que estos Fondos Verdes se conviertan en el principal mecanismo de financiamiento multilateral para apoyar las acciones climáticas en los países de la Región.

En este contexto, CAF está incorporando en su agenda de conocimiento líneas de trabajo que incluyen por un lado la sostenibilidad de los proyectos y por otro la eficiencia de las inversiones destinadas a dotar de mayor resiliencia las infraestructuras del transporte, entendiendo que un mayor conocimiento en la materia contribuirá a asegurar que las inversiones se orienten a infraestructuras menos vulnerables, que permitan desarrollar una economía competitiva y mantener servicios a largo plazo que soporten las expectativas de desarrollo.

Con este propósito se ha elaborado esta **Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima**, máxime en la situación actual de grandes inversiones en planes de infraestructuras en la Región, que prevén la construcción de nuevas carreteras y la rehabilitación y mejora de las redes existentes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	5
1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	9
1.1. INTRODUCCIÓN	10
1.2. ANTECEDENTES	13
1.3. OBJETIVOS	15
2. CARRETERAS Y CAMBIO CLIMÁTICO. MARCO CONCEPTUAL	18
2.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	19
2.2. RIESGO CLIMÁTICO Y DESARROLLO DE CARRETERAS	20
2.2.1. Amenazas y vulnerabilidad en el contexto del desarrollo de carreteras	20
2.2.2. Metodologías para el análisis del riesgo climático	23
2.3. LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA BAJO UNA SITUACIÓN DE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS	28
2.3.1. Fases en las que deben implementarse las medidas de adaptación	29
2.3.2. Información necesaria para definir las medidas de adaptación	31
2.3.3. Acciones de monitoreo de las medidas de adaptación	33
2.4. IDENTIFICACIÓN DE ACTORES Y ROLES	36
3. ACCIONES DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA	44
3.1. LIDERAZGO INSTITUCIONAL	49
3.2. MARCOS LEGISLATIVO, CONTRACTUAL Y NORMATIVO	50
3.3. PLANES Y PROGRAMAS	54
3.4. ASIGNACIÓN PRESUPUESTARIA	56
3.5. CAPACITACIÓN	58
3.6. INFORMACIÓN DE REFERENCIA	60
3.7. NORMATIVA Y GUÍAS TÉCNICAS	62
3.8. MONITOREO DE RESULTADOS	63
3.9. PROGRAMAS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO	65
3.10. ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	67
3.11. RESUMEN DE ACCIONES DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS A LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS	69
4. MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS MÁS RESILIENTES	71
4.1. DIAGNÓSTICO Y APROXIMACIÓN INICIAL	72
4.1.1. Taludes	76
4.1.2. Drenaje	77
4.1.3. Estructuras	78
4.1.4. Pavimentos	79

4.2. REVISIÓN DE LA NORMATIVA EXISTENTE Y RECOMENDACIONES	80
4.2.1. Geotecnia y taludes	80
4.2.2. Hidrología y drenaje	81
4.2.3. Estructuras	85
4.2.4. Pavimentos	86
4.2.5. Tabla resumen de aspectos normativos a considerar	87
4.3. FICHAS TÉCNICAS	88
4.3.1. Geotecnia y taludes	89
4.3.2. Hidrología y drenaje	99
4.3.3. Estructuras	104
4.3.4. Pavimentos	107
5. CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXOS	121
ANEXO 1: CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE DE LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	122
ANEXO 2: CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE PROSPECCIÓN AL SECTOR PÚBLICO	125
ANEXO 3: GLOSARIO	128

RESUMEN EJECUTIVO

La adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar, con el fin de reducir costos futuros y **maximizar la rentabilidad de las inversiones**. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con herramientas de gestión ambiental, de planificación y de gestión de riesgo de desastres.

Siempre ha existido una estrecha relación entre el clima y la infraestructura vial; sin embargo, los cambios acelerados que se están produciendo hacen que los datos climáticos históricos que se utilizan actualmente no sean suficientes para una adecuada gestión de la infraestructura. Este hecho pone de manifiesto que si la planificación y el diseño de las carreteras continúan realizándose ateniéndose tan solo a las prácticas habituales de ingeniería en la región y a los datos históricos existentes, es muy probable que no sea posible dar respuesta a los eventos climáticos que vienen sucediéndose en los últimos años y que, previsiblemente, se repetirán en el futuro. La consecuencia de esto es que **podría llegar a ponerse en duda la sostenibilidad de la infraestructura y la eficiencia económica de las inversiones**.

La Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima que ha elaborado CAF - banco de desarrollo de América Latina, persigue generar conocimiento acerca de la importancia de definir infraestructuras adaptadas al clima durante todo su ciclo de vida, así como mostrar ejemplos, acciones y medidas de buenas prácticas que pudieran ser de utilidad para aplicar a los proyectos de carreteras. La Guía contempla tanto las carreteras de nueva construcción como la red vial en servicio, y propone medidas de adaptación desde dos puntos de vista complementarios: la **planificación estratégica**, que supone la creación de un marco apropiado en los ámbitos institucional, legal y social que permita la implantación de las medidas de adaptación, y las **medidas específicas** para su aplicación a los nuevos proyectos y a las vías ya abiertas al tráfico, que buscan mostrar algunas de las buenas prácticas de la ingeniería para el diseño y construcción de infraestructuras más resilientes.

Las acciones de planificación estratégica son el contexto para el desarrollo de medidas posteriores de tipo técnico, por lo que su puesta en marcha es, si cabe, aún más prioritaria que las propias medidas específicas. En este contexto, la Guía

plantea, desde una perspectiva global, un procedimiento de trabajo basado en los escalones que se definen a continuación:

1. El primer paso para trabajar en la adaptación de las carreteras al clima es lograr un **verdadero compromiso institucional** que permita establecer políticas, planes, asignaciones presupuestarias, así como realizar acciones de fortalecimiento institucional para garantizar que los gobiernos estén preparados para liderar el cambio conceptual que inevitablemente debe producirse.
2. Una vez garantizado y asumido el establecimiento de una verdadera política de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos, llega el momento de **generar planes específicos de adaptación de las carreteras al clima**.
3. Tan pronto como se aseguren las bases anteriormente descritas, es fundamental **crear un entorno colaborativo de trabajo por la adaptación al clima**; bajo este término se engloba la predisposición a la cooperación en este ámbito por parte del sector público, el sector privado, la academia, los medios de comunicación y la sociedad en su conjunto.
4. La **implantación y monitoreo de medidas de adaptación al clima** deberían realizarse sobre la base de los escalones anteriores, a fin de garantizar la sostenibilidad de las acciones que se lleven a cabo.

Adicionalmente a este esquema global de trabajo, que supone la creación de un marco institucional adecuado (escalones 1, 2 y 3), la Guía también contempla la implantación de medidas específicas para nuevos proyectos y en vías ya abiertas al tráfico (escalón 4), con independencia de la consideración de los escalones anteriores.

El siguiente gráfico hace referencia a las acciones que se deben considerar para cada uno de los escalones definidos:



Entre las medidas específicas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos se consideran cuatro grandes ámbitos de trabajo de la Ingeniería: geotecnia y taludes, hidrología y drenaje, estructuras y pavimentos. Para cada uno de estos ámbitos se han definido las siguientes medidas:

ÁMBITO	MEDIDA
GEOTECNIA Y TALUDES	Mejora de la estabilidad de taludes: tendido de taludes y plantaciones.
	Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de desmonte.
	Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de rellenos.
	Mejora de la estabilidad de taludes: soluciones alternativas a desmontes y terraplenes (túneles y viaductos).
	Mejora de la estabilidad de taludes: desplazamiento del eje de la carretera.
	Mejora de la estabilidad de taludes: ejecución de falso túnel.
	Mejora de la protección de taludes: concreto hidráulico proyectado.
	Mejora de la protección de taludes: solución combinada entre medidas de bioingeniería y drenaje superficial.
	Mejora de la protección de taludes: protección de rellenos inundables.
Plan de monitoreo del estado de los taludes.	
HIDROLOGÍA Y DRENAJE	Estudio de detalle en cuencas y microcuencas.
	Mejora de drenaje en bajantes: areneros y disipadores de energía.
	Mantenimiento del cauce natural y protección de cauces y riberas: solución conjunta con obras de drenaje transversal, encauzamiento y sistemas de protección.
	Mejora del sistema de desagüe y control de caudales en cuencas aguas abajo: estanques de laminación.
	Mejora del sistema de desagüe y control del arrastre de sólidos (azudes de retención).
ESTRUCTURAS	Mejora del análisis dinámico del cauce / estructura: estudios de socavación en cimentaciones.
	Mejora del drenaje de las estructuras en los tableros.
	Implantación de obras de drenaje transversal de tipo preventivo en estribos de estructuras ejecutadas en terraplén.
PAVIMENTOS	Mejora del comportamiento del pavimento al aumento de las temperaturas.
	Empleo de pavimentos de concreto.
	Reducción de tiempos / longitud de recorrido de escorrentías por medio de hendiduras en el pavimento.

1.

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1.

INTRODUCCIÓN

El Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), órgano científico de referencia mundial en este ámbito, señala recurrentemente la necesidad de adaptar las infraestructuras para disminuir la vulnerabilidad ante la variabilidad y cambio climáticos. Los cambios que se están produciendo afectan a la infraestructura social y productiva de los países, a sus inversiones y a su sostenibilidad, por lo que es importante tener en cuenta todas las consideraciones posibles para blindarlas frente a aquellas transformaciones.

Si bien se están desarrollando mecanismos de adaptación en todo el mundo, los avances que se han conseguido no son homogéneos. El IPCC identifica que en regiones como América del Norte y Europa se está trabajando en políticas de adaptación transversal en todos los ámbitos de gobierno, protegiendo infraestructuras de transporte y energéticas. En América Latina se está empezando a trabajar en esta línea; un ejemplo de ello son los esfuerzos realizados por Colombia para la adaptación de sus carreteras a los efectos de la variabilidad climática, a través del Plan Vías CC: vías compatibles con el clima (Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Planeación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)¹.

Se estima que el efecto del fenómeno El Niño en el año 1997 supuso un impacto de 1.700 millones de dólares en el transporte de América Latina². El fenómeno de “La Niña” en 2010 y 2011 en Colombia afectó notablemente a la infraestructura vial del país; más de 31.635 kilómetros de carreteras resultaron afectados, de los cuales casi el 10% correspondían a la red primaria. El impacto económico total de los daños causados en las infraestructuras superó los 3.2 billones de pesos colombianos (Ministerio de Transportes, 2014)³. En Paraguay, el evento “El Niño” de 2015-2016 trajo consigo lluvias extraordinarias que supusieron la destrucción de 40 puentes y la necesidad de rehabilitar más de 11.000 kilómetros de caminos vecinales; los daños y pérdidas superaron los 220 millones de dólares y las necesidades de reconstrucción sobrepasaron los 150 millones de dólares (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2016)⁴. Son sólo algunos ejemplos del impacto que el clima ha tenido en la red vial.

¹ http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Plan_V%C3%ADas-CC_V%C3%ADas-Compatibles_con_el_Clima.pdf

² <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2015/12/el-nino-como-mitigar-sus-efectos-en-el-sector-transporte/?parent=22685>

³ <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2013/07/Documento-Visi%C3%B3n-Sector-Vial-y-CC.pdf>

⁴ Referencia no disponible.

Se estima que un 25% de las pérdidas por desastres naturales en la Región son asumidas por el sector transportes⁵. La adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar, con el fin de reducir costos futuros y maximizar la rentabilidad de las inversiones. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con componentes de gestión ambiental, de planificación y de gestión de riesgo de desastres.



Figura 1: Cuadro resumen del enfoque de adaptación de carreteras a la adaptación y cambio climáticos (CAF – banco de desarrollo de América Latina).

⁵ <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2015/12/el-nino-como-mitigar-sus-efectos-en-el-sector-transporte/?parent=22685>

Siempre ha existido una estrecha relación entre el clima y la infraestructura vial; sin embargo, los cambios acelerados que se están produciendo hacen que los datos climáticos históricos que se utilizan actualmente no sean suficientes para una adecuada gestión de la infraestructura. Este hecho pone de manifiesto que si la planificación y el diseño de las carreteras continúan realizándose atendiendo tan solo a las prácticas habituales de ingeniería en la región y a los datos históricos existentes, es muy probable que no sea posible dar respuesta a los eventos climáticos que vienen sucediéndose en los últimos años y que, previsiblemente, se repetirán en el futuro. La consecuencia de esto es que **podría llegar a ponerse en duda la sostenibilidad de la infraestructura y la eficiencia económica de las inversiones.**

La Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima que está promoviendo CAF - banco de desarrollo de América Latina, persigue generar conocimiento acerca de la importancia de definir infraestructuras adaptadas al clima durante todo su ciclo de vida, así como mostrar ejemplos, acciones y medidas de buenas prácticas que pudieran ser de utilidad para aplicar a los proyectos de carreteras. La Guía contempla tanto las carreteras de nueva construcción como la red de carreteras ya en servicio.

La Guía se estructura en cuatro bloques diferenciados además de las conclusiones y anexos:

- Una parte inicial que comprende la introducción, los antecedentes y los objetivos
- Un capítulo conceptual en el que se revisan los principios de la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos
- Una descripción de acciones de planificación estratégica para la adaptación de las carreteras al clima
- Un conjunto de medidas técnicas específicas para la adaptación a lo largo de todo el ciclo de vida de las carreteras
- Conclusiones
- Unos anexos que hacen referencia al análisis del estado del arte de la adaptación de las carreteras al clima en América Latina y el Caribe, las conclusiones de un estudio de prospección realizado en la Región e incluyen un glosario de los términos más frecuentes

1.2.

ANTECEDENTES

La situación actual en la Región de América Latina y el Caribe presenta una cierta heterogeneidad entre los países que la conforman: mientras que algunos han comenzado a desarrollar planes de adaptación, otros se encuentran en fases muy incipientes, aunque se reconoce, de manera generalizada, la necesidad de actuar en este ámbito en todos los estados.

Las entidades multilaterales están desplegando ambiciosos programas de ayuda para la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, aunque la aplicación a las infraestructuras carreteras es relativamente reciente y las experiencias existentes son limitadas. A escala nacional, resulta preocupante la falta de coordinación entre diferentes autoridades de los gobiernos de los países, generalmente entre los responsables de las obras públicas y transportes y los titulares de medio ambiente; así mismo, la falta de coordinación se traslada a las relaciones nacionales y subnacionales. Este será, sin duda, uno de los grandes retos de los próximos años, junto con la transferencia de información y el establecimiento de contactos en la Región.

Carretera Monteagudo –
Muyupampa (Bolivia);
impacto por fuertes lluvias
en marzo de 2018.



Fuente: Equipo de evaluación de CAF – banco de desarrollo de América Latina.

En la siguiente tabla se incluye la situación de los países de la Región a fecha de agosto de 2017, situación que previsiblemente se verá modificada en el corto y medio plazo (en el anexo 1 figura un análisis del estado del arte realizado en esa fecha).

PAÍS	Legislación en materia de Cambio Climático	Estrategia o Política de Cambio Climático	Plan de Acción o de Adaptación al Cambio Climático	Estrategias específicas en Infraestructuras / Carreteras	Acciones de adaptación de carreteras al clima
 ARGENTINA	NO	SÍ	NO	NO	NO
 BARBADOS	NO	SÍ	NO	NO	NO
 BOLIVIA	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
 BRASIL	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
 COLOMBIA	SÍ (Proyecto Ley)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
 COSTA RICA	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
 CHILE	NO	SÍ	SÍ	En desarrollo	SI
 ECUADOR	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
 EL SALVADOR	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ
 GUATEMALA	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
 HONDURAS	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
 JAMAICA	NO	SÍ	NO	NO	SÍ
 MÉXICO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
 NICARAGUA	NO	SÍ	NO	NO	SÍ
 PANAMÁ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
 PARAGUAY	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ
 PERÚ	SÍ (Proyecto Ley)	SÍ	SÍ	NO	SÍ
 REPÚBLICA DOMINICANA	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
 TRINIDAD Y TOBAGO	NO	SÍ	NO	NO	NO
 URUGUAY	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
 VENEZUELA	NO	SÍ	NO	NO	NO

Tabla 1: Análisis del estado del arte de la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en la Región de América Latina y el Caribe en agosto de 2017 (*Elaboración propia*).

Entre las experiencias destacadas en los países de la Región en materia de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos principalmente, merece la pena destacar las siguientes:

- ✓ Plan de adaptación de las carreteras federales a desastres naturales recurrentes (Brasil).
- ✓ Inclusión de criterios de adaptación al cambio climático en el manual de carreteras (Chile).
- ✓ Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de adaptación de la red vial primaria (Colombia).
- ✓ Estudio de riesgo climático para la red vial primaria de Colombia a nivel nacional (Colombia).
- ✓ Creación de una unidad específica de adaptación al cambio climático en el seno del Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador: Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica del Riesgo (DACGER).
- ✓ Políticas de cambio climático en infraestructuras (El Salvador).
- ✓ Planes de adaptación al cambio climático para carreteras (México).
- ✓ Evaluación del impacto de El Niño 2015-2016 en sector transporte y comunicación (Paraguay).
- ✓ Evaluación de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático del sector transportes (Perú).

Ante la situación actual, es el momento de actuar para adaptar las infraestructuras viales a los efectos de la variabilidad y cambio climáticos; para ello es necesario **promover enfoques integrales**, con la participación de todos los departamentos gubernamentales en los países de América Latina y el Caribe, y la colaboración de entidades multilaterales, de manera que se pueda afrontar de manera efectiva y eficaz uno de los grandes retos del presente y el futuro: la sostenibilidad de la infraestructura vial y su impacto económico y social en los países.

1.3.

OBJETIVOS

La Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima persigue los siguientes objetivos:

- ✓ Dar respuesta a cuestiones básicas acerca de la importancia de incorporar medidas de adaptación al clima en los proyectos de carreteras (capítulo 2).
- ✓ Guiar a los responsables de políticas públicas en la identificación de medidas que puedan aplicar a los proyectos de carreteras, desde la planificación estratégica hasta los componentes técnicos y ambientales (capítulo 3).

- ✓ Identificar medidas específicas que se puedan implementar en los proyectos de carreteras y en la red vial en servicio, a lo largo de todo su ciclo de vida (capítulo 4).

El público objetivo al que va dirigida la Guía engloba todas las fases de un proyecto de carreteras:



Figura 2: ¿A quién va dirigida la Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima? (Elaboración propia).

Cierre total de la vía
Santa Cecilia - Puerto
Rico debido a un
derrumbe en
Colombia.



Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia.

2.

CARRETERAS Y CAMBIO CLIMÁTICO.
MARCO CONCEPTUAL

2

CARRETERAS Y CAMBIO CLIMÁTICO. MARCO CONCEPTUAL

2.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

En la literatura científica sobre cambio climático se manejan con frecuencia términos que encierran similitudes, pero también ciertas diferencias que deben ser aclaradas en el contexto de esta Guía; se trata de los conceptos de “clima”, “cambio climático” y “variabilidad del clima”. Los conceptos mencionados se resumen en la siguiente tabla, donde figuran las definiciones recogidas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, y una explicación trasladada al ámbito de interés de esta Guía, así como las fuentes de información:

	CLIMA	VARIABILIDAD DEL CLIMA	CAMBIO CLIMÁTICO
DEFINICIÓN (IPCC, 2014) ⁶	Estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años (el período de promedio habitual es de 30 años). Las magnitudes son, casi siempre, variables de superficie (por ejemplo: temperatura, precipitación o viento).	Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa).	Variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.
CONSIDERACIÓN EN EL ÁMBITO DE LAS CARRETERAS	En las actividades de planificación, diseño, construcción y gestión de las carreteras siempre se toma en consideración el clima.	Existe una necesidad de incorporar análisis hidro-climáticos más profundos en el desarrollo de nuevas carreteras y en la gestión de la red vial existente, que tomen en cuenta tanto las incidencias debido al cambio climático como los eventos extremos, enmarcados en la variabilidad climática (por ejemplo, El Niño o La Niña).	Es necesario mejorar las proyecciones del cambio climático, a mediano y largo plazo, identificando con claridad los escenarios aplicables a cada región en particular y ligando los resultados de modelos globales a los datos específicos del terreno, tanto para el desarrollo de nuevas carreteras como para la gestión de la red vial existente.
FUENTE DE INFORMACIÓN	Registros históricos de datos hidrometeorológicos, de viento y de temperatura.	Registros históricos de datos hidrometeorológicos, de viento y de temperatura obtenidos de los eventos extraordinarios y estimaciones futuras de parámetros climáticos, principalmente precipitación, viento y temperatura. Modelos de circulación globales y regionales	Registros históricos de datos hidrometeorológicos, de viento y de temperatura y estimaciones futuras de parámetros climáticos, principalmente precipitación, viento y temperatura, para los próximos 20-70 años. Modelos de circulación globales y regionales.

Tabla 2: Consideración de los conceptos de clima, variabilidad climática y cambio climático en el desarrollo de carreteras (Elaboración propia y fuentes citadas).

⁶ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

En el Anexo 3 de esta Guía se incluye un conjunto de definiciones de interés, así como su consideración en este contexto.

2.2.

RIESGO CLIMÁTICO Y DESARROLLO DE CARRETERAS

En relación a la vulnerabilidad de las infraestructuras, es preciso hacer referencia al concepto de riesgo que establece la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

El IPCC define *riesgo* como las consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores (IPCC, 2014)⁷.

Se define *amenaza* como un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, 2009)⁸.

La *vulnerabilidad* se define como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente; comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014)⁹.

2.2.1.

Amenazas y vulnerabilidad en el contexto del desarrollo de carreteras

La variabilidad y cambio climáticos tiene consecuencias significativas en las infraestructuras viarias. Debido a la duración de la vida útil de las carreteras, que puede superar los 50 años, aquéllas no sólo son sensibles al clima en el momento de su construcción, sino también a las variaciones del clima décadas después. Para aumentar la resiliencia de las carreteras de nueva construcción y de la red vial ya en servicio debería gestionarse adecuadamente el impacto que el clima puede producir en ellas a lo largo de su vida útil.

De ahí que los nuevos diseños de carreteras deban planificarse, diseñarse, construirse y mantenerse teniendo en cuenta los datos históricos, los condicionantes del clima actual y las previsiones climáticas estimadas hasta el final de la vida útil de la infraestructura. Por su parte, la red vial existente debe adaptarse a las circunstancias del clima mediante acciones de mejora, aprovechando programas de rehabilitación, mantenimiento o acondicionamiento, o llevando a cabo actuaciones específicas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos.

⁷ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁸ https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

⁹ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

Por ejemplo, según los expertos, el cambio climático tiene una incidencia que oscila entre el 5 y el 10% en términos de caudales de diseño, pero es evidente que incide en la distribución de la precipitación, en la demanda adicional a los sistemas hídricos y, sobre todo, en la frecuencia y distribución de los eventos extremos.

No sólo el aumento de la precipitación supone una amenaza potencial con efectos importantes sobre las carreteras, si no que existen otras, como los fuertes vientos o el aumento de la temperatura que también deben considerarse. En la siguiente

AMENAZA CLIMÁTICA POTENCIAL	IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE CARRETERA
Incremento de precipitación y tormentas	<ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones en las carreteras • Daños en pilares, puentes y estructuras de soporte • Daños en las distintas capas del pavimento • Daño a la infraestructura de transporte debido al incremento de los deslizamientos • Sobrecargas de los sistemas de drenaje • Cambios en los patrones superficiales de escorrentía • Deterioro de la integridad estructural de carreteras, puentes y túneles debido al incremento de la humedad en las estructuras
Vendavales o vientos fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Caída de árboles, equipamiento u otros elementos sobre la calzada • Inestabilidad de los vehículos en carreteras y puentes • Incremento de la erosión de taludes y terraplenes • Daños estructurales a los puentes • Rotura de la señalización vertical de gran tamaño
Incremento de condiciones de sequía y fuegos en algunas regiones	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la cubierta vegetal en los márgenes • Daño de la infraestructura por incremento de fuegos y por aumento de la erosión, y movimientos en masa como consecuencia de la pérdida de la capa vegetal quemada
Incremento de días muy calurosos y olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión térmica de las juntas de puentes y pavimentos de hormigón • Daños en el pavimento (surcos, ablandamientos y exudación, entre otros)
Incremento del nivel del mar y oleadas	<ul style="list-style-type: none"> • Daño a autopistas, carreteras, túneles subterráneos y puentes debido a inundaciones, anegamientos permanentes en áreas costeras, y erosión costera • Daño a la infraestructura por subsidencia del terreno y deslizamientos
Incremento de temperaturas en áreas muy frías	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la subsidencia de carreteras y debilitamiento de soportes de puentes debido a descongelamiento de permafrost.
Congelamiento tardío/ descongelamiento temprano en permafrost	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro del pavimento debido al incremento de los ciclos de congelamiento/descongelamiento • Reducción del deterioro del pavimento en lugares donde se registra una menor exposición al congelamiento, nieve o hielo (impacto positivo)

Tabla 3: Amenazas climáticas e impactos previsible en carreteras (CAF - banco de desarrollo de América Latina, Mendoza J.F, Trejo J.A, 2015).

tabla se enumeran las amenazas y repercusiones más significativas en los proyectos de carreteras, cuyo impacto se ha tenido en cuenta en los diseños viarios, y que agravándose actualmente a causa de la variabilidad y cambio climáticos (Mendoza J.F, Trejo J.A, 2015).

La consideración del efecto del clima en las infraestructuras debe atender a los siguientes puntos de partida:

- ✓ Históricamente, en el **diseño de carreteras se tiene en cuenta las condiciones climáticas** (por ejemplo, el diseño del drenaje considera las previsiones de lluvia, el cálculo de estructuras como los puentes toma en consideración las cargas de viento); sin embargo, las condiciones de variabilidad y cambio climáticos actuales requieren la modificación de las previsiones, superando la utilización de los registros meteorológicos del pasado (por ejemplo, las series de los últimos 20-30 años) e incorporando adicionalmente las previsiones futuras (para los próximos 20-70 años), con las estimaciones de la incidencia del cambio climático, además de los registros obtenidos durante los eventos extremos. La adaptación a las nuevas condiciones requerirá, en la mayor parte de los casos, un costo adicional, cuya rentabilidad económica deberá valorarse junto con los beneficios obtenidos de la reducción de los impactos en la red vial.
- ✓ En el análisis del riesgo, la **vulnerabilidad** de las infraestructuras debe considerarse desde una **perspectiva global**, teniendo en cuenta la localización de la red de carreteras, su importancia en el conjunto del sistema de transporte, la vida útil de la infraestructura, su funcionalidad, estado de conservación, características y tipología de los pavimentos, población afectada en caso de no poder utilizar la carretera, valor patrimonial de la vía e indicadores de accesibilidad en las zonas a las que la carretera da servicio, entre otros factores; en cuanto a las **amenazas**, éstas deben cuantificarse desde una **perspectiva específica**, propia del nivel del proyecto de una carretera.
- ✓ Las medidas de adaptación deben ser objeto de un **análisis costo-beneficio**; de esta manera, parece razonable realizar un estudio jerarquizado de la red vial, de manera que se establezcan parámetros de vulnerabilidad según la importancia de la misma, garantizando la provisión de la accesibilidad.
- ✓ Como complemento al punto anterior, es importante hacer hincapié en el concepto de **redundancia**, entendido como la disponibilidad de alternativas en el caso de que un determinado itinerario clave no esté disponible, de manera que se puedan utilizar otros itinerarios en situaciones de emergencia, accediendo a vías de otra jerarquía y prestaciones, y evitando, así, el aislamiento de las regiones. La existencia de redundancia en una red vial disminuye la vulnerabilidad, no de la propia infraestructura como

elemento independiente, sino de la red de carreteras en conjunto y, consecuentemente, de la población afectada por la misma. El criterio de redundancia se debería extender a la totalidad de la red, a fin de garantizar que la población rural, que reside en zonas de menor accesibilidad, no quede aislada de los servicios básicos de salud, educación o abastecimiento durante períodos prolongados de tiempo; no se trata de duplicar itinerarios, sino de garantizar alternativas, aunque supongan un tiempo de viaje mayor y una calidad de servicio menor, asegurando la accesibilidad de la zona.

2.2.2.

Metodologías para el análisis del riesgo climático

Existen diversas metodologías para la identificación de amenazas, la caracterización de la vulnerabilidad y el análisis de los riesgos desde una perspectiva general; algunas se han aplicado en el ámbito de las infraestructuras viarias en la Región de América Latina y el Caribe.

A continuación, se presenta brevemente algunas de ellas, diferenciando entre modelos de análisis de riesgo general, para distintas etapas de los proyectos, y aplicaciones específicas a las carreteras; se incluye un enlace para facilitar una consulta más detallada.

Referencias a herramientas de análisis de riesgo.

- Análisis de Gestión del Riesgo en Proyectos de Inversión Pública (Secretaría de Planificación y Programación. Gobierno de Guatemala, 2013).

Persigue incorporar la gestión del riesgo en los procesos y fases de formulación de proyectos de inversión, a fin de que las inversiones elegibles sean seguras en el territorio nacional. El documento proporciona una metodología detallada en cuatro pasos, para incorporar la gestión del riesgo en la fase de pre-inversión: paso 1, en el que se realiza un análisis de amenazas a nivel de zona (comunidad, aldea, municipio, región); paso 2, para el desarrollo de un análisis de vulnerabilidad, tanto por exposición, como por vulnerabilidad y resiliencia; paso 3, a través del cual se definen medidas de reducción del riesgo, valorando su costo y su beneficio para decidir las más adecuadas; paso 4, que supone la incorporación de las medidas de reducción de la vulnerabilidad.

Más información:

[http://snip.segeplan.gob.gt/sche\\$sinip/documentos/An%C3%A1lisis_de_Riesgo_en_Proyectos_de_Inversi%C3%B3n_P%C3%BAblica.pdf](http://snip.segeplan.gob.gt/sche$sinip/documentos/An%C3%A1lisis_de_Riesgo_en_Proyectos_de_Inversi%C3%B3n_P%C3%BAblica.pdf)

- Guía Metodológica de Riesgo. Efectos del Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe (CEPAL, 2011).

Se describe la metodológica integral de evaluación del riesgo desarrollada para el estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. A partir de una definición concreta de los conceptos involucrados en la evaluación del riesgo, se construye una formulación que permite incluir la incertidumbre y los distintos factores socioeconómicos y físicos de forma integral mediante la definición de tres elementos: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. Para explicar la aplicación de esta metodología desde un punto de vista práctico, se recoge un ejemplo del cálculo del riesgo de inundación a lo largo de la línea de costa. La metodología propuesta se presenta como una posible solución a la evaluación del riesgo, suficientemente generalista para ser aplicada en otros ámbitos del análisis de riesgo de fenómenos naturales.

Más información:

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3953/S1100788_es.pdf;jsessionid=3EB4496CA556BB85461EB99991E49983?sequence=1

- Metodología de Análisis de Amenazas Naturales para Proyectos de Inversión Pública en Etapa de Perfil (Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Gobierno de Costa Rica, 2014).

El objetivo de esta metodología es disponer de un instrumento de apoyo en el diseño de políticas y procedimientos de protección de las inversiones públicas ante el impacto de fenómenos naturales que permita, de una forma sencilla y objetiva, orientar, calificar y estimar un índice en función de las principales amenazas naturales del país, antes de decidir sobre la ejecución de un proyecto de inversión pública. La metodología fue diseñada para su aplicación en la Etapa de Perfil, que corresponde a la primera etapa de la fase de pre-inversión. Se consideran aquellos fenómenos naturales que son parte recurrente de las amenazas presentes en la geografía de Costa Rica: alud torrencial, deslizamiento, inundación, sismo, tsunami y vulcanismo.

Más información:

https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/b1fc77ab-2740-4f5a-9f48-e1bf2e08fbf9/Metodologia_amenazas_analisis_proyect_inversion.pdf?guest=true

- Guía para la incorporación de la Variable Riesgo en la Gestión Integral de Nuevos Proyectos de Infraestructura (Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos. Gobierno de Ecuador).

Esta guía, desarrollada con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, es la respuesta del Gobierno de Ecuador a la necesidad de incorporar la variable riesgo en los nuevos proyectos de infraestructura; está dirigida principalmente a los sectores encargados de los procesos de análisis, diseño y construcción de infraestructura, a fin de brindarles lineamientos generales para incorporar la gestión del riesgo en cada una de las fases de los proyectos que se desarrollan y ejecutan en el país. Se define el ciclo 1 de proyectos o fase de estudio, y comprende las etapas de idea, perfil, pre-factibilidad, factibilidad y estudios definitivos, es decir, todas las actividades previas a la fase de ejecución. El ciclo 2 de proyectos incluye la contratación, así como la definición de los aspectos técnicos, legales y financieros. El ciclo 3 se relaciona con la fase de ejecución. Finalmente el ciclo 4 tiene que ver con la fase de operación y mantenimiento. Asimismo, incluye una lista de verificación de amenazas y vulnerabilidades en proyectos de infraestructura, cuyo fin es servir como punto de partida para que las instituciones que lo deseen generen sus propias listas de verificación.

Más información:

http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Guia_para_la_Incorporacion_de_la_Variable_Riesgos.pdf

Referencias a herramientas de análisis de riesgo aplicadas a las carreteras.

- Marco Internacional para la Adaptación de las Infraestructuras de Carreteras al Cambio Climático (Asociación Mundial de la Carretera).

Se trata de un procedimiento que guía a las administraciones de carreteras en la identificación de impactos potenciales de cambio climático en sus redes viarias, apoyándolas en la evaluación del nivel de riesgo potencial y vulnerabilidad, así como en la respuesta efectiva a los riesgos identificados. La utilización del marco se realiza en cuatro etapas (1: Identificación del alcance, variables, riesgos y datos; 2: Análisis de riesgos y priorización; 3: Desarrollo y selección de las estrategias y respuestas de adaptación; 4: Integración de resultados en el proceso de toma de decisiones).

Más información:

<https://www.piarc.org/en/order-library/23517-en-International%20climate%20change%20adaptation%20framework%20for%20road%20infrastructure.htm>

- Estudio de Riesgo Climático para la Red Vial Primaria de Colombia a nivel nacional (Ministerio de Transporte. Ministerio de Ambiente. Instituto Nacional de Vías. Agencia Nacional de Infraestructura, 2015).

Colombia, como país pionero en la Región en la planificación de la adaptación de las carreteras al cambio climático, ha desarrollado estudios de análisis del riesgo climático para su red vial. En el informe “La red vial primaria de Colombia frente al cambio climático”, se realiza un estudio del riesgo climático para la red vial primaria de Colombia a nivel nacional, adoptando como marco de referencia los modelos promovidos por su propio Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

Más información:

<https://cdkn.org/wp-content/uploads/2015/11/Riesgo-Clim%C3%A1tico-Red-Vial-Primaria-Resumen-Ejecutivo.pdf>

- Marco de Evaluación de la Vulnerabilidad al Cambio Climático y Eventos Meteorológicos Extremos (Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos de América, FHWA).

Se trata de una Guía para agencias de transporte que proporciona una visión general de las actividades que se deben realizar para evaluar la vulnerabilidad de una red de carreteras, facilitando ejemplos prácticos. Se estructura en seis módulos (1: Establecimiento de objetivos; 2: Identificación de las variables climáticas clave; 3: Selección y caracterización de la red vial objeto de estudio; 4: evaluación de la vulnerabilidad; 5: Integración de la vulnerabilidad en el proceso de toma de decisiones; 6: Monitoreo).

Más información:

https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/adaptation_framework/

Existen otras metodologías de análisis de riesgos que se han aplicado en la Región y fuera de ella. Por ejemplo, cabe destacar la herramienta del Banco Mundial para el análisis de riesgos y desastres climáticos, que proporciona un procedimiento sistemático para identificar los riesgos para el sector vial, a lo largo de todas las etapas de un proyecto <https://climatescreeningtools.worldbank.org/content/roads-welcome>); asimismo, es interesante mencionar la Guía para la inversión considerando el clima en el sector del transporte, aplicada a proyectos de carreteras del Banco Asiático de Desarrollo (<https://www.adb.org/documents/guidelines-climate-proofing-investment-transport-sector-road-infrastructure-projects>).

Boulevard Turístico del Atlántico
(República Dominicana);
fuertes lluvias en noviembre de 2016.



Fuente: Louis Berger.

2.3.

LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA BAJO UNA SITUACIÓN DE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS

Tendrá la consideración de medida de adaptación de las carreteras al clima cualquier acción que se realice para **reducir la vulnerabilidad de la red de carreteras frente a eventos meteorológicos extremos relacionados con la variabilidad y cambio climáticos o exacerbados por él**; las acciones pueden ser medidas físicas (por ejemplo, la reconstrucción de los sistemas de drenaje teniendo en cuenta las previsiones de variabilidad y cambio climáticos), medidas de tipo organizativo (por ejemplo, la mejora de las estaciones meteorológicas para la recogida y análisis de datos) o institucional (por ejemplo, la creación de una unidad específica en el Ministerio de Obras Públicas o Transportes que gestione los programas de adaptación de la red vial al cambio climático).

Algunas de las medidas de adaptación que se pueden proponer son similares a las medidas que se implantaron en su momento en el diseño de las carreteras (por ejemplo, las relacionadas con los cálculos de la adecuación del drenaje superficial y subterráneo); en un contexto de trabajo para la adaptación de las carreteras al clima, será necesario considerar, no sólo los registros históricos, sino también las nuevas proyecciones meteorológicas, que se basarán en estimaciones futuras que tomen en consideración la variabilidad y cambio climático.

El establecimiento de medidas de adaptación debe considerar tanto los nuevos desarrollos de carreteras como la gestión de la red vial existente; esta última es, si cabe, aún más importante, dado que la Región de América Latina y el Caribe cuenta con millones de kilómetros de carreteras, mientras que la construcción de nueva infraestructura alcanza ratios de miles de kilómetros ejecutados anualmente.

En Perú se ha realizado un trabajo exhaustivo de medición de la criticidad desde la perspectiva de un enfoque de red denominado “Mejorando la confiabilidad de la red vial del Perú”; en él se han valorado las pérdidas económicas previstas vinculadas a interrupciones en los puntos críticos, y se han propuesto acciones para reducir estas pérdidas (intervenciones ex - ante, tales como intervenir en la carretera crítica a través de mantenimiento frecuente o mejoras específicas como la construcción de túneles, o elevar la rasante, o agregar redundancia a la red con mejoras a las alternativas existentes o construcción de nuevas carreteras). En el análisis se han combinado modelos de transporte tradicionales, como el HDM-4, con un análisis de redes y datos de desastres hidrometeorológicos. Los resultados han permitido poner en valor el uso de estas herramientas para la toma de decisiones en la fase de planificación (Banco Mundial. Práctica Global para Transporte y TIC. Región América Latina y el Caribe, 2016)¹⁰.

¹⁰ https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/Improving_the_Reliability_Peru_Road_Network_castellano.pdf

Se definen a continuación conceptos de interés en el ámbito de la adaptación de las carreteras al clima, en relación a las fases en las que se deben considerar las medidas, la información necesaria para acometer las acciones de adaptación y la necesidad de realizar actividades de monitoreo.

2.3.1.

Fases en las que deben implementarse las medidas de adaptación

Las medidas de adaptación en una situación de variabilidad y cambio climáticos deben incorporarse a lo largo de todo el ciclo de vida de las carreteras; los diferentes fenómenos meteorológicos y sus consecuencias, en un contexto de cambio climático, afectan al diseño, construcción, operación y mantenimiento, y gestión de las infraestructuras, habiendo de ser considerados en la toma de decisiones. La siguiente tabla hace referencia a algunos de los retos que pueden identificarse en cada etapa.

ETAPA DE GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	ASPECTO	RETOS
Planificación	Nueva infraestructura	Vulnerabilidad del corredor a los efectos del clima
		Blindaje de los proyectos
		Redundancia y disponibilidad en situaciones de emergencia
Diseño	Nueva infraestructura	Incidentes debidos a condiciones climáticas extremas
		Incorporación de lecciones aprendidas a través de medidas que permitan aumentar la resiliencia
		Deterioro de la calidad de la carretera debido al clima
Construcción	Nueva infraestructura	Construcción según las condiciones de variabilidad y cambio climáticos
Gestión / Operación / Mantenimiento	Infraestructuras en servicio	Deterioro de las infraestructuras
		Incremento de la resiliencia de las carreteras existentes al clima
		Daños a terceros
		Sobrecostos de reconstrucción

Tabla 4: Problemas debidos a la variabilidad y cambio climáticos en las diferentes etapas de gestión de las infraestructuras (*Elaboración propia*).

Integrar los riesgos climáticos en el proceso de toma de decisiones es complejo por el hecho de que la vida útil de las infraestructuras es larga y se expande durante décadas desde su planificación a la conclusión de su vida operativa. Durante este tiempo, el clima puede cambiar considerablemente; trabajar en este contexto, con las incertidumbres existentes, requiere construir las infraestructuras de transporte con flexibilidad, para protegerlas. La siguiente figura hace referencia a esta circunstancia:

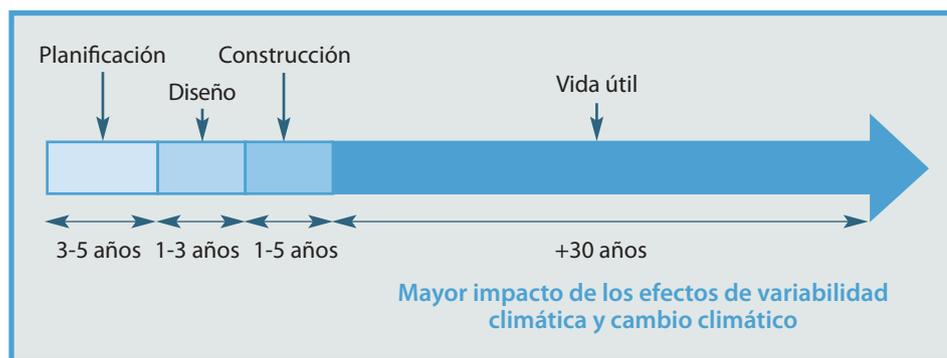


Figura 3: Variabilidad y cambio climáticos en el contexto de la vida útil de una infraestructura de transporte (World Bank Group, 2015)¹¹.

Como se ha citado, las medidas de adaptación pueden incorporarse en cualquier fase de un proyecto de carretera; sin embargo, es muy positivo que comiencen a integrarse los criterios de clima cambiante en las fases previas de planificación, por dos motivos principales:

- ✓ En la fase de planificación existen mayores facilidades para considerar el concepto de red o sistema vial, en lugar de considerar una carretera aislada. Esto es especialmente importante porque el tratamiento de la adaptación de las carreteras al clima debe tener un enfoque de sistema global.
- ✓ En la fase de planificación son más factibles los grandes cambios en los diseños viales; los cambios en la fase de construcción o de operación resultan más costosos de implantar y su efectividad está, en ocasiones, más limitada.
- ✓ En la fase de planificación se puede seleccionar las mejores alternativas de adaptación, a través de modelaje; por ejemplo determinando si el

¹¹ <http://documents.worldbank.org/curated/en/177051467994683721/pdf/102406-WP-PUBLIC-ADD-SERIES-Box394832B-Moving-toward-climate-resilient-transport.pdf>

manejo de una microcuenca es competitivo contra la previsión de obras de mayores dimensiones.

Durante las fases de diseño y construcción se pueden implementar, asimismo, otras medidas de adaptación, tal y como se refiere en el capítulo 4 de esta Guía; igualmente, las medidas se pueden plantear para carreteras ya en servicio.

En la fase de rehabilitación y reconstrucción después de los desastres, es fundamental tratar de minimizar los impactos de eventos futuros, mediante el principio de “reconstruir mejor” (en inglés “build back better”), así como incrementar la educación y la sensibilización públicas sobre el riesgo de desastres. El principio de “reconstruir mejor”, formulado a partir del terremoto y el tsunami de 2004 en el Océano Índico, se basa en promover la restauración de las comunidades y los activos de manera que éstos sean menos vulnerables a los desastres de lo que eran inicialmente, aumentando su resiliencia; aplicado a los sistemas viales, cualquier actividad de reconstrucción que se deba realizar como consecuencia de fenómenos climáticos extremos, constituye en sí misma una excelente oportunidad para mejorar la resiliencia de la red de carreteras en su conjunto.

2.3.2.

Información necesaria para definir las medidas de adaptación

Las instituciones involucradas en la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos deben disponer de información de primera mano acerca de los recursos disponibles para estas acciones (humanos, tecnológicos, de conocimiento, grado de madurez del sector público y privado en este ámbito, etc.) que les permita cuantificar su capacidad para hacer frente a la adaptación; así mismo, es importante contar con un sistema de alerta temprana, que involucre a todos los actores implicados, destacando el papel de oficinas meteorológicas, por ejemplo.

A la hora de plantear medidas de adaptación de las carreteras al clima, existen requisitos sobre la información de la que es necesario disponer:

- **Caracterización de la red vial**

Los propios gestores de la red vial deben disponer de un inventario con todas las particularidades de la red, tipo de vía, tipo de terreno, características superficiales, sección transversal, nivel de tránsito de vehículos ligeros y pesados, estado de conservación, equipamiento, así como otra información de interés. Sería deseable que la información estuviera recopilada en un Sistema de Información Geográfica (GIS). Adicionalmente, se debe identificar el estándar de servicio que las diferentes jerarquías de vía de la red ofrecen a los usuarios, identificando la criticidad de cada uno de los activos y definiendo el umbral de daños que puede permitirse en cada tipo de vía.

- **Previsiones climáticas en la zona donde se encuentra el sistema vial que se está analizando**

Se debe utilizar una combinación de los modelos de circulación globales y regionales, así como modelos estadísticos tradicionales. Los gobiernos de algunos países disponen de previsiones realizadas en base a los registros históricos de lluvia y temperatura y previsiones futuras para 20-30-40-50-60-70 años, atendiendo a las estimaciones de cambio climático; si no se dispone de esta información, será necesario elaborar modelos específicos de previsiones en el área de estudio, con una escala aplicable a un proyecto.

- **Amenazas asociadas al clima para la red vial**

Se trata de un trabajo de traslación de las previsiones climáticas a la situación de la red vial actual, que se debe impulsar y desarrollar desde los propios gobiernos, concentrando los esfuerzos de los Ministerios de Obras Públicas o Transportes y los Ministerios de Medio Ambiente (incluyendo las oficinas meteorológicas) y entes adscritos con competencias en el ámbito de las carreteras y la gestión ambiental e hidrológica. Es recomendable que las instituciones dispongan de una base de datos de las amenazas que se han presentado y cuál ha sido su impacto en la red vial, de manera que esta información pueda utilizarse en el análisis del riesgo.

- **Diagnóstico de vulnerabilidad**

Es preciso identificar si la red actual está en condiciones de afrontar las previsiones climáticas (por ejemplo, si los elementos de drenaje tienen capacidad para las nuevas intensidades de lluvia esperadas, si las laderas soportarán los empujes derivados del agua en el terreno, si los materiales de los pavimentos estarán preparados para los gradientes de temperatura que se experimentarán, ...).

- **Análisis del riesgo**

Tal y como se ha definido anteriormente, el riesgo se determina en función de las amenazas y la vulnerabilidad. Se debe aplicar alguna de las metodologías existentes para el análisis del riesgo climático (en el capítulo 2.2.2. de este documento se han incluido varias referencias). Si la red vial está preparada para asumir estas nuevas solicitaciones, no sería necesario implantar, a priori, medidas de adaptación; sin embargo, si se detecta que existirán problemas en el diseño o en la operación para dar una respuesta adecuada a las previsiones climáticas, será necesario acometer mejoras por medio de medidas de adaptación como las que se definen en esta Guía.

- **Elaboración de un directorio de zonas o puntos críticos**

Como continuación al diagnóstico de riesgo, se deben establecer las zonas o puntos críticos, que serán de actuación prioritaria en la implantación de medidas

de adaptación. Cabe distinguir entre zonas o puntos críticos que se afectan periódicamente (por ejemplo cada año) y aquéllos que se afectan con eventos climáticos extraordinarios; en este sentido, es preciso considerar una vulnerabilidad recurrente y una vulnerabilidad ocasional para cada tramo de infraestructura viaria.

- **Valoración económica de los daños generados por la falta de adaptación de las carreteras al clima**

El análisis de las consecuencias de desastres climáticos acaecidos con anterioridad, así como la valoración de los costos que las afecciones a la red vial suponen para la sociedad en su conjunto (por ejemplo, en términos de retrasos en el tiempo de viaje, pérdida de competitividad de la economía, reducción de la accesibilidad de poblaciones a servicios médicos, educativos o de ocio, mayores consumos de combustible, entre otros), permitirá realizar una estimación económica del impacto de la no actuación, de manera que se pueda comparar con el costo de la implantación de medidas de adaptación de las mismas. Cada territorio deberá elaborar un análisis del impacto socio-económico del clima en sus carreteras y de la adaptación. Existen referencias a metodologías de valoración económica, como la que se ha realizado para la valoración de los puntos críticos de la red vial de Perú (Banco Mundial. Práctica Global para Transporte y TIC. Región América Latina y el Caribe, 2016)¹².

2.3.3.

Acciones de monitoreo de las medidas de adaptación

Resulta fundamental establecer un plan de monitoreo para el conjunto de las medidas de adaptación; se trata de un proceso de evaluación definido que debe ser conocido por todos los implicados, los cuales han de participar en la definición de los rangos y umbrales que se establecerán para definir si las políticas o medidas de adaptación tienen o no impactos positivos. Entre las actividades de monitoreo se puede realizar el control de indicadores como los que siguen:

- Reducción de la vulnerabilidad, medido con indicadores de población afectada por aislamiento, tiempo de cierre de vías o costos de reconstrucción para el siguiente fenómeno climático extremo, si se compara con un fenómeno anterior de características similares
- Aceptación social de las medidas
- Parámetros de rentabilidad costo-beneficio

La implantación de medidas de adaptación no es un hecho aislado en el tiempo, sino que debe considerarse de manera periódica por parte de los responsables de

¹² https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/Improving_the_Reliability_Peru_Road_Network_castellano.pdf

las vías (por ejemplo, desde una perspectiva similar a los programas de mantenimiento); así, se podrá comprobar si hay previsiones de variabilidad y cambio climáticos nuevas y si existen nuevas opciones de respuesta o buenas prácticas que se puedan contemplar¹³.

Para valorar el funcionamiento de las medidas propuestas, es necesario establecer los parámetros a medir, cómo deben medirse, durante cuánto tiempo y los resultados que se pretenden alcanzar. En la tabla 5 se incluyen algunos ejemplos de indicadores que pueden utilizarse para diferentes medidas.

Otro aspecto relacionado con el monitoreo de las medidas es la valoración de la rentabilidad económica de las actuaciones; en este sentido es necesario comparar los costos derivados de las acciones de adaptación, con las estimaciones de los ahorros que se pueden conseguir. Este último parámetro es, en ocasiones, difícil de valorar, puesto que existen pocas referencias bibliográficas en relación a los costos de reconstrucción. Estimaciones realizadas por el Banco Mundial ponen de manifiesto que el costo neto de adaptación al clima de una nueva infraestructura oscila entre el 1-2% del costo total de la misma; otros estudios señalan que los costos de adaptación de una vía ya existente pueden ser altos y, por lo tanto, es importante asegurar que las inversiones sean inteligentes, rentables y con visión de futuro.

Al costo de la rehabilitación/reconstrucción debe sumarse el tiempo necesario para realizarla que generalmente oscila desde 3 meses para la rehabilitación parcial hasta 5 años para la reconstrucción total de secciones completas de vía (puede implicar obras de mitigación por medio de rediseño y refuerzo) (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial, 2010)¹⁴.

¹³ https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/Improving_the_Reliability_Peru_Road_Network_castellano.pdf

¹⁴ <http://documents.worldbank.org/curated/en/898761468333305766/pdf/880860SPANISH0010B00PUBLIC00Spanish.pdf>

CONTEXTO	MEDIDA	EJEMPLO DE INDICADORES
Planificación estratégica – marco institucional	Elaboración de planes de carreteras con criterios de adaptación al clima.	Planes y políticas formulados / revisados con criterios de adaptación al clima
Planificación estratégica – financiación	Creación de fondos específicos para la adaptación de las carreteras al clima.	Volumen de inversión en adaptación al clima. Inversión / km en adaptación al clima
Planificación estratégica - capacitación	Capacitación del sector público y privado en la adaptación al clima.	Número de profesionales adecuadamente capacitados
Medidas específicas – planificación	Análisis del riesgo climático entre las opciones consideradas para un nuevo itinerario vial.	Número de procesos de valoración de opciones en los que se han tenido en cuenta las previsiones de variabilidad y cambio climáticos
Medidas específicas – diseño	Análisis de la estabilidad de los taludes ante las previsiones de variabilidad y cambio climáticos e implantación de medidas de estabilización.	Metros cuadrados de talud en los que se ha intervenido con medidas específicas de adaptación
Medidas específicas – mantenimiento	Realización de un inventario de capacidad de las obras de drenaje en vías existentes, con vistas a la ejecución de obras necesarias para considerar las previsiones de adaptación y cambio climáticos.	Inversión en mejora de obras de drenaje

Tabla 5: Ejemplos de indicadores de efectividad (*Elaboración propia*).

2.4.

IDENTIFICACIÓN DE ACTORES Y ROLES

La puesta en marcha de una verdadera estrategia de adaptación de las carreteras al clima en un entorno de variabilidad y cambio climáticos requiere la implicación de numerosos actores, algunos de ellos tradicionalmente involucrados en el desarrollo y la gestión viarios, y otros que añaden un componente adicional de conocimiento del entorno climático; la sociedad civil está, asimismo, llamada a desempeñar un importante papel. Se pueden identificar los siguientes actores:



Figura 4: Actores implicados en la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos (Elaboración propia).

Se incluye a continuación una caracterización de cada uno de los actores de la adaptación de las carreteras a un entorno de variabilidad y cambio climáticos, especificando las acciones esperadas por su parte y los posibles retos o barreras a los que se enfrentarían.

ACTOR	GOBIERNOS NACIONALES Y SUBNACIONALES
ACCIONES ESPERADAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ejercer un verdadero liderazgo en este ámbito. ✓ Garantizar la existencia de un marco que facilite la adaptación de las carreteras al clima: leyes, estrategias y planes. ✓ Localizar la financiación para el desarrollo de las estrategias. ✓ Liderar la puesta en marcha de las acciones previstas en los planes. ✓ Coordinar a los proveedores de información, garantizando la existencia de bases de datos climáticas que permitan desarrollar los modelos de evaluación de los riesgos y vulnerabilidad de las redes viarias. ✓ Adaptar las normativas existentes, incorporando la adaptación al clima. ✓ Incluir en las licitaciones exigencias sobre análisis de riesgo climático y planteamiento de medidas de adaptación. ✓ Introducir los cambios en los contratos de concesión y operaciones ligadas al desarrollo de la vía, para considerar la adaptación al clima. ✓ Implementar las medidas de adaptación al cambio climático en las redes viarias que se gestionen con sus propios medios. ✓ Establecer un diálogo proactivo entre todos los implicados. ✓ Servir de catalizador para la coordinación con el resto de los actores. ✓ Realizar las actividades de monitoreo necesarias, con la colaboración de otros actores.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades de coordinación entre gobiernos, teniendo en cuenta la autonomía local de los estados federales o provinciales. • Escasez de recursos. • Coordinación con otras prioridades políticas (por ejemplo, las del Ministerio de Obras Públicas / Transportes respecto al Ministerio de Ambiente). • Retrasos en los procedimientos administrativos. • Falta de capacitación específica.
REFERENCIA	<p>De los 21 países analizados en un estudio sobre el análisis del estado del arte en la adaptación de las carreteras al clima, realizado para CAF - banco de desarrollo de América Latina en 2017, todos disponían de una o varias entidades gubernamentales que lideraban este ámbito de trabajo y todos disponían de una estrategia o política de cambio climático; sin embargo, tan sólo dos contaban con estrategias específicas de adaptación en infraestructuras.</p>

Tabla 6: Caracterización del papel de los gobiernos nacionales y subnacionales
(Elaboración propia).

ACTOR	OPERADORES DE INFRAESTRUCTURAS Y OTRAS EMPRESAS DEL SECTOR VIAL
ACCIONES ESPERADAS	<p>Hace referencia tanto a concesionarias de carreteras como a empresas que estén implicadas en cualquier actividad (diseño, construcción, mantenimiento y gestión) del ámbito viario.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Participar proactivamente en los nuevos procesos liderados por los gobiernos, para adaptar las carreteras al clima, identificando impactos, vulnerabilidades y posibles soluciones. ✓ Participar en un diálogo constructivo sobre las posibles modificaciones de los contratos. ✓ Crear los procesos que permitan adaptar las carreteras que operan a la variabilidad y cambio climáticos; esto requiere crear equipos de trabajo, establecer procedimientos, capacitar a los profesionales, invertir recursos, entre otros. ✓ Participar en la recogida de información de los impactos de los eventos climáticos en las infraestructuras y la efectividad de las medidas implantadas.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Reticencia a los cambios en los procedimientos de trabajo. • Impactos derivados de la modificación de los contratos o las actividades a realizar: necesidad de recursos adicionales para afrontar los cambios a acometer y los posibles retrasos que se generen. • Falta de capacitación específica.
REFERENCIA	<p>Como ejemplo particular, de las siete concesionarias de autopistas que se incluyeron en el estudio de prospección realizado para CAF – banco de desarrollo de América Latina en 2017 (casi 4.000 kilómetros de autopistas en concesión en Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú), prácticamente todas ellas consideraban el riesgo climático en su gestión, ya fuera mediante inspecciones dirigidas a detectar puntos potencialmente inundables para realizar las acciones preventivas oportunas, para realizar un estudio de taludes o para valorar las pérdidas derivadas de fenómenos climáticos extremos.</p>

Tabla 7: Caracterización del papel de los operadores de infraestructuras y otras empresas del sector vial. *(Elaboración propia).*

ACTOR	INSTITUCIONES DE FINANCIACIÓN
ACCIONES ESPERADAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Promover el acceso al flujo de recursos financieros en materia de adaptación. ✓ Fortalecimiento de la capacidad institucional de los sectores público y privado de los países de la Región en materia de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos. ✓ Promover medidas de adaptación concretas sobre el terreno, como respuesta a las necesidades más inmediatas de los países de América Latina y el Caribe. ✓ Apoyar la generación y la gestión del conocimiento en materia de adaptación al clima. ✓ Desarrollar acciones destinadas a reforzar las capacidades internas de las propias entidades de financiación y a integrar las consideraciones climáticas en el conjunto de operaciones apoyadas. ✓ Apalancar inversiones del sector privado.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuente priorización de otros sectores en los gobiernos de los países para la adaptación (por ejemplo, agricultura o sector industrial). • Frecuente priorización de las estrategias de mitigación, relegando la adaptación a un segundo plano.
REFERENCIA	<p>Existe una alianza entre los bancos de Desarrollo desde 2015 a fin de impulsar el trabajo para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático¹⁵. En este sentido, los ocho principales bancos multilaterales de desarrollo (CAF - banco de desarrollo de América Latina, el Banco Africano de Desarrollo, el Banco Asiático de Desarrollo, el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo, el Banco Europeo de Inversiones, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Islámico de Desarrollo y el Banco Mundial) emitieron una declaración conjunta en la que se comprometieron a acelerar sus esfuerzos para mitigar las emisiones del sector transporte y reconocieron la necesidad de tomar mayores medidas para la adaptación del transporte a la variabilidad y cambio climáticos.</p>

Tabla 8: Caracterización del papel de las instituciones de financiación. *(Elaboración propia).*

¹⁵ <http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2015/12/01/joint-statement-by-the-multilateral-development-banks-on-sustainable-transport-and-climate-change>

ACTOR	SOCIEDAD CIVIL
ACCIONES ESPERADAS	<p>Incluye a los usuarios de la vía, organizaciones de la sociedad civil (no gubernamentales) y voluntarios, principalmente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Colaborar con las instituciones públicas para proporcionar conocimientos específicos y orientación en la ejecución de planes y estrategias locales. ✓ Implicarse en la creación de protocolos de emergencia. ✓ Prestar apoyo en la sensibilización pública. ✓ Crear una cultura de prevención y educar sobre el riesgo de desastres. ✓ Ayudar a la creación de espacios de participación ciudadana para identificar riesgos y las mejores medidas de adaptación, para todos los grupos de interés y considerando especialmente las poblaciones de riesgo (por ejemplo, indígenas o mujeres del área rural); poner en marcha procesos de consulta, contando con las organizaciones de la sociedad civil y los medios de comunicación que pueden ayudar a establecer una hoja de ruta en este sentido.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de concienciación social en este ámbito, que limita la predisposición de la ciudadanía a participar en acciones sociales. • Dificultades de coordinación con otros actores. • Falta de conocimientos específicos.
REFERENCIA	<p>En la vía Bogotá - Villavicencio se ha implantado un sistema de alertas por el que los habitantes de la zona aledaña a la vía informan a la concesión cuando las quebradas crecen de forma inesperada en la parte alta de la cordillera. Este sistema ha permitido evitar catástrofes en la vía relacionadas con eventos hidroclimáticos.</p>

Tabla 9: Caracterización del papel de la sociedad civil. *(Elaboración propia).*

ACTOR	UNIVERSIDADES Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN (ACADEMIA)
ACCIONES ESPERADAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Participar en la definición de las estrategias, políticas y planes, liderados por los gobiernos. ✓ Generar una agenda de prioridades de investigación en la adaptación de las carreteras al clima. ✓ Proponer a los gobiernos y a las entidades de financiación actividades específicas que puedan realizar en este ámbito.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de inversión en investigación, innovación y desarrollo en el ámbito de la adaptación. • Limitaciones en la difusión de los trabajos de investigación, manuales y actividades desarrollados.
REFERENCIA	<p>El Instituto Mexicano del Transportes, la Pontificia Universidad Católica de Chile, el Centro Mario Molina de México o la Universidad Rafael Landívar de Guatemala son ejemplos de centros de investigación que están desarrollando un papel importante en materia de adaptación de las carreteras al clima.</p>

Tabla 10: Caracterización del papel de las universidades y centros de investigación. *(Elaboración propia).*

Cierre total de la vía Dos y Medio - Otanche debido a un deslizamiento en Colombia.



Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia.

ACTOR	MEDIOS DE COMUNICACIÓN
ACCIONES ESPERADAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establecer planes de comunicación específicos en esta temática, de manera coordinada con los gobiernos y otros actores, considerando los medios tradicionales, así como internet y las redes sociales. ✓ Difundir mensajes proactivos a la sociedad, sobre la necesidad de participar en los procesos de adaptación de las carreteras al clima. ✓ Desempeñar un papel de liderazgo en la gestión de emergencias en caso de fenómenos climáticos extremos, por su capacidad de llegada y penetración en la población.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de sensibilidad social a los mensajes de necesidad de actuar para la adaptación. • Dificultades en la localización de socios o sponsors. • Dificultades para acceder a la población rural. • Necesidad de compatibilizar estos mensajes con otras líneas de comunicación.
REFERENCIA	<p>El Plan Vías CC de Colombia contempla la puesta en marcha del Bus Escuela “Ruta de la Adaptación”, con el fin de sensibilizar y formar a los actores del sector, usuarios y poblaciones aledañas a las vías en las regiones. El bus permitirá capacitar en la vía, llegando a los municipios y a las poblaciones vecinas de las vías, sobre la urgencia de entender la adaptación al clima para el mantenimiento de las vías¹⁶.</p>

Tabla 11: Caracterización del papel de los medios de comunicación. *(Elaboración propia).*

¹⁶ Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia (Ministerio de Transporte, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

ACTOR	OTRAS ENTIDADES DEL ÁMBITO PRIVADO
ACCIONES ESPERADAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incorporar la adaptación al clima a las líneas estratégicas de Responsabilidad Social Corporativa. ✓ Aportar recursos para la financiación de acciones específicas. ✓ Difundir a la sociedad un mensaje de conciencia de la necesidad de adaptación al clima, a través de su potencial capacidad como prescriptores.
RETOS / BARRERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades para incluir una nueva línea de trabajo en la cultura de la Responsabilidad Social Corporativa de las empresas. • Limitación de los recursos disponibles.
REFERENCIA	<p>La Fundación Empresa y Clima¹⁷ es una organización sin ánimo de lucro que trabaja por el liderazgo y compromiso empresarial en la lucha contra el cambio climático y la adaptación a sus consecuencias. Si bien no hay referencias en el ámbito de las infraestructuras de transporte, se trata de un ejemplo de interés.</p>

Tabla 12: Caracterización del papel de otras entidades del ámbito privado. *(Elaboración propia).*

Socavación de estribos y pilas en Bolivia (izquierda: puente Baltazar en la carretera Yucumo-San Borja; derecha arriba: puente Espíritu Santo II en la carretera Carrera Cochabamba – Santa Cruz; derecha abajo: puente Cesarzama en la carretera Cochabamba – Santa Cruz).



Fuente: *Equipo de evaluación de CAF – banco de desarrollo de América Latina.*

¹⁷ <http://www.empresaclima.org/>

3.

ACCIONES DE PLANIFICACIÓN
ESTRATÉGICA PARA LA ADAPTACIÓN
DE LAS CARRETERAS AL CLIMA

3

ACCIONES DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA

Las acciones de planificación estratégica suponen la **creación de un marco apropiado en los planos institucional, legal y social** que facilite la implantación de las medidas de adaptación de las carreteras al clima en el contexto de un gobierno o de un territorio.

Las acciones de planificación estratégica son el contexto para el desarrollo de medidas posteriores de carácter técnico, por lo que su puesta en marcha es, si cabe, aún más prioritaria que las propias medidas de adaptación. El siguiente gráfico introduce el concepto de la **“Pirámide estratégica de adaptación al clima”**, que supone la visión de esta Guía, desde una perspectiva global:

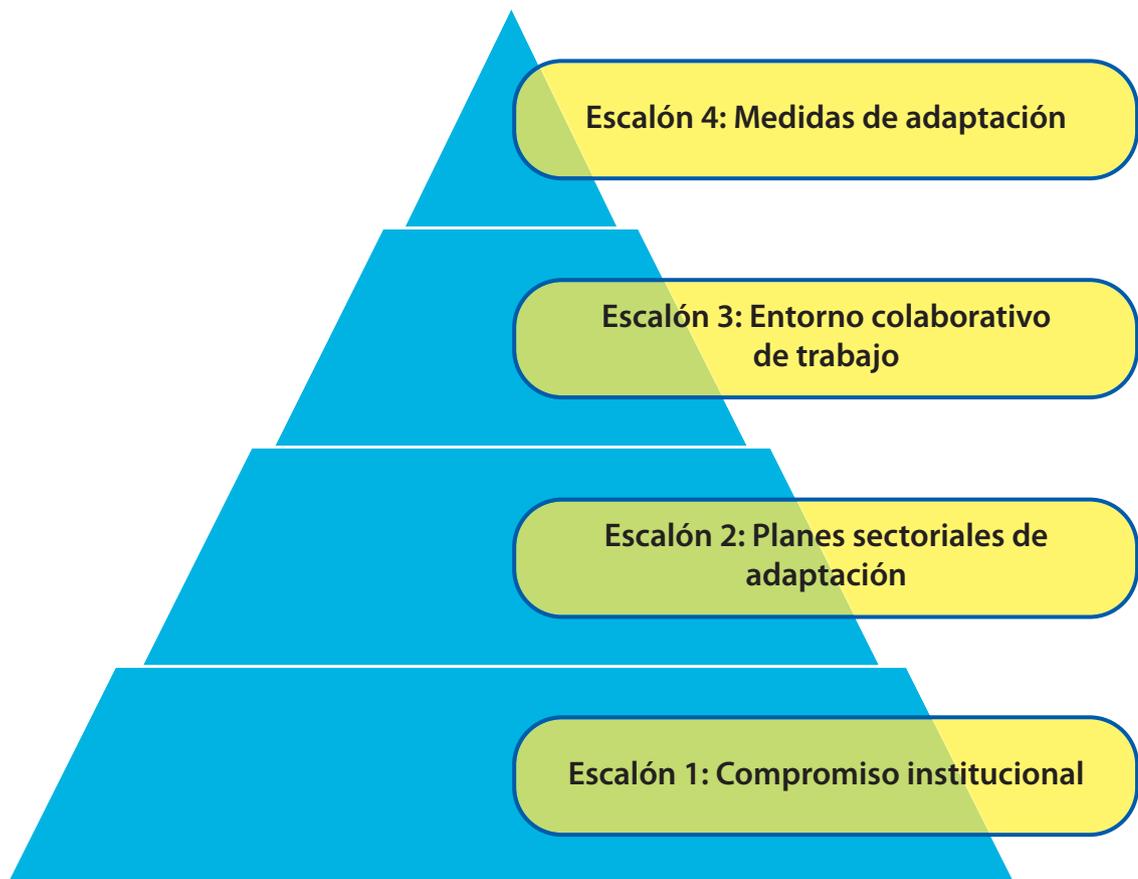


Figura 5: Pirámide estratégica de adaptación al clima (Elaboración propia).

Adicionalmente a este esquema global de trabajo, que implica la creación de un marco institucional adecuado (escalones 1, 2 y 3), la Guía también contempla la implantación de medidas de adaptación en proyectos de nuevas carreteras y en vías ya abiertas al tráfico (escalón 4), con independencia de la consideración de los escalones anteriores.

Según se aprecia en el gráfico, la **Pirámide estratégica de adaptación al clima** permite establecer las siguientes prioridades:

- El primer paso para trabajar en la adaptación de las carreteras al clima es un **verdadero compromiso institucional**, que permita establecer políticas, planes, asignaciones presupuestarias y otras modificaciones necesarias, así como realizar acciones de fortalecimiento institucional con el objeto de garantizar que los gobiernos estén preparados para liderar el cambio conceptual que, inevitablemente, ha de producirse.

Este compromiso debe ser ajeno a cualquier signo político de los gobiernos y debe enmarcarse en los compromisos adquiridos por el país en su política de cambio climático.



13 de los 21 países considerados en el análisis del estado del arte en la Región de América Latina y el Caribe disponen de un Plan de Adaptación al Clima a nivel nacional.

- Una vez que está garantizado y asumido el establecimiento de una verdadera política de adaptación, llega el momento de **generar planes específicos de adaptación de las carreteras al clima**.

Estos planes deben incluir acciones concretas, objetivos a cumplir y definición de las entidades implicadas, indicadores de desarrollo y presupuestos asignados.



En la Región, tan sólo Colombia ha desarrollado un **plan específico de adaptación de las carreteras al clima**, para la red vial primaria.

- Tan pronto como se aseguren las bases anteriormente descritas, es importante **crear un entorno colaborativo de trabajo por la adaptación**; bajo este concepto se engloba la predisposición a la cooperación en este ámbito por parte del sector público, el sector privado, la academia, los medios de comunicación y la sociedad en su conjunto.



En la mayor parte de los países de la Región no hay, a día de hoy, una verdadera coordinación en el desarrollo e implantación de políticas de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos; es necesario avanzar en esta línea.

- La **implantación y monitoreo de medidas de adaptación al clima** deberían realizarse, idealmente, sobre la base de los escalones anteriores de la pirámide, para garantizar la sostenibilidad de las acciones que se lleven a cabo. Sin embargo, pueden desarrollarse de manera independiente a dichos escalones.



Existen medidas en el ámbito de la ingeniería que pueden contribuir a mejorar la adaptación de las carreteras al clima en la Región. En esta Guía se recogen varias de estas medidas.

Los pasos para conseguir avanzar en la **Pirámide estratégica de adaptación al clima** se detallan en los siguientes apartados; se han categorizado según el escalón al que hacen referencia:



Figura 6: Pasos para avanzar en la Pirámide estratégica de adaptación de las carreteras al clima (Elaboración propia).

Para cada uno de estos pasos se define a continuación un conjunto de acciones a llevar a cabo; se ha detallado cada una de estas acciones de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Descripción.
- Justificación de la acción.
- Entidades implicadas en su puesta en marcha y desarrollo.
- Referencias de interés, preferiblemente en la Región de América Latina y el Caribe.
- Nivel de dificultad de su implantación, que se valora de acuerdo a tres criterios, según se detalla en la siguiente tabla: número de entidades implicadas, necesidad de modificaciones legales o institucionales y presupuesto estimado; para cada uno de estos tres criterios se establece una valoración de una, dos o tres estrellas, que da lugar a una valoración global, suma de las valoraciones individuales, que podría calificarse de dificultad baja (cómputo total de 3-4 estrellas), de dificultad media (cómputo total de 5-6-7 estrellas) o de dificultad alta (cómputo total de 8-9 estrellas).

	VALORACIÓN PARCIAL			VALORACIÓN TOTAL
	★	★ ★	★ ★ ★	
Entidades implicadas	Depende de una única entidad	Dos – tres entidades implicadas	Numerosas entidades implicadas	SUMA DE LA VALORACIÓN DE ENTIDADES IMPLICADAS + MODIFICACIONES LEGALES /INSTITUCIONALES + PRESUPUESTOS 3 -4 estrellas Nivel de dificultad bajo 5-6-7 estrellas Nivel de dificultad medio 8-9 estrellas Nivel de dificultad alto
Requiere modificaciones legales/institucionales	No	Requiere ligeras modificaciones	Requiere grandes modificaciones	
Presupuestos	Bajos (inferior a 1 millón de dólares)	Medio (entre 1-5 millones de dólares)	Elevado (superior a 5 millones de dólares)	

Tabla 13: Criterios de valoración del nivel de dificultad de la implantación de las acciones (*Elaboración propia*).

- Carácter de la acción: se distingue entre acciones imprescindibles y acciones recomendadas
- Plazos para su realización, distinguiendo entre:
 - Inmediato
 - Corto plazo: horizonte de 2 años
 - Medio plazo: horizonte de 5 años
 - Largo plazo: horizonte superior a 5 años
- Posibilidad de colaboración de CAF - banco de desarrollo de América Latina, a través de las herramientas con las que cuenta la entidad

3.1.

LIDERAZGO INSTITUCIONAL Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 1.A. ATRIBUIR LA RESPONSABILIDAD DE LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA	
Descripción	<p>Resulta prioritario identificar, dentro del Ministerio de Obras Públicas o Transportes, el departamento que lidera la adaptación de las carreteras al clima desde la perspectiva de la infraestructura, así como atribuirle la responsabilidad de su puesta en marcha, desarrollo y monitoreo; en los países con gobiernos federales o provinciales autónomos, esta responsabilidad se deberá imputar a este nivel. El departamento responsable de la adaptación tendrá, al menos, las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar los planes de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos, con la colaboración de otras instituciones del Gobierno a nivel nacional y subnacional, así como con la participación del sector privado y la consideración de la sociedad civil. • Adaptar las normativas de diseño y explotación a la nueva situación de variabilidad y cambio climáticos. • Desarrollar términos de referencia que contemplen la adaptación para todas las actividades viarias. • Garantizar que la planificación, diseño, construcción y gestión de las carreteras se realicen de acuerdo a los criterios de adaptación definidos. • Llevar a cabo un monitoreo de los resultados de las medidas implantadas. • Coordinar la política de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos con otras políticas más globales. • Mantener un diálogo constructivo con otros sectores públicos y privados implicados en la adaptación.
Justificación	<p>En la mayor parte de los países es la autoridad de Medio Ambiente (Ministerio, Secretaría o Agencia) la que lidera las políticas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, a un nivel general, sin que existan una gran implicación de la autoridad que planifica, diseña, construye, gestiona y explota las carreteras (Ministerio de Obras Públicas o Transportes). Es fundamental que los responsables de la gestión viaria se impliquen en la adaptación de las carreteras a las nuevas condiciones de variabilidad y cambio climáticos, y que ejerzan una posición de liderazgo en este ámbito, favoreciendo la colaboración con otros sectores implicados. Existe actualmente, en muchos países, una falta de coordinación tanto a nivel nacional como subnacional.</p>
Entidades implicadas	<p>Gobierno de cada país. Otros gobiernos de carácter subnacional. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente.</p>
Referencia de interés	<p>En el estudio de prospección realizado se ha detectado, en numerosos países de la Región, una falta de coordinación entre las autoridades de medio ambiente y las de carreteras a la hora de desarrollar planes y acciones de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos.</p> <p>Cabe destacar positivamente, como ejemplo, la creación de una unidad específica de adaptación al cambio climático en el seno del Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador, con el nombre "Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica del Riesgo" (DACGER)¹⁸. Además el Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2012 del Gobierno de Chile recoge entre sus medidas la creación de una Unidad de Cambio Climático (Gobierno de Chile, 2017)¹⁹.</p>
Dificultad de su implantación	<p>☆☆☆☆ 4 - Nivel de dificultad bajo. Requiere atribuir la responsabilidad y favorecer la coordinación con otras entidades, sin modificaciones legales ni presupuestos.</p>
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Inmediato.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF – banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional para la implantación de políticas de adaptación al clima.

Tabla 14: Descripción de la acción "Atribuir la responsabilidad de la adaptación de las carreteras al clima". (Elaboración propia).

¹⁸ <http://dacger.mop.gob.sv/>

¹⁹ <http://www.dgop.cl/Documents/PlanAccionMop.pdf>

3.2.

MARCOS LEGISLATIVO, CONTRACTUAL Y NORMATIVO

Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 2.A. DESARROLLAR UN MARCO LEGAL PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA	
Descripción	<p>Es estratégico que, de cara a conseguir el máximo apoyo institucional, político y social para las estrategias de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, se desarrolle un marco legal, como de hecho ya existe en varios países de la Región de América Latina y el Caribe. Las leyes deben contemplar específicamente la obligatoriedad de avanzar en los procesos de adaptación y, en particular, considerar las infraestructuras carreteras entre los sectores prioritarios.</p> <p>El marco legal debe servir de contexto para desarrollar planes específicos de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos, así como a localizar financiación para llevarla a cabo, favorecer la cooperación entre los sectores implicados y crear una conciencia social sobre este tema. La Ley debe mencionar estos aspectos, así como otros de interés que se consideren en cada territorio.</p>
Justificación	<p>La Ley Marco de la Madre Tierra y el Desarrollo Integral para Vivir Bien (Bolivia), la Ley por la que se instituye la Política Nacional de Cambio Climático (Brasil), los Decretos Presidenciales y Ejecutivos de Ecuador, la Ley de Cambio Climático (Honduras) o la Ley General de Cambio Climático (México) son ejemplos de desarrollos legislativos; asimismo, el Proyecto de Ley de Cambio Climático de Colombia o el Proyecto de Ley Marco para enfrentar los efectos del Cambio Climático de Perú serán referencias de interés.</p> <p>Sin embargo, a pesar de este fuerte desarrollo legislativo en la Región, es poco frecuente que se contemple la necesidad de adaptar las carreteras al clima como ámbito de trabajo a implementar.</p>
Entidades implicadas	Gobierno de cada país.
Referencia de interés	En Guatemala se publicó en 2013 la “Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación obligatoria ante los efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero”, que considera la pérdida de infraestructura como uno de los detonantes para la creación de la propia Ley (Gobierno de Guatemala, 2013) ²⁰ .
Dificultad de su implantación	<p>☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad medio.</p> <p>La tramitación legislativa supone plazos extensos y acuerdos que pueden demorarse en el tiempo.</p>
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Inmediato.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional para la implantación de políticas de adaptación al clima.

Tabla 15: Descripción de la acción “Desarrollar un marco legal para la adaptación de las carreteras al clima”. (Elaboración propia).

²⁰ <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/2682.pdf>

ACCIÓN 2.B. INTRODUCIR MEJORAS EN LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA Y EN LOS CONTRATOS DE LOS PROYECTOS	
Descripción	<p>En las licitaciones, se debe avanzar en la modificación de los Términos de Referencia de los estudios viales, de manera que se introduzcan, junto a otros requisitos, las siguientes acciones de obligado cumplimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar un análisis del riesgo climático del proyecto. • Una vez que se conozca el riesgo climático, valorar la necesidad de implantar medidas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos. • Definir las medidas a implantar, las actividades de monitoreo y su rentabilidad económica. <p>Este alcance deberá trasladarse a los contratos que se establezcan seguidamente, tanto para el diseño como la construcción y la explotación de la vía, en su caso; si la gestión de la carretera se realiza con medios propios de los gobiernos, deben contemplarse medidas similares.</p> <p>Se propone incorporar una visión equivalente a la que se prima en materia de seguridad vial (todos los proyectos de nuevos diseños deben estar sujetos a una auditoría de seguridad vial) o las salvaguardas medioambientales (obligatoriedad de una evaluación de impacto ambiental).</p> <p>Esta medida abarca también a los contratos concesionales, valorando si es preciso esperar a su vencimiento o es posible negociar con las empresas concesionarias una actualización de los criterios, motivada por una causa que podría considerarse “de fuerza mayor”, tal es la necesidad de adaptarse al contexto de variabilidad y cambio climáticos.</p>
Justificación	<p>En una buena parte de los términos de referencia o los contratos actualmente en vigor, no se menciona el análisis del riesgo climático o a la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos. Es importante regular esta situación, puesto que las afecciones al sistema de transporte por carretera forman parte de la gestión diaria de la red.</p>
Entidades implicadas	<p>Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Sector privado. Concesionarios de carreteras.</p>
Referencia de interés	<p>Un estudio de adaptación del Sector Transporte a los impactos del cambio climático desarrollado en Perú pone de manifiesto la necesidad de modificar los contratos y términos de referencia para incluir los criterios de adaptación de las carreteras al clima (Madrid, 2009)²¹.</p>
Dificultad de su implantación	<p>☆☆☆☆☆☆ 7 - Nivel de dificultad medio. Requiere el acuerdo de multitud de implicados, supone ligeras modificaciones legales y va asociado a una inversión media.</p>
Carácter	<p>Recomendado.</p>
Plazo para su realización	<p>Largo plazo.</p>
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	<p>CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional para la implantación de políticas de adaptación al clima.</p>

Tabla 16: Descripción de la acción “Introducir mejoras en los términos de referencia o contratos de los proyectos”. (Elaboración propia).

²¹ <https://es.scribd.com/document/45897451/Evaluacion-de-Vulnerabilidad-y-Adaptacion-al-Cambio-Climatico-del-Sector-Transportes>

ACCIÓN 2.C. POTENCIAR LA NORMALIZACIÓN/ESTANDARIZACIÓN PARA LA ADAPTACIÓN AL CLIMA	
Descripción	La normalización/estandarización permite crear procesos que ayudan a conseguir un objetivo común, en este caso, la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos. Por ello, los gobiernos de los países deberían favorecer el establecimiento de actividades de normalización, a través de los comités en los que participan, para la consideración de la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en los numerosos comités que afectan a las infraestructuras viarias (por ejemplo, en los comités de construcción de carreteras, de equipamiento viario, de materiales o de sensores para variables medioambientales).
Justificación	La normalización/estandarización está llamada a desempeñar un papel en la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, puesto que supone la estandarización de los procesos y la garantía de un trabajo conjunto para conseguir un fin. La Organización Internacional de Normalización dispone de comités que trabajan en todo el mundo en gestión ambiental y que son sensibles a la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos; de hecho, la futura norma ISO 14080 hará referencias específicas a la compatibilidad de los procesos de mitigación y adaptación.
Entidades implicadas	Organización Internacional de Normalización (ISO). Gobiernos de los países, a través de los comités de normalización.
Referencia de interés	Ya existen referencias en otras regiones del mundo, por ejemplo, la publicación por parte del Comité Europeo de Normalización (CEN) de la “Guía para la consideración de la adaptación al cambio climático en las normas”, que incluye ejemplos, como caso de estudio, referidos a infraestructuras de transporte (European Committee for Standardization, 2016) ²² .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad medio. Requiere el acuerdo de multitud de implicados a nivel nacional o incluso mundial si se trata de un estándar internacional.
Carácter	Recomendado
Plazo para su realización	Largo plazo
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF – banco de desarrollo de América Latina puede implicarse en las actividades de normalización, trasladando el punto de vista de las entidades de financiación multilateral.

Tabla 17: Descripción de la acción “Potenciar la normalización/estandarización para la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos”. (Elaboración propia).

²² ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/Guides/32_CENCLCGuide32.pdf

Las lluvias causan la ruptura de terraplén en la BR-110 en Brasil en 2015.



Fuente: *Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes de Brasil.*

Desprendimiento en la carretera Longitudinal de la Sierra, tramo 2 en Perú.



Fuente: *Equipo de evaluación de CAF – banco de desarrollo de América Latina.*

3.3.

PLANES Y PROGRAMAS Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 3.A. DESARROLLAR PLANES ESPECÍFICOS DE ADAPTACIÓN AL CLIMA PARA LA RED DE CARRETERAS EXISTENTE	
Descripción	<p>Es fundamental desarrollar planes y programas que incluyan acciones, entidades responsables, calendario, presupuesto e indicadores de desempeño, para valorar el grado de desarrollo de los planes que se adopten. Este tipo de acciones se consideran, en general, para la red vial existente. Se sugiere incluir, al menos, los siguientes capítulos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultados del análisis del riesgo climático en la red vial. • Definición de ámbitos de actuación, por ejemplo: fortalecimiento institucional, gestión de la información y el conocimiento, medidas específicas sobre la estabilidad de los taludes o el drenaje. • Establecimiento de prioridades. • Marco temporal para la realización de las acciones. • Fuentes de financiación. • Actividades de monitoreo. • Mecanismos para la coordinación entre las entidades implicadas. <p>Dado que resulta complicado acometer una modificación que abarque toda la red vial, es interesante el planteamiento de comenzar por la red principal, de manera que se puedan implantar mejoras en los itinerarios con más tráfico cuyo impacto, en caso de afección o colapso, es mayor en la población. Posteriormente, se pueden acometer acciones sobre otro tipo de redes, con la ventaja de disponer de las lecciones aprendidas en los primeros pasos del proceso. Los planes y programas que se establezcan deben estar coordinados con otras políticas prioritarias en el ámbito viario, como la seguridad vial o el impacto ambiental.</p>
Justificación	<p>La existencia de planes específicos para la adaptación de la infraestructura vial a la variabilidad y cambio climáticos permite considerar este ámbito de trabajo con la importancia que merece. En algunos países, el hecho de que el transporte no sea un sector regulado de emisiones de gases de efecto invernadero hace que éste no se haya incluido como sector prioritario en las políticas de mitigación ni de adaptación.</p>
Entidades implicadas	<p>Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional.</p>
Referencia de interés	<p>El ejemplo de Colombia, con la publicación del “Plan Vías CC: Vías Compatibles con el Clima. Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia”, es una referencia única en la Región; establece como visión que en el año 2040 el sector de transporte de Colombia habrá implementado acciones de adaptación en todas las vías existentes del país y será pionero en la construcción de nuevas vías compatibles con el clima, convirtiendo la variabilidad y cambio climáticos en una oportunidad de desarrollo, competitividad y crecimiento sectorial (Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Planeación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)²³.</p>
Dificultad de su implantación	<p>☆☆☆☆☆☆☆☆ 9 - Nivel de dificultad alto. Supone un elevado presupuesto, un gran esfuerzo de coordinación y modificaciones legales.</p>
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Corto plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina puede apoyar financieramente el desarrollo y la implantación de programas de adaptación de carreteras al clima.

Tabla 18: Descripción de la acción “Desarrollar planes específicos de adaptación al clima para la red de carreteras existente”. (Elaboración propia).

²³ http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Plan_V%C3%ADas-CC_V%C3%AAs_Das_Compatibles_con_el_Clima.pdf

ACCIÓN 3.B. FAVORECER LA IMPLANTACIÓN DE PRÁCTICAS DE BLINDAJE CLIMÁTICO PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA	
Descripción	Para los proyectos de nueva construcción, es necesario considerar procedimientos que contemplen la variabilidad y cambio climáticos en la toma de decisiones. Además de los sistemas que incorporen las entidades de financiación, se sugiere la consideración del concepto de blindaje climático de infraestructuras, entendido como una opción técnica de adaptación, que busca mantener la capacidad de un sistema de funcionar mientras el clima cambia, asegurando la sustentabilidad de las inversiones (PNUD, 2010). Esta técnica, que podría materializarse a través de una Guía específica, supone la implantación de acciones que fortalezcan y hagan menos vulnerable la infraestructura frente al cambio climático a largo plazo, así como a frente amenazas asociadas a la variabilidad y los extremos del clima.
Justificación	Con el enfoque de blindaje climático de infraestructuras se disminuye el riesgo ante los efectos climáticos extremos, y se puede conseguir efectos positivos en las dimensiones social y ambiental. El punto de partida del blindaje es la planificación y el diseño de las obras, para el que han de considerarse los datos climáticos estimados con las previsiones disponibles; los mismos criterios deben aplicarse en las fases de construcción, eligiendo los materiales más adecuados en todo el proceso constructivo. Las bases de licitación suponen un ámbito de trabajo prioritario, puesto que en su adecuación reside en buena medida la clave del éxito del proceso de blindaje.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional.
Referencia de interés	Honduras dispone de una Guía para el blindaje de proyectos de inversión pública (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras, 2013) ²⁴ , mientras que El Salvador está trabajando en esta misma línea a través de su Ministerio de Obras Públicas ²⁵ . Los Ministros de Obras Públicas / Infraestructuras / Transportes de los países de Centroamérica firmaron en 2011 un acuerdo (Declaración de San Salvador) en el que, entre otros temas, instaban al Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales de América Central, a la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo y al Consejo de Ministros de Transporte a ejecutar un Plan Ambiental de Blindaje de la Infraestructura Social y Productiva de la Región Centroamericana ²⁶ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆ 9 - Nivel de dificultad alto. Requiere el desarrollo de una Guía específica, lo que supone tiempo y recursos económicos, así como modificaciones legales.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Medio plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina está impulsando el desarrollo de la metodología de blindaje de proyectos en sectores de infraestructura vial en países como Colombia y Perú.

Tabla 19: Descripción de la acción “Favorecer la implantación de prácticas de blindaje climático para nueva infraestructura”. (Elaboración propia).

²⁴ file:///D:/Downloads/Gu%C3%ADa%20de%20Blindaje%20de%20Proyectos%20(1).pdf

²⁵ Referencia no disponible.

²⁶ http://www.mop.gob.sv/coop_conferencia/documentos/Declaracion_2011.pdf

3.4.

ASIGNACIÓN PRESUPUESTARIA

Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 4.A. REALIZAR UNA VALORACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO DE LOS DESASTRES NATURALES RELACIONADOS CON EL CLIMA EN LA RED VIAL	
Descripción	Con vistas a conseguir apoyo político orientado a la asignación de partidas presupuestarias para la adaptación de la red vial al clima, en un contexto de variabilidad y cambio climáticos, es importante realizar una valoración económica del costo que suponen los fenómenos meteorológicos extremos en la red de carreteras, no sólo en términos de destrucción y necesidad de reconstrucción de vías y puentes, sino también en cuanto a las consecuencias que supone para la sociedad no recibir bienes de primera necesidad, como los alimentos, o el combustible, o no poder acceder a servicios básicos, como la sanidad, por la imposibilidad de utilizar una red de carreteras dañada.
Justificación	Los parámetros de rentabilidad económica son una información básica de referencia para la toma de decisiones.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Economía y Finanzas. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades.
Referencia de interés	En Paraguay se realizó una valoración del impacto de El Niño entre 2015 y 2016, para la consideración de los daños y el planteamiento de acciones a llevar a cabo para restablecer las infraestructuras, fortalecer las instituciones y mejorar la resiliencia de la red vial ante eventos futuros (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2016) ²⁷ . El informe concluyó que el sector transporte sufrió la afectación en puntos de la red vial de cinco departamentos, 40 puentes fueron destruidos y fue necesario rehabilitar más de 11.000 kilómetros de caminos vecinales; el Ministerio de Obras Públicas y Comunicación atendió de forma inmediata el proceso de rehabilitación a través de la Comisión de Emergencia Vial y la asignación de 47.5 millones de dólares estadounidenses; posteriormente, se pusieron en marcha los proyectos de reconstrucción, en los que los daños y pérdidas superaron los 221 millones de dólares, y las necesidades de recursos para la reconstrucción alcanzaron 1578 millones de dólares, incluyendo el reforzamiento y reconstrucción de los muros ribereños.
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆ 5 - Nivel de dificultad medio. Requiere la participación de numerosas entidades para recopilar información que no siempre estará disponible; asimismo, es necesario un presupuesto para su elaboración.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Corto plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina apoya la realización de estudios técnicos específicos focalizados en esta temática.

Tabla 20: Descripción de la acción “Realizar una valoración económica del impacto de los desastres naturales relacionados con el clima en la red vial”. (Elaboración propia).

²⁷ Referencia no disponible.

ACCIÓN 4.B. ESTIMAR Y DOTAR PRESUPUESTARIAMENTE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN DE LA RED VIAL AL CLIMA	
Descripción	Las intervenciones que es necesario realizar, tanto en el plano estructural como en el institucional, el político, el legal, el de normalización o los de cualesquiera otras índoles, requieren un presupuesto, que se debe prever y asignar si realmente se quiere avanzar en la adaptación de la red vial a los efectos del clima, en un contexto de variabilidad y cambio climáticos. Estas partidas presupuestarias serán, asimismo, necesarias para dotar de recursos humanos y materiales a las unidades que vayan a trabajar en la puesta en marcha de estas acciones. Indudablemente, la asignación presupuestaria debe tener en cuenta el establecimiento de prioridades para alcanzar los resultados deseados.
Justificación	Si no se dispone de financiación específica, ya sea de origen presupuestario o por medio de préstamos u otro tipo de colaboraciones con la banca multilateral o cooperación internacional, no se podrán llevar a cabo las acciones programadas, generando retrasos en la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos y aumentando la brecha existente entre las necesidades de infraestructura resiliente y la situación actual.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Economía y Finanzas. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional.
Referencia de interés	El "Plan Vías CC: Vías Compatibles con el Clima. Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia" realiza una estimación de la inversión requerida para implementar los distintos ejes estratégicos que se contemplan. El monto total asciende a 16540 millones de pesos colombianos, los cuales no incluyen las inversiones necesarias en medidas de adaptación que pudieran surgir de los análisis de vulnerabilidad propuestos en el plan (Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Planeación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) ²⁸ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad alto. Supone la adquisición de compromisos de crédito, que deberán involucrar a numerosas entidades; previsiblemente, requerirá también la realización de modificaciones legales.
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Inmediato.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina, como agencia implementadora de los fondos verdes para el clima promueve el acceso al flujo de los recursos financieros en materia de adaptación.

Tabla 21: Descripción de la acción "Realizar una valoración económica del impacto de los desastres naturales relacionados con el clima en la red vial". (Elaboración propia).

²⁸ http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Plan_V%C3%ADas-CC_V%C3%ADas_Compatibles_con_el_Clima.pdf

3.5.

CAPACITACIÓN Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 5.A. INCORPORAR LOS PERFILES PROFESIONALES ADECUADOS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA	
Descripción	<p>La implantación de medidas de adaptación al clima en carreteras, en un contexto de variabilidad y cambio climáticos, requiere de la participación de personal cualificado en varios ámbitos, personal al que deben dirigirse los cursos de capacitación. A saber:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asesores políticos que comprendan la realidad climática a la que se enfrenta la Región y su implicación en materia de carreteras. • Equipos expertos en la evaluación y manejo de modelos adecuados para el desarrollo de previsiones climáticas considerando las características particulares del territorio. • Responsables de la red vial sensibles al reto de la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos. • Técnicos de las autoridades de carreteras adecuadamente capacitados para liderar el cambio en las infraestructuras viarias de la Región, con experiencia en la evaluación de riesgo climático y la aplicación de medidas de adaptación al clima. • Equipos institucionales con capacidad para la definición de indicadores de adaptación y la puesta en marcha de las labores de monitoreo de los mismos. • El sector privado de la ingeniería viaria. <p>Mientras que en el ámbito político es necesario trabajar en el campo de la sensibilización, en el plano técnico es importante generar programas de capacitación y designar unidades específicas en las autoridades de carreteras, con personal adecuadamente formado para implantar las políticas de adaptación y realizar un seguimiento de su desempeño. En particular, la capacitación debe centrarse en el uso de las metodologías para el análisis del riesgo, así como en el conocimiento de las medidas de adaptación al clima más utilizadas, especialmente en materia de drenaje, estabilización de taludes, materiales y estructuras, así como en lo que respecta a acciones de monitoreo.</p> <p>La adecuada capacitación del sector privado es, asimismo, importante, dada su participación en el diseño de proyectos, construcción y explotación de las carreteras, por lo que los ámbitos de formación deberán ser similares a los del sector público; un nuevo modelo de carreteras adaptadas al clima requiere un nuevo perfil de ingenieros en el sector público y privado, con una adecuada capacitación.</p>
Justificación	El capital humano es el motor para la puesta en marcha de acciones, planes y políticas; sin expertos adecuadamente formados no será posible liderar el cambio que se quiere desarrollar en la Región de América Latina y el Caribe en cuanto a la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades. Sector privado.
Referencia de interés	El fortalecimiento de capacidades en Gestión de Riesgo de Desastre y Adaptación al Cambio Climático es uno de los procesos que se incluye en la Hoja de Ruta del Plan Indicativo para el Fortalecimiento Institucional de la Gestión de Riesgo de Desastres en el sector de la Infraestructura Vial en Colombia (PIFIN) (CAF - banco de desarrollo de América Latina, 2016) ²⁹ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad medio. Media, puesto que se requiere la implicación de varias entidades, posibles modificaciones legales y presupuestos, así como tiempo para identificar las necesidades y perfiles profesionales que no siempre estarán disponibles dado su elevado grado de especialización.
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Medio plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional, el cual podría canalizarse mediante la fórmula de la creación de unidades específicas de adaptación al clima.

Tabla 22: Descripción de la acción “Incorporar los perfiles profesionales adecuados para la adaptación de las carreteras al clima”. (Elaboración propia).

²⁹ Referencia no disponible.

ACCIÓN 5.B. GENERAR LOS PROGRAMAS FORMATIVOS PARA HACER FRENTE A UNA SITUACIÓN DE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS	
Descripción	Las necesidades de capacitación requieren analizar los programas educativos, valorando la posibilidad de crear estudios universitarios específicos en materia de cambio climático y especialidades en las escuelas de Ingeniería Civil. Se trataría de una disciplina que debería contar con contenidos ingenieriles, climáticos y medioambientales a partes iguales, no disponible en las escuelas universitarias actualmente.
Justificación	Es prioritario garantizar que los ingenieros viales del futuro puedan hacer frente a uno de los grandes retos de la planificación, diseño, construcción y explotación de carreteras en el medio y en el largo plazo. La generación de conocimiento y capacidades técnicas en los propios países, garantizando la presencia de profesionales adecuadamente capacitados, es uno de los puntos clave para enfrentar la adaptación al clima con éxito.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Educación. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades. Sector privado. Sociedad civil.
Referencia de interés	El Plan Vías CC de Colombia contempla, en su eje transversal “sensibilización, educación y comunicación en cambio climático”, la creación de estudios y diplomaturas en cambio climático y sector transporte, con énfasis en las carreteras, y una cátedra permanente en materia de clima dentro de los estudios universitarios de Ingeniería (Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Planeación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) ³⁰ . Existen cursos de posgrado y maestrías en diferentes universidades de la Región, por ejemplo en Nicaragua, Perú, Ecuador, Costa Rica y México, si bien no están especializados en la adaptación de las infraestructuras a la variabilidad y cambio climático.
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad medio. La creación de nuevos estudios o la modificación de los programas de estudio actualmente en vigor implican plazos extensos, numerosas entidades afectadas y ciertas modificaciones legales, aunque de carácter leve.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Medio plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional, los cuales pueden canalizarse como ayudas a la especialización universitaria.

Tabla 23: Descripción de la acción “Generar los programas formativos para hacer frente a una situación de variabilidad y cambio climáticos”. (Elaboración propia).

³⁰ http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Plan_V%C3%ADas-CC_V%C3%ADas_Compatibles_con_el_Clima.pdf

3.6.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

ACCIÓN 6.A. RECOPIRAR, ANALIZAR Y SISTEMATIZAR LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA DISPONIBLE, DESDE UN ENFOQUE DE REGIÓN CLIMÁTICA	
Descripción	<p>Es preciso que los países trabajen en la clasificación regional de los riesgos climáticos, teniendo en cuenta que un mismo país puede presentar varias regiones desde el punto de vista climático. Para cada una de estas regiones, se debe realizar una recopilación de la información climática disponible, que abarque, en el supuesto ideal, los siguientes campos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registros de precipitación y temperatura en una serie próxima a los 30 años anteriores. • Proyecciones de precipitación y temperatura basadas en previsiones de cambio climático para los próximos 20-30-40-50-60-70 años. • Datos sobre el nivel del mar en diferentes estaciones en el último siglo y previsiones de ascenso. <p>Es importante que esta información se disponga en bases de datos accesibles para toda la comunidad científica y técnica, con un nivel de detalle apto para cada etapa del proyecto.</p> <p>Para el desarrollo de los modelos de previsiones climáticas futuras, podría plantearse la creación de una entidad específica que desarrollara estos modelos de forma amplia, facilitando la particularización para cada región climática.</p>
Justificación	Esta información servirá de base para la definición de los mapas de riesgo que permitirán identificar la vulnerabilidad de las redes viarias ante situaciones de cambio climático.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Medio Ambiente. Servicios Meteorológicos. Otros gobiernos de carácter subnacional.
Referencia de interés	En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) dispone de proyecciones de precipitación y temperatura basadas en cambio climático, que para los trabajos relacionados con el Plan Vías CC, se consideraron para los períodos 2011-2040 y 2041-2070 ³¹ . En México se dispone de información sobre escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación, para el período 2015-2039 ³² , así como de un Atlas Climático Digital del país ³³ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆☆☆ 8 - Nivel de dificultad alto. El proceso requiere la participación de numerosas entidades (alcance internacional), así como un costo elevado y, con toda probabilidad, modificaciones legales.
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Inmediato.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional, que pueden canalizarse hacia la creación del conocimiento que permita desarrollar la acción.

Tabla 24: Descripción de la acción “Recopilar, analizar y sistematizar la información climática disponible, desde un enfoque de región climática”. (Elaboración propia).

³¹ <http://www.ideam.gov.co/>

³² <http://www.escenarios.inecc.gob.mx/>

³³ http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_escenarios.html

ACCIÓN 6.B. ANALIZAR EL RIESGO CLIMÁTICO EN LAS REDES DE CARRETERAS	
Descripción	<p>Existen multitud de referencias metodológicas al análisis de riesgo climático, basado en las amenazas existentes y en la vulnerabilidad de las infraestructuras. Cada país deberá decidir qué metodología se adapta mejor a sus necesidades y poner en marcha su implantación para cada región climática definida. El proceso pasa por las siguientes etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consolidar y mantener una red nacional de estaciones de monitoreo de variables meteorológicas, de manera que se pueda hacer monitoreo del clima y esta información se utilice para alimentar los modelos de previsiones climáticas. • Definir y actualizar las previsiones climáticas de referencia, considerando los condicionantes de variabilidad y cambio climáticos. • Incorporar el uso de herramientas GIS en todo el proceso. • Caracterizar las amenazas climáticas. • Inventariar las redes de carreteras y sus características principales. • Analizar la vulnerabilidad de la red vial, especialmente en cuanto a la estabilidad de los taludes, capacidad de obras de drenaje, pavimentos y estructuras, así como otros aspectos que se consideren claves. • Aplicar una metodología para el análisis del riesgo climático, o desarrollo de una metodología propia, si se considera necesario. • Desarrollar mapas de riesgo climático de la red vial. • Establecer prioridades de adaptación. • Valorar económicamente las diferentes opciones de adaptación y cálculos de rentabilidad. • Realizar el monitoreo y revisión del proceso. <p>La generación de mapas de riesgo climático, soportes GIS y el uso de tecnologías serán, sin duda, herramientas de la máxima utilidad de cara a la gestión de los riesgos climáticos en carreteras. El nuevo modelo de carreteras adaptadas al clima requiere la recopilación y tratamiento de multitud de datos, que los países deben implantar y actualizar.</p>
Justificación	La existencia de un modelo de análisis de vulnerabilidad de las carreteras constituye la base para establecer prioridades de actuación e inversión en materia de adaptación al clima.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional.
Referencia de interés	En México se dispone de un Atlas de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático ³⁴ . Además, el Instituto Mexicano del Transporte ha realizado un estudio específico para caracterizar los fenómenos climáticos de mayor afectación a la infraestructura carretera en México, a partir de los datos de desastres naturales y de estaciones meteorológicas (Instituto Mexicano del Transporte, 2017) ³⁵ . En Colombia se realizó un análisis de riesgo asociado a la vulnerabilidad de la red vial primaria de Colombia frente al clima de hoy y a las previsiones de cambio climático proyectadas a 2040 (Ministerio de Transporte. Ministerio de Ambiente. INVIAS. ANI, 2015) ³⁶ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆☆☆ 7 - Nivel de dificultad medio. Requiere una fuerte financiación y la participación de numerosas entidades.
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Corto plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los gobiernos en el fortalecimiento institucional, que puede canalizarse para el desarrollo de modelos.

Tabla 25: Descripción de la acción “Analizar el riesgo climático de las redes de carreteras”. (Elaboración propia).

³⁴ <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/atlas-nacional-de-vulnerabilidad-ante-el-cambio-climatico-anvcc-80137>

³⁵ <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt498.pdf>

³⁶ [file:///D:/Downloads/Riesgo_Clim%C3%A1tico_Red_Vial_Primary_-_Resumen_Ejecutivo%20\(2\).pdf](file:///D:/Downloads/Riesgo_Clim%C3%A1tico_Red_Vial_Primary_-_Resumen_Ejecutivo%20(2).pdf)

3.7.

NORMATIVA Y GUÍAS TÉCNICAS

Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 7.A. DESARROLLAR NORMATIVAS, RECOMENDACIONES Y GUÍAS DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA	
Descripción	<p>La revisión periódica que se realiza de los manuales o normas de diseño de carreteras debe tener en cuenta las previsiones de variabilidad y cambio climáticos, de manera que los procesos puedan adaptarse a las previsiones de futuro que se han realizado. En este sentido, los cambios fundamentales en las normativas de diseño o en los manuales y guías de buenas prácticas se centrarán en los siguientes ámbitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drenaje. • Estabilidad de taludes, deslizamientos de terreno y otros aspectos geotécnicos. • Materiales de construcción. • Pavimentos. • Estructuras.
Justificación	<p>Con unas normas y recomendaciones que consideren la variabilidad y cambio climáticos se garantiza que se ponen las bases para conseguir una infraestructura viaria resiliente al clima; al mismo tiempo, se puede incorporar el planteamiento “build back better”, que persigue que la reconstrucción de los activos dañados se realice de manera que las comunidades sean menos vulnerables que en la situación de partida, mejorando la resiliencia de la red vial; en este contexto, los nuevos diseños de carreteras o las operaciones de rehabilitación de carreteras existentes deberían tener en cuenta las recomendaciones de diseño y explotación adaptadas a las previsiones de variabilidad y cambio climáticos. En este caso, es importante contar con las lecciones aprendidas de los eventos extremos como el Niño Costero, por ejemplo.</p>
Entidades implicadas	<p>Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Universidades y centros de investigación.</p>
Referencia de interés	<p>En Guatemala se ha desarrollado un Manual para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales con enfoque de gestión y adaptación a la variabilidad y cambio climáticos (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar y USAID, 2013)³⁷. En Paraguay se está realizando una actualización del Manual de Carreteras teniendo en cuenta el cambio climático³⁸. En Nicaragua se han revisado recientemente los códigos técnicos de carreteras para su adaptación al cambio climático³⁹. En México se están realizando cambios en la normativa de diseño vial, para modificar los períodos de retorno en obras de drenaje de 20 a 40 años y fomentar el uso de mezclas asfálticas con buen comportamiento ante gradientes de temperatura⁴⁰.</p>
Dificultad de su implantación	<p>☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad medio. Requiere la participación de varias entidades, ligeras modificaciones legales y presupuestos calificados como medios.</p>
Carácter	<p>Imprescindible.</p>
Plazo para su realización	<p>Corto plazo.</p>
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	<p>CAF - banco de desarrollo de América Latina puede apoyar financieramente la elaboración de material técnico de referencia, así como acciones posteriores de transferencia de conocimiento.</p>

Tabla 26: Descripción de la acción “Desarrollar normativas, recomendaciones y guías de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima”. (Elaboración propia).

³⁷ //www.url.edu.gt/publicacionesurl/pPublicacion.aspx?pb=189

³⁸, ³⁹ y ⁴⁰ Referencias no disponibles.

3.8.

MONITOREO DE RESULTADOS

Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 8.A. IMPLEMENTAR ACCIONES DE MONITOREO	
Descripción	<p>Cada una de las acciones que se implemente en el contexto de los planes de la adaptación de las carreteras al clima debe contar con actividades de monitoreo que permitan controlar el desarrollo de los trabajos. Para las acciones de monitoreo se definirán distintos tipos de indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de funcionamiento (por ejemplo, puesta en marcha de una unidad de adaptación al clima en el Ministerio de Obras Públicas / Transportes o publicación de directrices o normativas). • Indicadores de resultado (por ejemplo, número de kilómetros de vía construidos con criterios de adaptación al clima o inversión en mejora de sistemas de drenaje). • Indicadores para acciones estratégicas: cobertura, impacto, sostenibilidad y replicabilidad. <p>Estos indicadores deberían integrarse en un Sistema de Medición, Reporte y Verificación de resultados de las acciones de adaptación.</p> <p>Asimismo, se sugiere trabajar en la creación de un banco de información de medidas de adaptación de las carreteras al clima a nivel regional, donde se recojan los detalles y resultados de las diferentes medidas técnicas implantadas en cada territorio, con su caracterización climática; el objetivo es que pueda servir para el planteamiento de medidas en regiones con características climáticas similares.</p>
Justificación	El monitoreo de resultados permite comprobar la adecuada implementación de las medidas, estableciendo los planes de contingencia necesarios en caso de no estar alcanzando los objetivos definidos.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional.
Referencia de interés	<p>En Colombia el Plan Vías CC contempla indicadores de monitoreo para cada una de las acciones que se considera, estableciendo la línea base y la meta a alcanzar; algunos de los indicadores son cualitativos (se alcanza / no se alcanza el objetivo), mientras que otros son cuantitativos (por ejemplo, número de profesionales contratados en el Grupo de Cambio Climático del Ministerio de Transportes) (Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Planeación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)⁴¹.</p> <p>El Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2012 del Gobierno de Chile establece metas a indicadores de cumplimiento para cada una de las medidas; es especialmente interesante la consideración como indicador del número de proyectos que consideran el cambio climático en su diseño y el número de manuales y procedimientos actualizados con consideraciones de cambio climático (Gobierno de Chile, 2017)⁴².</p>
Dificultad de su implantación	<p>☆☆☆☆☆ 5 - Nivel de dificultad medio.</p> <p>Requiere la participación de numerosos implicados, sin modificaciones legales y con un presupuesto moderado.</p>
Carácter	Imprescindible.
Plazo para su realización	Corto plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina puede apoyar financieramente la realización de programas de adaptación de carreteras al clima, que engloben las acciones de monitoreo, así como la creación del banco de información de medidas de adaptación.

Tabla 27: Descripción de la acción “Implementar acciones de monitoreo”. (Elaboración propia).

⁴¹ http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Plan_V%C3%ADAs-CC_V%C3%ADAs_Compatibles_con_el_Clima.pdf

⁴² <http://www.dgop.cl/Documents/PlanAccionMop.pdf>

ACCIÓN 8.B. ESTABLECER PROCESOS DE RETROALIMENTACIÓN TRAS FENÓMENOS CLIMÁTICOS EXTREMOS	
Descripción	<p>Cuando se producen fenómenos climáticos adversos, es útil disponer de un protocolo para la recogida integral de datos, que permita valorar los efectos y los daños producidos, así como los elementos de la infraestructura que han soportado bien los impactos. Este protocolo debe establecer, asimismo, el tipo de información a recopilar (incluso antes del evento climático) y determinar las entidades responsables de la recogida de datos y de su almacenamiento y tratamiento.</p> <p>Deberá contemplar diferentes niveles de categorías viarias (red primaria, secundaria, terciaria y caminos) y diferentes bloques de información, detallando las unidades afectadas y permitiendo la realización de una valoración económica. Los procesos deberán estar informatizados y disponibles para su uso en una herramienta GIS, que permita elaborar informes de valoración y comparar previsiones. Se debe considerar, al menos, la siguiente información posterior al evento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daños en el pavimento. • Derrumbes, deslizamientos y flujo de lodos. • Hundimientos. • Afectaciones a obras de drenaje. • Afectación a obras de contención o estabilización. • Afectación a terraplenes. • Afectaciones estructurales en túneles • Afectaciones al equipamiento viario. • Estructuras: daños en la cimentación, muros o aletas, daños en la infraestructura, daños en los terraplenes de acceso o colapso total, en su caso. <p>Con vistas a realizar un adecuado control, es interesante involucrar a las autoridades nacionales de auditoría y control, que puedan intervenir para asegurar el cumplimiento de la normativa; en este sentido, debería plantearse la imposición de sanciones cuando ocurran determinadas circunstancias que se consideren graves, como sucede cuando se incumple cualquier otra normativa ambiental.</p>
Justificación	Nuevamente desde la perspectiva de “build back better”, las entidades implicadas en los procesos de adaptación de las carreteras al clima deben aprovechar los eventos extremos que se produzcan para recopilar la máxima información posible sobre el comportamiento de la infraestructura, que les permita mejorar en la implantación de las medidas de adaptación.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional.
Referencia de interés	El Manual para la Evaluación de Desastres de Naciones Unidas plantea una metodología para estimar los efectos de los desastres, considerando los impactos económicos, sociales y ambientales. Existe un capítulo dedicado expresamente a la infraestructura vial (CEPAL. Naciones Unidas, 2013) ⁴³ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆☆ 6 - Nivel de dificultad medio. Requiere la participación de numerosos implicados y una inversión moderada.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Corto plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina puede apoyar financieramente la realización de programas de adaptación de carreteras al clima, que engloben los procesos de retroalimentación.

Tabla 28: Descripción de la acción “Establecer procesos de retroalimentación tras fenómenos climáticos extremos”. (Elaboración propia).

⁴³ http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35894/S2013806_es.pdf;jsessionid=2F34E715203AC56526158AB5557C062B?sequence=1

3.9.

PROGRAMAS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO

Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 9.A. FAVORECER LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO EN EL ÁMBITO DE LA ADAPTACIÓN AL CLIMA	
Descripción	<p>Desarrollar una agenda de innovación focalizada en la adaptación de las carreteras al clima, en un contexto de variabilidad y cambio climáticos, con la participación de las universidades, centros de investigación y centros tecnológicos, como motor de la investigación y la innovación; en la agenda se deben establecer las prioridades sobre las que se quiere centrar los esfuerzos en los próximos años. De manera preliminar, se proponen las siguientes prioridades de innovación para la adaptación de las carreteras al clima:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metodologías de análisis del riesgo adaptadas a las regiones climáticas. • Nuevos materiales para rellenos de taludes. • Optimización de los drenajes superficiales y profundos de las capas de los pavimentos. • Innovación en el drenaje de taludes. • Nuevos sistemas de cimentación. • Utilización de modelos BIM para la toma de decisiones. • Pavimentos drenantes. • Sensorización de las carreteras. • Uso de drones en labores de vigilancia. <p>De cara a la financiación de la investigación, existen oportunidades en el ámbito de la cooperación internacional, ya sea de manera bilateral entre países como por medio de entidades como la Comisión Europea.</p>
Justificación	La incorporación de los organismos de investigación al proceso de adaptación al clima permite contribuir al fortalecimiento de los países en este ámbito, creando un músculo propio que pueda hacer frente a los retos del futuro.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades y centros de investigación.
Referencia de interés	El Plan de Acción Nacional de Cambio Climático de Chile incluye entre sus líneas estratégicas el fomento de la investigación en temas de cambio climático, que permita establecer las líneas de trabajo en las áreas de mitigación y adaptación; se contempla la provisión de fondos públicos para la investigación científica a través de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica y la formalización de un comité científico de cambio climático (Ministerio del Medio Ambiente. Departamento de Cambio Climático, 2017) ⁴⁴ . En la Unión Europea se ha realizado un importante esfuerzo de innovación en materia de adaptación al cambio climático, a través de varios proyectos de investigación.
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆☆ 5 - Nivel de dificultad medio. Requiere la participación de numerosos implicados, sin modificaciones legales y con un presupuesto moderado.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Largo plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina apoya la generación y gestión del conocimiento en materia de adaptación al clima, creando programas de innovación, así como brindando apoyo financiero al desarrollo de proyectos de investigación.

Tabla 29: Descripción de la acción “Favorecer la innovación y el desarrollo en el ámbito de la adaptación al clima”. (Elaboración propia).

⁴⁴ http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf

ACCIÓN 9.B. CREAR REDES NACIONALES DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO	
Descripción	Ya existen redes de transferencia de conocimiento en el ámbito del cambio climático, como la Red Global de Adaptación o el Portal Regional para la Transferencia de Tecnología y Acción (REGATTA) ⁴⁵ del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ⁴⁶ . En el contexto de las acciones de planificación estratégica para la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos, se debe favorecer la incorporación de los países de la Región de América Latina y el Caribe a estas redes internacionales y generar mecanismos de transferencia de conocimiento en el ámbito nacional.
Justificación	Existen investigaciones, manuales y acciones que se han llevado a cabo en la adaptación de las carreteras al clima y no se han difundido a gran escala, lo que conduce inevitablemente a una falta de optimización de los recursos. La existencia de espacios compartidos de conocimiento permitiría conseguir un mayor crecimiento desde una perspectiva global, aprovechando los avances que se estén produciendo en cada rincón de la Región de América Latina y el Caribe.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades.
Referencia de interés	En México existe un Programa de Investigación en Cambio Climático, en el contexto de la Universidad Nacional Autónoma que tiene entre sus objetivos la transferencia de conocimiento en esta materia ⁴⁷ . En el ámbito viario de América Latina y el Caribe, en particular en el contexto de la seguridad vial, existe un organismo denominado OISEVI (Observatorio Iberoamericano de Seguridad Vial), concebido como un instrumento de cooperación internacional integrado por las máximas autoridades de seguridad vial de los países iberoamericanos miembros. Este ejemplo podría servir de inspiración para crear un organismo similar en el ámbito de la adaptación al clima, que pudiera realizar labores de interés común para toda la Región relacionadas con la transferencia de conocimiento, así como otras acciones, por ejemplo, la realización de los modelos de previsión de la evolución del clima con los condicionantes de variabilidad y cambio climáticos a escala regional y local ⁴⁸ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆ 4 - Nivel de dificultad bajo. Requiere la participación de numerosos implicados, sin modificaciones legales y con un presupuesto bajo.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Medio plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina presta apoyo a los Gobiernos en el fortalecimiento institucional, que podría canalizarse hacia la creación y sostenimiento de la entidad responsable de la transferencia de conocimiento.

Tabla 30: Descripción de la acción “Crear redes nacionales de transferencia de conocimiento”.
(Elaboración propia).

⁴⁵ <http://www.cambioclimatico-regatta.org/index.php/es/>

⁴⁶ <http://web.unep.org/americalatinacaribe/>

⁴⁷ <http://www.pincc.unam.mx/pincc.html>

⁴⁸ <http://www.oisevi.org/a/>

3.10.

ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

Se contemplan las siguientes acciones:

ACCIÓN 10.A. DESARROLLAR UNA CULTURA DE ADAPTACIÓN A LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS EN LOS CIUDADANOS	
Descripción	Es interesante involucrar a la sociedad en la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos a todos los niveles; para conseguirlo, desde los gobiernos se debe realizar un importante esfuerzo de difusión, a través de los medios de comunicación, página web, redes sociales y campañas específicas. Estas acciones se deben concretar en un Plan de Comunicación, que debe seguirse de manera sostenida en el tiempo. En el ámbito de las infraestructuras, se debe proporcionar información a los ciudadanos acerca del posible cierre de carreteras tras un fenómeno de variabilidad o cambio climáticos y las posibles alternativas existentes; desde esta perspectiva, ciudadanos bien informados estarán en condiciones de afrontar las consecuencias de una manera más calmada y, sobre todo, evitar situaciones de riesgo innecesario.
Justificación	La adaptación al clima es un problema de toda la sociedad; los gobiernos deben desempeñar un papel motor, liderando las políticas de cambio, pero la sociedad está llamada a desempeñar un rol activo en el futuro próximo, involucrándose en la consideración de la información que se difunda o adoptando actitudes más seguras, por ejemplo.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades. Medios de comunicación. Organizaciones de la sociedad civil.
Referencia de interés	El programa "Adaptation Scotland", financiado por el Gobierno de Escocia, ha desarrollado una Guía práctica para la comunicación basada en valores en el ámbito de la adaptación; el objetivo de esta Guía es acercar la variabilidad y cambio climáticos a los ciudadanos y presentar las medidas de adaptación como un elemento positivo, generando conciencia en la población y compromiso de colaboración (Adaptation Scotland, 2014) ⁴⁹ .
Dificultad de su implantación	★★★★★ 5 - Nivel de dificultad medio. Requiere la participación de numerosos implicados, sin modificaciones legales y con un presupuesto moderado.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Medio plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina apoya la generación y gestión del conocimiento en materia de adaptación al clima.

Tabla 31: Descripción de la acción "Desarrollar una cultura de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en los ciudadanos". (Elaboración propia).

⁴⁹ <https://climateoutreach.org/resources/communicating-climate-change-adaptation-a-practical-guide-to-values-based-communication/>

ACCIÓN 10.B. FAVORECER LA INCORPORACIÓN DEL SECTOR PRIVADO A LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA	
Descripción	El sector privado debe posicionarse de una manera proactiva frente a uno de los grandes retos del presente y el futuro en la Región de América Latina y el Caribe. De cara a la búsqueda de recursos y al apoyo para el desarrollo de programas, planes y acciones, el sector privado debe ligar su imagen a las políticas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, no sólo apoyándolo financieramente, sino también sirviendo de enlace para la creación de una cultura de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, como elemento de conexión con sus proveedores, clientes y otros grupos de interés.
Justificación	La comunicación debe servir para generar una conciencia de responsabilidad social climática entre el sector privado, que alcance las prácticas habituales de las empresas, como ya ocurre, por ejemplo, con la seguridad vial, que forma parte de los programas de responsabilidad social corporativa en numerosas empresas privadas.
Entidades implicadas	Gobiernos de los países. Ministerio de Obras Públicas / Transportes. Ministerio de Medio Ambiente. Otros gobiernos de carácter subnacional. Universidades. Sector privado. Medios de comunicación . Organizaciones de la sociedad civil.
Referencia de interés	La red de empresas incluidas en BICEP (“Business for Innovative Climate and Energy Policy”) trabajan desde 2009 en Estados Unidos de América para conseguir políticas climáticas y de energía limpia más estrictas, bajo tres pilares: mayor uso de energías eficientes y energías renovables, mayores inversiones en una economía de energía limpia y mayor apoyo a la resiliencia frente a la variabilidad y cambio climáticos. En el ámbito concreto del transporte, actualmente los esfuerzos se centran en los estándares de los vehículos y combustibles limpios; sin embargo, se trata de un ejemplo de interés sobre la implicación del sector privado en la lucha contra el cambio climático ⁵⁰ .
Dificultad de su implantación	☆☆☆☆ 4 - Nivel de dificultad bajo. Requiere la participación de numerosos implicados, sin modificaciones legales y con un presupuesto bajo.
Carácter	Recomendado.
Plazo para su realización	Largo plazo.
Posibilidad de colaboración de CAF – banco de desarrollo de América Latina	CAF - banco de desarrollo de América Latina realiza una labor de catalizador con el sector privado, favoreciendo su incorporación a los procesos de adaptación al clima.

Tabla 32: Descripción de la acción “Favorecer la incorporación del sector privado a la adaptación de las carreteras al clima”. (Elaboración propia).

⁵⁰ <https://www.ceres.org/networks/ceres-policy-network>

3.11.

RESUMEN DE ACCIONES DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS A LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS

La siguiente tabla resume las acciones consideradas en la planificación estratégica para la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos:

ÁMBITO	ACCIÓN	CARÁCTER	HORIZONTE	NIVEL DE DIFICULTAD
LIDERAZGO INSTITUCIONAL, MARCO LEGISLATIVO, CONTRACTUAL Y NORMATIVO	1.A. Atribuir la responsabilidad de la adaptación de las carreteras al clima	IMPRESCINDIBLE	INMEDIATO	Bajo
	2.A. Desarrollar un marco legal para la adaptación de las carreteras al clima.	IMPRESCINDIBLE	INMEDIATO	Medio
	2.B. Introducir mejoras en los términos de referencia o contratos de los proyectos.	RECOMENDADO	MEDIO PLAZO (5 AÑOS)	Medio
	2.C. Potenciar la normalización/estandarización para la adaptación al clima.	RECOMENDADO	LARGO PLAZO (>5 AÑOS)	Medio
PLANES Y PROGRAMAS	3.A. Desarrollar planes específicos de adaptación al clima para la red de carreteras existente.	IMPRESCINDIBLE	CORTO PLAZO (2 AÑOS)	Alto
	3.B. Favorecer la implantación de prácticas de blindaje climático para nueva infraestructura.	RECOMENDADO	MEDIO PLAZO (5 AÑOS)	Alto
ASIGNACIÓN PRESUPUESTARIA	4.A. Realizar una valoración económica del impacto de los desastres naturales relacionados con el clima en la red vial.	RECOMENDADO	CORTO PLAZO (2 AÑOS)	Medio
	4.B. Estimar y dotar presupuestariamente las acciones de adaptación de la red vial al clima.	IMPRESCINDIBLE	INMEDIATO	Medio
CAPACITACIÓN	5.A. Incorporar los perfiles profesionales adecuados para la adaptación de las carreteras al clima.	IMPRESCINDIBLE	MEDIO PLAZO (5 AÑOS)	Medio
	5.B. Generar los programas formativos para hacer frente a una situación de variabilidad y cambio climáticos.	RECOMENDADO	MEDIO PLAZO (5 AÑOS)	Medio
INFORMACIÓN DE REFERENCIA	6.A. Recopilar, analizar y sistematizar la información climática disponible, desde un enfoque de región climática.	IMPRESCINDIBLE	INMEDIATO	Alto
	6.B. Analizar el riesgo climático en las redes de carreteras.	IMPRESCINDIBLE	CORTO PLAZO (2 AÑOS)	Medio
NORMATIVA Y GUÍAS TÉCNICAS	7.A. Desarrollar normativas, recomendaciones y guías de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima.	IMPRESCINDIBLE	CORTO PLAZO (2 AÑOS)	Medio
	8.A. Implementar acciones de monitoreo.	IMPRESCINDIBLE	CORTO PLAZO (2 AÑOS)	Medio
MONITOREO DE RESULTADOS	8.B. Establecer procesos de retroalimentación tras fenómenos climáticos extremos.	RECOMENDADO	CORTO PLAZO (2 AÑOS)	Medio
	9.A. Favorecer la innovación y el desarrollo en el ámbito de la adaptación al clima.	RECOMENDADO	LARGO PLAZO (>5 AÑOS)	Medio
PROGRAMAS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO	9.B. Crear redes nacionales de transferencia de conocimiento.	RECOMENDADO	MEDIO PLAZO (5 AÑOS)	Bajo
	10.A. Desarrollar una cultura de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en los ciudadanos.	RECOMENDADO	MEDIO PLAZO (5 AÑOS)	Medio
ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	10.B. Favorecer la incorporación del sector privado a la adaptación de las carreteras al clima.	RECOMENDADO	LARGO PLAZO (>5 AÑOS)	Bajo

Tabla 33: Resumen de acciones de planificación estratégica para la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos. (Elaboración propia).



Rotura en ruta nacional número 3, puente sobre el Arroyo Verde, por temporal de lluvia en Argentina.

Fuente: *Secretaría de Obras de Transporte del Ministerio de Transporte de Argentina.*

4.

MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS MÁS RESILIENTES

4 ●

MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS MÁS RESILIENTES

4.1.

DIAGNÓSTICO Y APROXIMACIÓN INICIAL

El punto de partida para mejorar la resiliencia de las carreteras es conocer oportunamente en qué medida la variabilidad y el cambio climáticos pueden afectar a estas infraestructuras y qué consideraciones deben contemplarse en su diseño, construcción y mantenimiento. Para ello es preciso tener en cuenta las particularidades de cada territorio ya que las condiciones y previsiones climáticas son muy diferentes de un país a otro, e incluso dentro de un mismo país, donde pueden existir regiones climáticamente muy distintas. El conocimiento de la singularidad climática del territorio sobre el que se está trabajando es, sin duda, una de las claves para identificar las soluciones técnicas que pudieran resultar más efectivas en función del emplazamiento, la vulnerabilidad y las amenazas existentes.

Respecto a los diseños, debemos partir de la base de que éstos se ajustan a las normas de los respectivos países y de que cuentan con soluciones adecuadas al alcance del proyecto. Si bien conocemos que existen carreteras con diseños deficientes, no es el objeto de esta Guía identificar las acciones que corrijan esas deficiencias, sino aquéllas que permitan mejorar el comportamiento de estas infraestructuras ante una climatología cambiante.

Como ya se ha comentado, los efectos de la variabilidad y cambio climáticos deben considerarse a lo largo de todo el ciclo de vida de una carretera; en capítulos anteriores de esta Guía se ha hecho referencia a la fase de planificación estratégica, mientras que en este capítulo se propone una serie de medidas específicas relativas a las fases de diseño, construcción y operación de la carretera.

En los **diseños** de nuevas vías, se recomienda considerar no sólo el efecto de las precipitaciones registradas sino también el de las estimadas a futuro, así como el posible aumento del nivel del mar, acción del viento y evolución térmica, asegurando un dimensionamiento adecuado de las obras y las necesidades de mantenimiento posterior, junto a la correcta aplicación de las medidas necesarias para minimizar estos impactos. Para ello, es necesario contar con estudios que nos permitan conocer dichas estimaciones y su posible repercusión.

En la fase de **construcción** es relativamente frecuente que surjan contingencias no identificadas en la fase de diseño, que pueden verse agravadas por el efecto de la variabilidad y cambio climáticos (por ejemplo, materiales menos resistentes a los considerados inicialmente, o presencia de agua que no se hubiera tenido en cuenta); la variabilidad climática desempeña, en este sentido, un papel determinante, ya

que las previsiones que se derivan de las fases de planificación y diseño pueden haberse realizado en períodos secos, apareciendo efectos no previsibles durante las fases sucesivas. Existen, asimismo, medidas adicionales a las consideradas en el diseño que pueden ayudar a mejorar la resiliencia climática de la carretera.

Durante la **operación y mantenimiento** es preciso implantar actividades de monitoreo para verificar el adecuado comportamiento de los elementos de la vía y su entorno; en caso de que se detecten situaciones de riesgo, deberán considerarse medidas como las que se presentan en esta Guía, que a su vez irán asociadas a un diseño específico para su implantación.

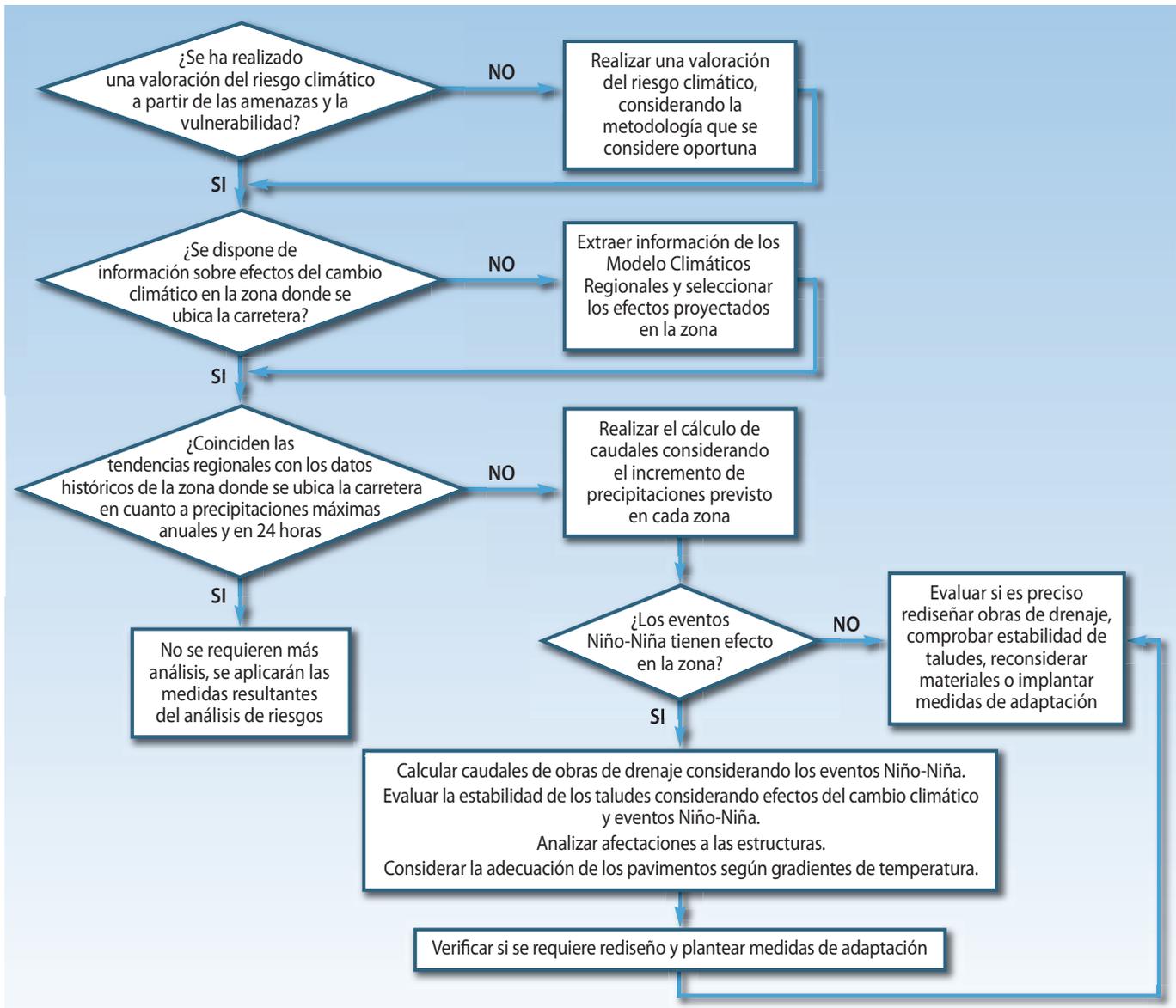


Figura 7: Diagrama de flujo para la adaptación de carreteras nuevas a la variabilidad y cambio climáticos (Elaboración propia).

Es importante que en el ámbito institucional existan procedimientos definidos que permitan mecanizar la toma de decisiones a los técnicos encargados del desarrollo de los proyectos. A modo de ejemplo, figura un diagrama de flujo que contempla la consideración de la variabilidad y cambio climáticos que podría incluirse durante el proceso de análisis de riesgos, tanto para nuevos diseños como para carreteras en operación.

Respecto a la identificación de los riesgos e impactos en el sector vial, nos parece de interés incluir la referencia al informe “Gestión de riesgo para la infraestructura carretera de México ante el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos extremos” (Centro Mario Molina 2017), elaborado con el apoyo de CAF - banco de desarrollo de América Latina, y que se resume en el siguiente gráfico:

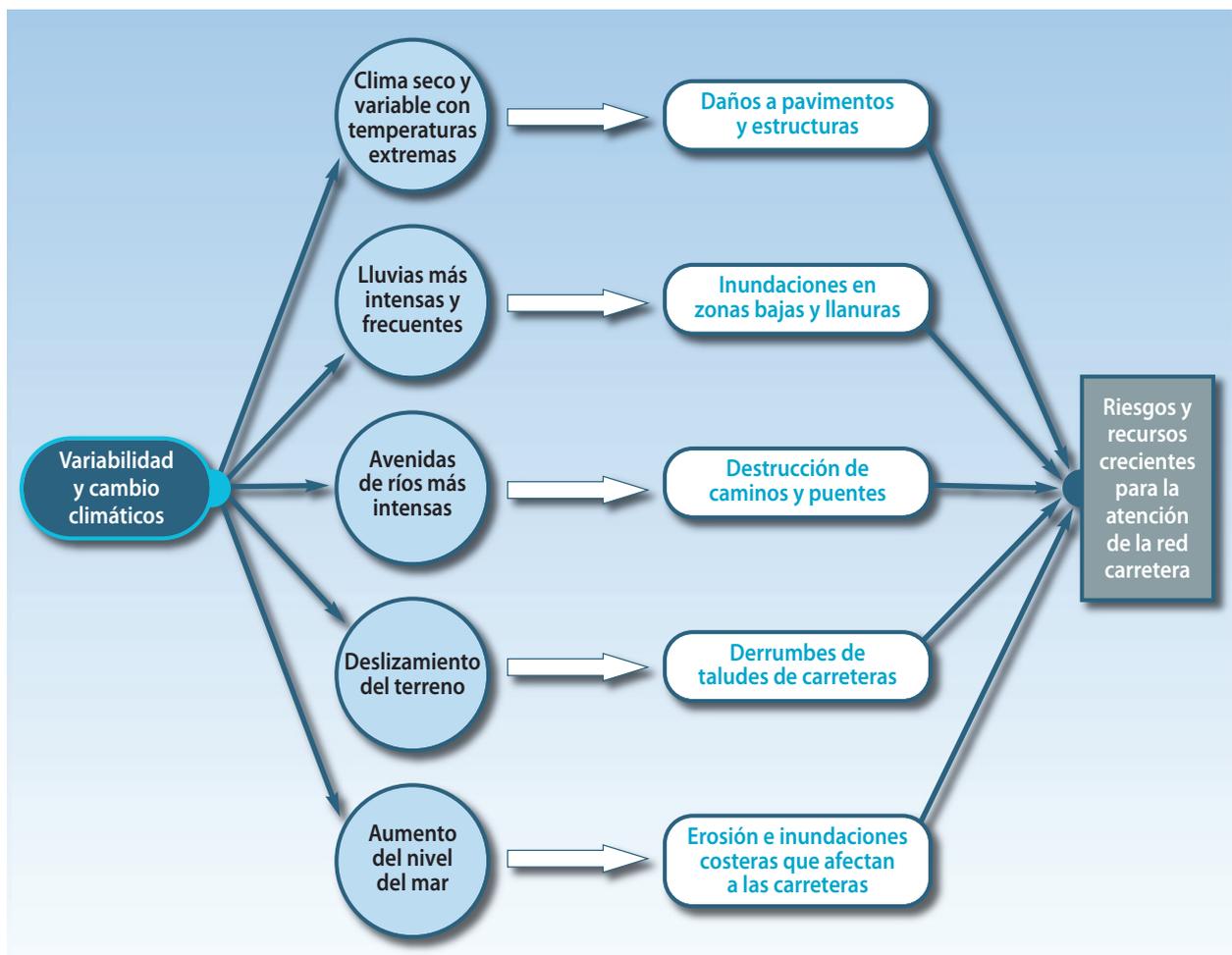


Figura 8: Diagnóstico de gestión del riesgo para la infraestructura carretera (Taller de presentación del informe “Gestión de riesgo para la infraestructura carretera de México ante el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos extremos”, Centro Mario Molina).

La figura anterior evidencia que existe una serie de riesgos que afectan especialmente a cuatro grandes ámbitos de trabajo de la Ingeniería: taludes, drenaje, estructuras y pavimentos, los cuales, por su importancia, marcan la definición del diseño de la carretera, siendo dónde se ha puesto mayor énfasis en el proceso de selección de las medidas específicas.

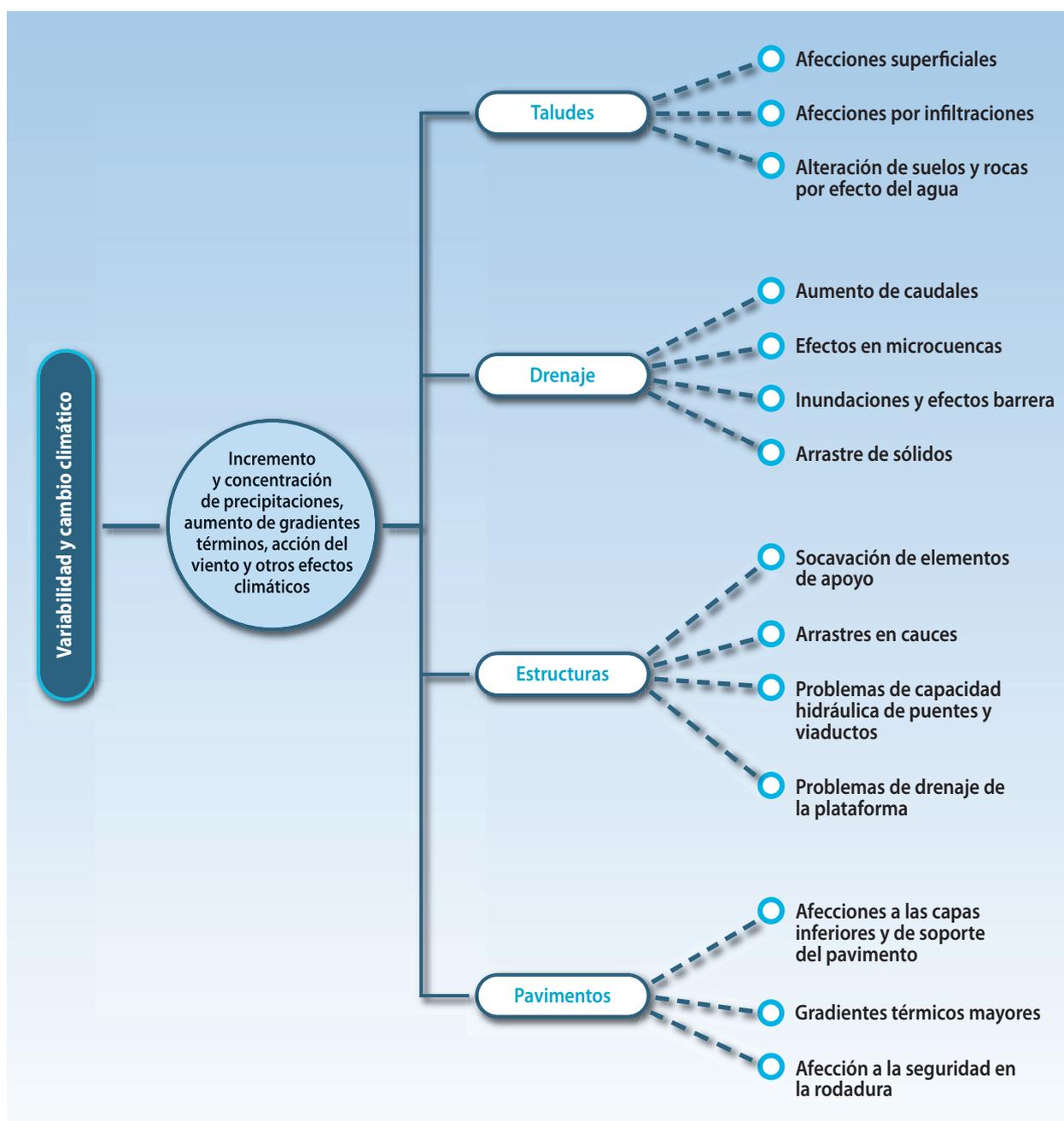


Figura 9: Impactos de la variabilidad y cambio climáticos en las carreteras (Elaboración propia).

4.1.1.

Taludes

La estabilidad de los cortes y rellenos de las carreteras se ve afectada directamente por las características de los materiales en los que se construyen; a su vez, las características mecánicas de estos materiales están influenciadas por su grado de saturación, las presiones intersticiales (debidas a las infiltraciones), la temperatura y otros agentes relacionados con el clima, siendo el agua el que mayores riesgos puede generar.

Este efecto higrométrico sobre las características de los materiales hace necesario aumentar el control sobre el agua superficial e infiltrada en las carreteras a construir, y prever medidas para el seguimiento en las carreteras en operación. Las carreteras se adaptarán, así, a las condiciones impuestas por el clima, incluso anticipando los efectos negativos que la variabilidad y cambio climáticos pueden producir en los viales existentes.

En los nuevos diseños, ya se trate de nueva infraestructura o modificaciones de las existentes, se deben tomar las medidas necesarias para que la estabilidad de cortes, rellenos, muros, cimentaciones de estructuras y otros elementos quede garantizada. En este sentido, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos clave:

- En primer lugar, la consideración de los parámetros geotécnicos para el diseño de cortes, rellenos, muros, cimentaciones y otros elementos. Esta condición hace que cada vez sea más importante la realización de unos buenos estudios geotécnicos y geológicos iniciales, que permitan prever las situaciones que pueden producirse durante la vida útil de la carretera y las necesidades a considerar en su diseño o construcción, especialmente en lo que se refiere a la evolución de su comportamiento por la variación de la humedad. Es recomendable reducir el diseño de cortes y rellenos mediante secciones tipo replicadas y trabajar más en soluciones particularizadas.
- En segundo lugar, una correcta simbiosis entre drenaje (que se verá más adelante) y los comportamientos geotécnicos, habida cuenta de que una mala definición de los primeros implica, necesariamente, un empeoramiento del comportamiento de los segundos.
- Por último, la consideración de una serie de soluciones, no limitativa, que por experiencias en zonas con comportamiento deficiente de las carreteras, se han mostrado eficaces ante efectos relacionados con el clima y el comportamiento geotécnico de los materiales. Es importante contar con estas experiencias y lecciones aprendidas desde el punto de vista de las soluciones técnicas implementadas en otras carreteras.

En cuanto a las carreteras en operación, es necesario considerar la necesidad de establecer elementos de control y vigilancia eficaces. Estos controles se pueden basar en los siguientes aspectos:

- La evolución de la geometría de la sección tipo, fundamentalmente taludes de cortes y rellenos.
- La aparición de grietas sobre elementos de la sección tipo, o desplazamientos de pequeñas obras de fábrica, que permiten constatar el efecto anterior de una evolución geométrica no deseada.
- La modificación de los flujos de agua del entorno de la carretera que puede observarse en caminos, cortes, cunetas, obras de fábrica, etc., que puede ser un indicador de la variación higrométrica de los materiales, y que puede tener consecuencias sobre la estabilidad de los mismos en función de sus características geotécnicas.

En caso de detección de cualquier indicio de evolución de los aspectos señalados, se hace preciso un estudio en detalle de las condiciones geotécnicas en las que se definió la carretera, respecto de las nuevas condiciones, y de cuáles pueden ser las afecciones a la sección tipo. Una vez determinadas, se hará necesario el diseño de las soluciones atendiendo a las condiciones definidas para las nuevas carreteras.

4.1.2.

Drenaje

La variación de las precipitaciones originada por la variabilidad y cambio climáticos se traduce tanto en una mayor dispersión de los períodos de lluvia, como en episodios de mayor precipitación en períodos más cortos (duración de la tormenta). Estos escenarios requieren de una serie de consideraciones en el diseño de las carreteras, así como un conjunto de medidas durante el período de construcción y una corrección de los protocolos de actuación durante la operación.

En la fase de diseño, es recomendable elaborar estadísticas y previsiones actualizadas de las precipitaciones y, a partir de éstas, seleccionar de forma adecuada los períodos de retorno, duración de la tormenta y tiempos de concentración, que permitan asegurar que los caudales de diseño de las obras de drenaje tienen un dimensionamiento adecuado y éste es suficiente para episodios de lluvia excepcionales.

Además, ante estos fenómenos climatológicos excepcionales, hay que considerar que los caudales punta se acompañan de arrastres de material, que o bien se sedimentan en tramos de menor velocidad del flujo hidráulico o bien pueden quedar retenidos ante un insuficiente dimensionamiento del drenaje, ocasionando obturaciones en el sistema. Un correcto diseño debe prever estas situaciones, disponiendo los medios necesarios para la protección de elementos ante los arrastres y evitando zonas de sedimentación no controlada, que, en caso de existir, deben ser consideradas en los protocolos de mantenimiento.

En la fase de ejecución de obra, es necesario considerar que las dispersiones cada vez mayores de los períodos húmedos pueden provocar que no se consideren necesarias las medidas de protección frente a lluvias extremas durante la construcción, o bien se postergue la ejecución de determinados elementos, como cunetas de

protección de cortes y rellenos, omitiéndose incluso su realización al finalizar los trabajos. Además, aquellos factores climáticos que no se hubieran puesto de manifiesto durante la fase de diseño (por ejemplo, las aguas intersticiales, que puedan no ser detectadas en períodos de lluvia escasa), podrían aparecer de forma repentina durante la construcción, o de manera recurrente en la fase de operación de la carretera.

En esta fase de operación la variabilidad climática se ve acentuada por la duración de aquélla. Por ello, la labor de vigilancia y control debe ser, si cabe, mayor que en etapas anteriores. No hay que olvidar en este caso los posibles aterramientos de cunetas, canales y conducciones, así como la alteración de las condiciones de la entrada y salida a las obras de fábrica, que afectan al funcionamiento general del sistema de drenaje. Finalmente, las aguas infiltradas deben ser extraídas, siempre que se detecten, por los diversos medios que estén al alcance del gestor de la infraestructura, requiriendo, como en el resto de casos, de un estudio y diseño previos detallados.

4.1.3.

Estructuras

En los nuevos proyectos es recomendable considerar factores como los gradientes térmicos más elevados, la protección de las cimentaciones y elementos verticales frente a arrastres de sólidos durante eventos de precipitación extraordinaria, las socavaciones y un eficiente tratamiento de las escorrentías en los elementos horizontales. Entre estos criterios de diseño, se pueden destacar:

- Revisión de los caudales de diseño para el dimensionamiento (nuevos criterios de precipitaciones punta, coeficientes de seguridad, períodos de retorno, etc.).
- Medidas adicionales de protección frente a grandes avenidas y procesos de socavación y arrastre en cimentaciones.
- Otras medidas como el drenaje superficial de tableros.

Los procesos de construcción deben seguir escrupulosamente los procedimientos constructivos propuestos con las medidas de protección necesarias para hacer frente a los fenómenos climatológicos y analizar la aparición de condiciones de contorno no previstas en el diseño, para redefinir las estructuras o incorporar nuevas medidas de protección.

En las infraestructuras existentes es imprescindible establecer un control eficiente de aquellos elementos que pueden verse afectados por los agentes atmosféricos, como son el estado de los apoyos, el estado de la fisuración de superficies y las condiciones del drenaje superficial de los elementos horizontales.

Asimismo, los efectos de arrastres y socavaciones producidas por caudales extremos sobre los elementos de apoyo deben ser vigilados, y, en caso de que existan

indicios sobre posibles afecciones futuras, se deben analizar y diseñar las protecciones necesarias.

En cuanto a los estados de fisuración de las superficies de los diferentes elementos de las estructuras, es necesario revisar periódicamente si existen indicios de deterioros excesivos que puedan requerir reparaciones o tratamientos de las mismas.

4.1.4.

Pavimentos

En el caso de los pavimentos, las afecciones ocasionadas por la variabilidad y cambio climáticos vienen en su mayoría originadas por el aumento de las precipitaciones y por la exposición a un mayor gradiente térmico, tanto en nuevos diseños como en carreteras en operación.

El correcto dimensionamiento del pavimento redundará en una mejora de la seguridad vial, en una mejor adaptación a las condiciones climáticas del entorno por el que discurre el vial y, en consecuencia, en unos menores costos durante la vida útil de la carretera por disminución sensible de las inversiones en las grandes reposiciones y un menor costo del mantenimiento ordinario.

Al igual que se ha indicado para los sistemas anteriores, los incrementos en las precipitaciones y la mayor concentración de la lluvia en períodos más cortos hacen necesario afrontar las consecuencias que se derivan de la mayor abundancia de agua en el pavimento, tanto en superficie como en las capas inferiores o de soporte.

Asimismo, se constata la mayor variación de la temperatura, que implica que las soluciones que se definan deben considerar un rango térmico mayor, con propuestas menos sensibles a un gradiente térmico más amplio.

Las soluciones de pavimentos frente a un clima cambiante pasan por:

- La disposición de un sistema drenante que garantice que las capas de soporte del pavimento funcionan en las condiciones de humedad máxima para las que fueron diseñadas, facilitando que aumente la durabilidad de las capas de pavimento, ya sean mezclas de concreto asfáltico o hidráulico.
- El empleo de soluciones que mejoren el comportamiento de las carpetas de pavimento (hidráulicas o asfálticas), mediante el empleo de ligantes menos sensibles a estas variaciones térmicas (ligante asfáltico) y cementos de menor calor de hidratación, junto con sistemas que faciliten las transferencias de cargas entre losas en condiciones térmicas diferentes (conglomerantes hidráulicos), reducen sensiblemente los deterioros que se producen en la vida del pavimento.

4.2.

REVISIÓN DE LA NORMATIVA EXISTENTE Y RECOMENDACIONES

Con el objetivo de identificar los espacios de mejora en el diseño de los proyectos de carreteras, se ha realizado una revisión general de los manuales y normativas de diferentes países de América Latina respecto a las cuatro áreas de la ingeniería ya mencionadas, donde consideramos se registra un mayor impacto: geotecnia y taludes, hidrología y drenaje, estructuras y pavimentos.

El enfoque de este análisis pretende evaluar si la normativa existente dispone de recomendaciones y buenas prácticas concretas que sirvan para dotar a las carreteras de una mejor respuesta frente a la variabilidad y cambio climáticos.

4.2.1.

Geotecnia y taludes

- 1.- **Estudio geotécnico:** sería recomendable que las normativas y manuales detallen los procedimientos de cálculo y las posibles soluciones de refuerzo y estabilización de los taludes de corte y relleno, con el objetivo de asegurar su mejor comportamiento frente los distintos procesos de inestabilidad (deslizamientos por rotura global, erosión superficial, desprendimientos, etc.). En la realidad de los proyectos en la Región, es en esta unidad de obra donde se han identificado elevadas patologías, y sin embargo las normativas y manuales le dedican poca atención a asegurar que el diseño sea el más adecuado.
- 2.- **Limitaciones constructivas:** por lo general no se establecen recomendaciones en cuanto a limitaciones de diseño por altura de taludes en cortes y rellenos, así como medidas para su mitigación/reducción. Algunos países como México están estudiando estas medidas para incluirlas en futuras actualizaciones de su normativa.
- 3.- **Recomendaciones constructivas:** los métodos y recomendaciones generalmente se encuentran como parte de las especificaciones técnicas particulares de cada proyecto; no obstante, es importante incluir también en las normativas soluciones habituales para el refuerzo, estabilización o medidas de protección de los taludes de corte, tales como empleo de anclajes, bulones, tendido de taludes, construcción de muros, colocación de bermas intermedias, concreto proyectado, mejora del drenaje y soluciones de bioingeniería. Asimismo, no se establecen métodos para la estabilidad de taludes de rellenos, tales como directrices de aceptación/rechazo de materiales, sistemas de drenaje y soluciones de bioingeniería. Se echa en falta una insistencia mayor en la importancia de caracterizar bien los materiales a emplear en los rellenos y definir la adecuada puesta en obra.
- 4.- **Buenas prácticas:** en términos generales, no hay criterios y buenas prácticas que propongan alternativas constructivas al corte de taludes en función de la orografía, tales como el estudio de desplazamientos del eje en planta en tramos de media ladera (e incorporación de muros en el lado del relleno) o el establecimiento de criterios para establecer falsos túneles o viaductos.

4.2.2.

Hidrología y drenaje

HIDROLOGÍA:

- 1.- **Toma de datos históricos pluviométricos:** los manuales y normativas analizados disponen de poca información en cuanto a los métodos para obtener bases de datos climatológicos fiables y actualizada. Sin información adecuada de los datos principales de partida, se estará incurriendo en indefiniciones recurrentes a la hora de diseñar elementos de las infraestructuras viales:
 - ✓ Con carácter general, los datos se toman directamente de las instituciones encargadas de generar información hidrometeorológica actualizada; sería recomendable que los manuales incluyeran la indicación expresa de las fuentes de información correctas para su obtención.
 - ✓ A este respecto, manuales analizados remiten, en determinados casos, a los servicios de meteorología del país, reconociendo la falta o escasez de bases de datos completas (por ejemplo, Bolivia y los registros de precipitación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI).
 - ✓ En otros casos se incluyen tablas con registros pluviométricos hasta la fecha de edición del manual (por ejemplo, el Manual de Colombia 2009), y, por tanto, desactualizados.
- 2.- **Efecto de la variabilidad y el cambio climáticos:** el punto anterior se agrava con el hecho de que no existen referencias en los manuales a los cambios que se han venido experimentando por efecto de fenómenos como El Niño y La Niña (sólo se han identificado referencias someras en los manuales de Perú).

La planificación y el diseño de las carreteras no pueden continuar realizándose ateniendo tan solo a las prácticas habituales de Ingeniería y a los datos históricos existentes. En este contexto, los métodos de obtención de precipitaciones máximas deben ser adaptativos a nuevos rangos (nuevas puntas de precipitaciones excepcionales, intensidades, tiempos de tormentas, por ejemplo). Estos cambios de variables deben ser tenidos en consideración e incorporados de forma ágil y sistemática en los cálculos de partida.

- 3.- **Mapas/Datos particularizados:** en cuanto al resto de datos hidrológicos fundamentales, se ha observado en los manuales una falta de definición y particularización para cada país y sus regiones: no se incluyen mapas de torrencialidad, grupos hidrológicos del suelo, regiones umbral de escorrentía, mapas de isolíneas y máximas lluvias diarias, etc., o con frecuencia, dichos datos están desactualizados.

Estos mapas pueden generarse para cada proyecto en particular, siendo preferibles los mapas detallados a los mapas nacionales. No obstante, es importante disponer de proyecciones y datos globales en los manuales que sirvan como punto de partida y de contraste con los estudios particulares de detalle.

- 4.- **Microcuencas:** en general, no hay en los manuales una diferenciación y caracterización de cuencas y microcuencas, ni diferenciaciones en las metodologías de cálculo y medidas a tomar para cada caso, si bien existen algunas excepciones en las que sí se consideran las microcuencas como elemento diferenciado; se puede tomar como ejemplo los análisis específicos de microcuencas en la normativa de Bolivia, con métodos de división de cuencas en microcuencas, y consideraciones en la aplicación del método convencional para este tipo particular de cuencas (cálculo de hietogramas, cálculos de factores de pendiente, factores de área y factores de tipo de suelo).
- 5.- **Períodos de retorno:** en la mayoría de las normativas, los Períodos de Retorno considerados para el diseño de elementos de drenaje se encuentran en intervalos inferiores a 100 años (con excepción de Bolivia, que considera hasta 300 años):
- ✓ Se deben revisar estos máximos, a fin de asumir nuevos estándares de riesgo a lo largo de la vida útil. De hecho, se están realizando actualmente cambios en países como Nicaragua o México.
 - ✓ Se recomienda evitar el empleo sistemático de datos de tablas fijas de períodos de retorno, que tienden a enfocar el dimensionamiento de forma excesivamente rígida. Es preferible realizar valoraciones particularizadas para cada proyecto e infraestructura; en este contexto, son eficaces estudios preliminares evaluando los posibles daños por un infra-dimensionamiento del caudal de la cuenca, para la determinación, tras un análisis costo-beneficio, del período de retorno seleccionable. De este modo, se alcanza un equilibrio entre mayores costes de inversión (por mayor sobredimensionamiento o sobreequipamiento de los elementos de drenaje y por aplicación de mayores coeficientes de seguridad), frente al beneficio de no sufrir daños recurrentes a la infraestructura durante su vida útil (que incurran en mayores costes por reparaciones sistemáticas y pérdida de niveles de servicio para la economía).
 - ✓ Es imprescindible que las bases de datos sobre las que se aplican los cálculos para la determinación del caudal del período de retorno que se seleccione estén actualizadas. De otro modo, los eventos extraordinarios no quedarán reflejados en la determinación de caudales y los caudales referenciados serán escasos al no contemplar las precipitaciones de estos eventos excepcionales.
- 6.- **Tiempos de concentración:** todos los manuales que disponen de apartados relativos a tiempos de concentración de cuencas se basan en formulaciones empíricas de otros países (fórmulas americanas como Kirpich, California Culverts o Izzard, o formulación de normas españolas basadas en parámetros geométricos, características del terreno y vegetación existente, que tienen validez para determinados tipos de cuencas en los que se desarrollaron cada

una de ellas); es recomendable realizar trabajos de particularización de las fórmulas empíricas existentes y de adaptación a las cuencas de cada país o región de estudio.

Como solución alternativa, las normativas deberían incidir en la importancia de establecer cálculos hidrológicos que empleen varias metodologías de cálculo del tiempo de concentración, que sirvan de contraste y verificación de los resultados obtenidos y su grado de precisión.

DRENAJE:

1.- Drenaje transversal: por lo general, todas las normativas disponen de métodos de cálculo adecuado y completo para el dimensionamiento de obras de drenaje transversal (ODT), así como para el estudio de controles de entrada/salida. No obstante, se debe hacer hincapié en las siguientes necesidades, que a veces no quedan completamente cubiertas por normas y recomendaciones:

- ✓ Estos métodos se apoyan en los datos de caudales de diseño obtenidos en la fase de hidrología, por lo que se transmiten a este punto las objeciones ya descritas en cuanto a previsible infra-dimensionamientos en el método (por no considerar caudales punta excepcionales, torrencialidad u otros parámetros importantes). Para que los caudales de diseño tengan en consideración la variabilidad y cambio climáticos, será necesario que las series metodológicas empleadas en el cálculo estén actualizadas. Asimismo, el proyectista deberá evaluar si los períodos de retorno que se toman para el cálculo, reflejan en los resultados los últimos episodios excepcionales. En caso contrario, se debe evaluar la ampliación de los períodos de retorno o la duración de las tormentas y tiempos de concentración a considerar, para que los caudales pico reflejen estos sucesos extraordinarios. En base a este criterio, es posible realizar una evaluación del daño que puede ocasionarse, que, valorado adecuadamente, puede servir para elevar los períodos de retorno a considerar para el cálculo del caudal máximo.
- ✓ Es adecuado, como se contempla en algunos países, que se introduzcan cálculos sobre estimaciones de arrastre de sólidos en función de caudales previstos o tipología de suelos, además del análisis de la relación pendientes/caudales; también son deseables, basándose en criterios objetivos de cálculo de arrastres, medidas específicas para el control de sedimentos y arrastre de material. A este respecto, es importante que en el dimensionamiento de obras de drenaje transversal se contemplen sistemas de protección, presas de retención de sedimentos aguas arriba, areneros y cuencos decantadores, en aquellos elementos susceptibles de requerirlos.
- ✓ Los controles de entrada/salidas se limitan a la dinámica de fluidos y altura de lámina de agua y posibles rebases. Es frecuente que no haya estudios de detalle de elementos de protección a disponer ni de su definición geométrica

(aletas, revestimientos de piedra o concreto, bajantes escalonadas, disipadores de energía, entre otros), en función de los caudales previstos, la geometría existente y la tipología de suelos o materiales subyacentes.

2.- Drenaje superficial: por lo general, las normativas cuentan con métodos de cálculo de cunetas y su comprobación hidráulica:

- ✓ No obstante, se establecen cálculos para cunetas de forma aislada y no englobado dentro de un conjunto, obviando otros elementos como arquetas, colectores, o bajantes. No hay recomendaciones en cuanto a la ejecución de las terminaciones de estos elementos, puntos de vertido o incompatibilidades.
- ✓ Se debe hacer hincapié en las recomendaciones en el empleo o no de revestimiento de cunetas, bajantes y otros elementos; estos condicionantes tienen incidencia sobre los arrastres, erosiones, infiltraciones y otras consecuencias de los flujos de agua que se acentúan con su variabilidad y los eventos extraordinarios.

3.- Recomendaciones tipológicas adecuadas a cada tipo de cauce: los manuales resultan en determinados casos excesivamente teóricos o tecnificados en cuanto a los métodos de dimensionamiento y de comprobación hidráulica, pero no hay consideraciones ni recomendaciones previas de tipo cualitativo para establecer elecciones correctas de la tipología de obras de drenaje en función del cauce y cuenca atravesados (de montaña, de llanura, ... en función del grado de definición geométrica o en función de las previsiones de arrastre de sólidos, por ejemplo).

4.- Encauzamientos: los criterios de diseño de estas normativas resultan, a su vez, excesivamente enfocados al tramo de cruce bajo la infraestructura vial, obviando posibles problemas aguas arriba y aguas abajo. La alteración de las condiciones geomorfológicas en los períodos de explotación puede traer consecuencias no deseadas en la conservación de los viales. Como medidas adicionales en estos períodos puede ser recomendable incorporar, de forma justificada, medidas constructivas globales que optimicen la capacidad hidráulica del conjunto (cauce y obras de drenaje transversal) y su interconexión con cauces principales (encauzamiento y protección de cauces, métodos de control de caudales mediante estanques de laminación); de esta manera, se pueden paliar estas alteraciones, a posteriori, de las condiciones en que se diseñaron los viales.

5.- Drenaje profundo: en determinados manuales y normativas se obvia incorporar métodos de cálculo de detalle para el dimensionamiento del drenaje profundo (caudales de infiltración según capas de pavimento, aportaciones de aguas subterránea o del corte de taludes en desmonte, dimensionamiento de zanjas o materiales).

4.2.3.

Estructuras

- 1.- **Socavación:** existe cierta diversidad entre unos manuales y otros en cuanto a la incorporación de estudios de dinámica fluvial y socavación en pilas y estribos de estructuras:
 - En algunos casos es inexistente, o se basa en la dinámica de fluidos (agua - estructura), obviando procesos de socavación.
 - En otros casos, los métodos de cálculo y formulación de procesos de socavación son más o menos completos: se observan normativas con métodos de cálculo adecuados (por ejemplo, en Bolivia), con formulación de gran aplicabilidad (dependientes de variables de caudal, geometría, y materiales de arrastre), así como otros de menor aplicabilidad por su formulación excesivamente teórica o compleja, o que obvian parámetros determinantes (como la tipología del material de arrastre).
 - Para hacer frente a las socavaciones en los cauces de los ríos, el dimensionamiento de cimentaciones debe prever esta posibilidad. El empleo de pilotajes empotrados en materiales no removibles es una buena medida para evitar efectos inesperados o imprevisibles. La remoción de materiales en el entorno de cimentaciones puede alterar las condiciones de rozamiento y de pandeo en cimentaciones profundas, siendo éstos unos factores que se deberían analizar e incorporar a la normativa.
- 2.- **Recomendaciones constructivas:** a pesar de que los métodos de cálculo de la socavación están incluidos en la normativa analizada, se produce poca o nula correlación con las medidas a tomar en función de cada escenario, así como con los criterios de elección de diferentes tipologías de cimentaciones y medidas de protección a realizar. Manuales como los de Bolivia, Honduras o Perú incorporan medidas generales de protección en cimentaciones y encauzamientos, pero no hay criterios concretos a aplicar en función de los resultados y conclusiones a obtener de los estudios y formulación de socavación previamente expuestos. Adicionalmente, se deben establecer consideraciones a tener en cuenta por el constructor durante la implantación de las estructuras, frente a la posibilidad de que se produzcan eventos extraordinarios como avenidas o variaciones bruscas de la temperatura, para evitar problemas en la ejecución (fallas en las cimbras) o efectos perniciosos en la infraestructura (fisuraciones excesivas o flechas diferidas, entre otros). Los procesos de diseño deberían incorporar indicaciones para la adopción de estas previsiones, en consonancia con las recomendaciones y normativas.
- 3.- **Drenaje de tableros:** no hay consideraciones en los manuales relativas al correcto drenaje de tableros de estructuras, al ser una tipología concreta (sumideros, colectores, bajantes), ni las medidas de recogida en balsas de decantación previas a su vertido en cauces (como medidas de control de caudales y vertidos incontrolados o contaminados).

4.2.4.

Pavimentos

En relación al estado del arte de manuales y normativas en varios países de la Región, se ha observado que no hay documentación normativa y recomendaciones constructivas en los manuales analizados. Por tanto, este bloque admite un amplio margen de mejora:

- 1.- **Calidad de los materiales:** no se establecen criterios y recomendaciones de la calidad de los materiales en función de climas extremos: áridos, betunes, material de explanadas, etc.
- 3.- **Alternativas para los pavimentos:** no se establecen directrices para el empleo de pavimentos rígidos de concreto (como alternativa a los flexibles) en escenarios con alto gradiente térmico, ni buenas prácticas en su puesta en obra.
- 4.- **Estudios infiltración:** no se incluyen criterios concretos de mejora de capas inferiores de pavimentos de cara a su respuesta frente al agua: fisuración de pavimentos, efectos de las filtraciones en la capacidad portante y durabilidad.



Fuente: Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes de Brasil.

4.2.5.

Tabla resumen de aspectos normativos a considerar

En la siguiente tabla se incluyen los requerimientos indispensables para enfocar el problema de la variabilidad y cambio climáticos sobre infraestructuras viales, y ejemplos de aplicación en los documentos normativos por países.

CAMPO NORMATIVO ANALIZADO	EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE NORMATIVA (POR PAÍSES)
TALUDES	
Criterios geotécnicos para la estimación de pendientes críticas en función de los tipos de materiales de suelos y rocas	Paraguay
Recomendaciones en limitaciones constructivas por altura de taludes de corte	-
Métodos para la estabilidad de taludes de corte y de rellenos	Colombia, México, Paraguay
HIDROLOGÍA	
Referencias concretas a métodos de obtención de datos pluviométricos	Bolivia, Colombia, Honduras
Referencias a fenómenos como El Niño o La Niña	Perú
Métodos de cálculo hidrológico (Método Racional, Métodos estadísticos, otros)	Bolivia, Brasil, Colombia, Honduras, México, Paraguay, Perú
Mapas particularizados para el país y sus regiones: Mapas de torrencialidad, Grupos Hidrológicos del Suelo; Regiones umbral de escorrentía; Mapas de Isolíneas y Máximas Lluvias diarias	Colombia, Honduras
Criterios para el estudio particularizado de microcuencas	Bolivia
DRENAJE	
Métodos de cálculo para el dimensionamiento de obras de drenaje transversal (caudales/diámetros/velocidades)	Bolivia, Brasil, Colombia, Honduras, México, Paraguay, Perú, Rep. Dominicana
Métodos de cálculo para el control de entrada/salida de obras de drenaje transversal (dinámica de fluidos, altura de lámina de agua, otros)	Bolivia, Brasil, Colombia, Honduras, Paraguay
Métodos de cálculo para el dimensionamiento del drenaje superficial (cunetas, bajantes, otros)	Brasil, Colombia, Honduras, México, Paraguay, Perú
Métodos de cálculo para el dimensionamiento del drenaje profundo	Bolivia, Brasil, Colombia, Honduras, Paraguay, Perú
Sistemas de protección de obras de drenaje transversal en entradas/salidas frente a fenómenos de socavación	Honduras, México
Métodos de cálculo de niveles de arrastre de sólidos en obras de drenaje	-
Medidas específicas para el control de sedimentos en obras de drenaje transversal	Bolivia, Guatemala, Honduras
Métodos de mejora del encauzamiento y protección de cauces aguas arriba/aguas bajo	Bolivia, Honduras, Perú
Métodos de control de caudales punta mediante estanques de laminación	-
ESTRUCTURAS	
Métodos de cálculo para la socavación en pilas y estribos de estructuras	Bolivia, Colombia, Honduras, Paraguay, Perú
Medidas específicas de cimentación y protección frente a socavación	Bolivia, Honduras, Perú
Medidas para la mejora del drenaje superficial de tableros de estructuras	-
PAVIMENTOS	
Métodos de diseño y especificaciones de pavimentos rígidos y flexibles	Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Paraguay, Perú
Métodos de diseño y especificaciones de bases y subbases	Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Paraguay, Perú
Criterios y recomendaciones de la calidad de los materiales en función de climas extremos	-
Alternativas en capas de rodadura específicas para la mejora del drenaje superficial (capas discontinuas)	-
Empleo de pavimentos rígidos de hormigón para escenarios con alto gradiente térmico y buenas prácticas en su puesta en obra	-
Estudios de fisuración de pavimentos y sus efectos	-

4.3.

FICHAS TÉCNICAS

Algunas de las medidas que se proponen están recogidas en las normativas de los países, pero parece oportuno considerarlas en esta recopilación, dado que no se ha generalizado su uso; por el contrario, existen otras medidas que no son de tipo normativo, sino que son el resultado de buenas prácticas que se han implementado con éxito.

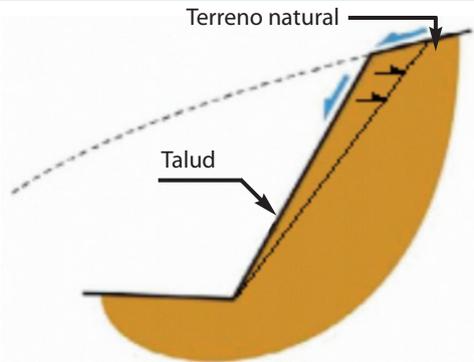
En la siguiente tabla se incluye un listado de las medidas que se recogen en este apartado de la Guía:

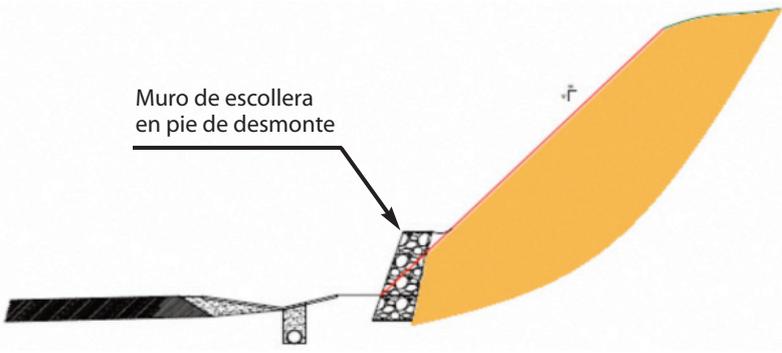
ÁMBITO	CÓDIGO DE FICHA	MEDIDA
GEOTECNIA Y TALUDES	T-1	Mejora de la estabilidad de taludes: tendido de taludes y plantaciones.
	T-2	Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de desmonte.
	T-3	Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de rellenos.
	T-4	Mejora de la estabilidad de taludes: soluciones alternativas a desmontes y terraplenes (túneles y viaductos).
	T-5	Mejora de la estabilidad de taludes: desplazamiento del eje de la carretera.
	T-6	Mejora de la estabilidad de taludes: ejecución de falso túnel.
	T-7	Mejora de la protección de taludes: concreto hidráulico proyectado.
	T-8	Mejora de la protección de taludes: solución combinada entre medidas de bioingeniería y drenaje superficial.
	T-9	Mejora de la protección de taludes: protección de rellenos inundables.
	T-10	Plan de monitoreo del estado de los taludes.
HIDROLOGÍA Y DRENAJE	D-1	Estudio de detalle en cuencas y microcuencas.
	D-2	Mejora de drenaje en bajantes: areneros y disipadores de energía.
	D-3	Mantenimiento del cauce natural y protección de cauces y riberas: solución conjunta con obras de drenaje transversal, encauzamiento y sistemas de protección.
	D-4	Mejora del sistema de desagüe y control de caudales en cuencas aguas abajo: estanques de laminación.
	D-5	Mejora del sistema de desagüe y control del arrastre de sólidos (azudes de retención).
ESTRUCTURAS	E-1	Mejora del análisis dinámico del cauce / estructura: estudios de socavación en cimentaciones.
	E-2	Mejora del drenaje de las estructuras en los tableros.
	E-3	Implantación de obras de drenaje transversal de tipo preventivo en estribos de estructuras ejecutadas en terraplén.
PAVIMENTOS	P-1	Mejora del comportamiento del pavimento al aumento de las temperaturas.
	P-2	Empleo de pavimentos de concreto.
	P-3	Reducción de tiempos / longitud de recorrido de escorrentías por medio de hendiduras en el pavimento.

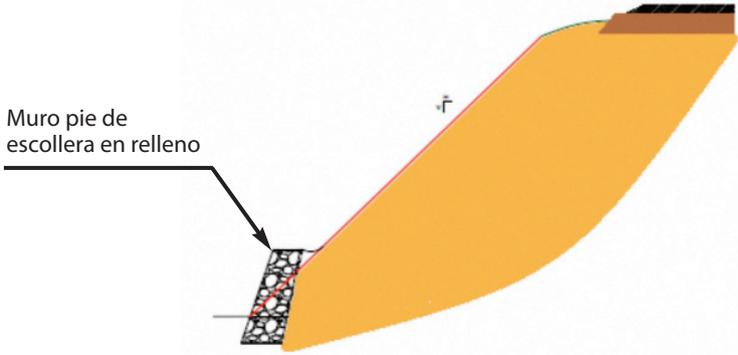
Tabla 34: Resumen de medidas de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos recogidas en esta Guía. (Elaboración propia).

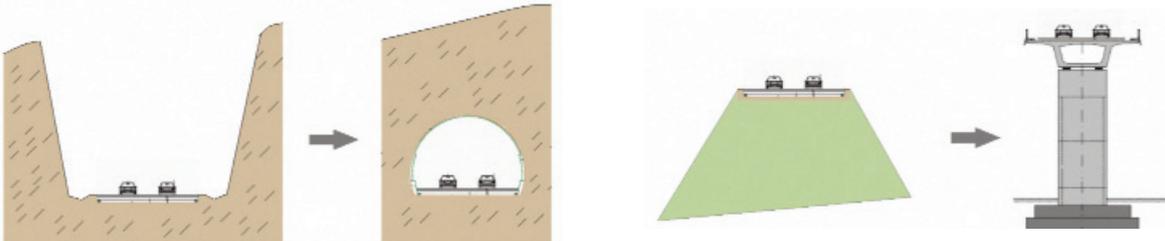
4.3.1.

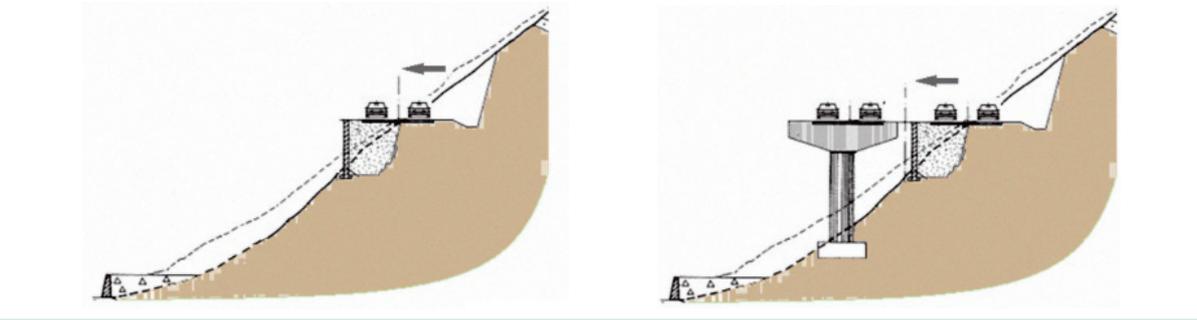
Geotecnia y taludes

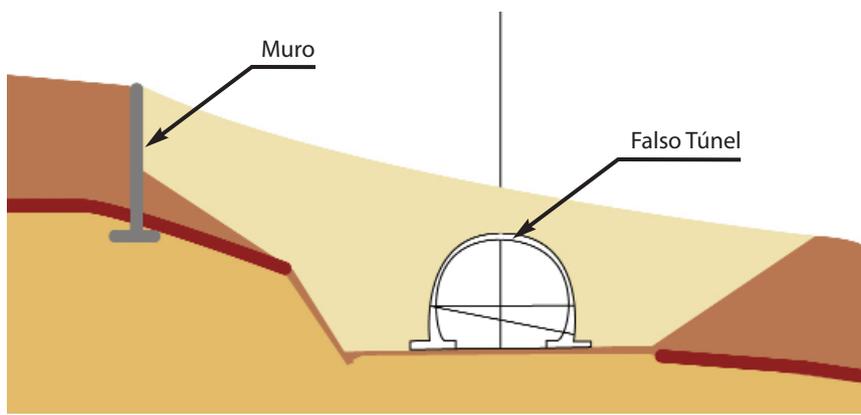
MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	
	<p>CÓDIGO: T-1</p> <p>CATEGORÍA: TALUDES</p> <p>FASE DE APLICACIÓN: ➤ MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS</p>
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Alteraciones de los taludes de las carreteras producidas por la acción de la intemperie, fundamentalmente el agua, combinadas con un exceso de verticalización de los mismos para el tipo de material existente en cada caso.
PROPUESTA DE ACCIÓN	Tendido de taludes existentes (menor inclinación), empleo de plantaciones u otros tipos de protección frente a su estabilidad superficial.
¿DÓNDE?	Áreas con desmontes fácilmente excavables y laderas de pendientes reducidas, de menor valor ambiental y visual, y alta pluviometría o zonas donde se produzcan eventos climáticos recurrentes (por ejemplo, el Niño costero).
	
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>	
	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Menor costo de mantenimiento. ➤ Mejora de la transitabilidad al reducir la probabilidad de cortes en la vía. Muy importante en las carreteras que formen parte de ejes estratégicos de transporte (logística, turismo, agroindustria, entre otros). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incremento de coste de excavación y transporte de material. ➤ Mayor ocupación del terreno colindante. La menor verticalidad de los taludes puede conllevar un aumento considerable de las secciones de corte (menos adaptadas a la orografía del entorno), por lo que se hace necesario encontrar el equilibrio en la solución final adoptada.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ % Superficie de talud afectada por pérdida de inclinación teórica (socavación / aterramientos) / superficie total de talud. Niveles: Desprendimientos pequeños - Desconchones < 1 m² – Desconchones < 2 m² – Desconchones < 5 m². ➤ Plantaciones: estado de plantaciones (necesidad de podas, siegas, limpieza general), evolución y grado de enraizamiento, grado de adecuación a la climatología. <p>Periodicidad: revisión anual.</p>

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	
	CÓDIGO: T-2 CATEGORÍA: TALUDES FASE DE APLICACIÓN: > MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Deterioros en pies de cortes de gran altura, por acción del agua y acumulación de tensiones.
PROPUESTA DE ACCIÓN	Muros de escollera en pie de talud de desmonte: Permiten el refuerzo del pie del talud, mejorando el comportamiento frente al agua. Pueden definirse como una acción localizada (pequeños muros) o una acción de mayor impacto, permitiendo mejorar la estabilidad global (grandes muros).
¿DÓNDE?	Áreas con taludes en suelos o rocas meteorizables por la acción del agua. Áreas con restricciones espaciales al permitir pendientes elevadas de ladera o zonas sensibles ambientalmente.
	
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>	
✓ VENTAJAS	✗ INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> > Permiten el drenaje al tratarse de estructuras permeables y evitan la socavación o abombamiento del pie del talud. > Reducción de los costes de mantenimiento. La coronación impide la caída de pequeños arrastres y desprendimientos a la calzada. > Ejecución no excesivamente especializada. > Solución combinable con otras: anclajes, inyecciones, mallas de protección o encauzamientos para evitar derrumbes y desprendimientos. > Permite una menor ocupación del relleno en caso de restricciones espaciales. 	<ul style="list-style-type: none"> > Incremento de coste frente a soluciones sin muro. > Requieren el uso de materiales no meteorizables. > Sensibilidad a la ejecución: se deben evitar afecciones al drenaje profundo y superficial del vial. En tiempo lluvioso, pueden producirse descalces localizados de los taludes a tratar.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> > En talud (% superficie afectada): Superficie talud afectada (desprendimientos, roderas, emanaciones)/superficie total talud. > En muro: m muro afectado (desprendimiento de escollera, aterramientos, desplazamientos, emanaciones)/m muro. <p>Periodicidad: revisión anual.</p>

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES		
	CÓDIGO: T-3	CATEGORÍA: TALUDES FASE DE APLICACIÓN: ➤ MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Alteraciones de los taludes de las carreteras por procesos erosivos, fundamentalmente el agua, combinada con un exceso de verticalización para el tipo de material existente en cada caso.	
PROPUESTA DE ACCIÓN	Muros de pie de escollera en pie de talud de rellenos para dotar de contención al terreno.	
¿DÓNDE?	Áreas con restricciones espaciales al permitir reducir la superficie de ocupación del terraplén, manteniendo las condiciones de seguridad frente a derrumbes y deslizamientos. Áreas con rellenos susceptibles a la acción del agua: zonas adyacentes a cauces de río donde se estimen puedan producirse crecidas.	
		
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>		
	VENTAJAS	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Permiten el refuerzo del talud en las zonas de mayor afección por el agua. ➤ Permiten el drenaje al tratarse de estructuras permeables. ➤ Evitan la socavación o abombamiento del pie del talud. ➤ Costo de mantenimiento reducido. ➤ Ejecución no excesivamente especializada. ➤ Solución combinable con otras: anclajes, inyecciones, mallas de protección o encauzamientos para evitar derrumbes y desprendimientos. ➤ Permiten una menor ocupación del relleno en caso de restricciones espaciales. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incremento de coste frente a soluciones sin muro. ➤ Requieren el uso de materiales no meteorizables. ➤ Sensibilidad a la ejecución: se deben evitar afecciones al drenaje transversal. ➤ Problemas en ejecución en tiempo lluvioso, pueden producirse descalces localizados de los taludes a tratar.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En talud (% Afectado): Superficie talud afectada (desprendimientos, socavaciones)/superficie total talud. ➤ En muro: m muro afectado (desprendimiento de escollera, aterramientos, desplazamientos)/m muro. ➤ En calzada: Fisuración longitudinal pavimento. <p>Periodicidad: revisión anual o después de períodos de lluvias.</p>	

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	
 CÓDIGO: T-4	CATEGORÍA: TALUDES/ALTERNATIVAS
FASE DE APLICACIÓN: ➤ DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS	
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Fractura del terreno, problemas de estabilidad de laderas por taludes de dimensiones excesivas y mayores costes de mantenimiento debido a soluciones de corte en desmontes y de rellenos en zonas en terraplén no optimizadas (construcción <i>versus</i> vida útil de la carretera).
PROPUESTA DE ACCIÓN	Soluciones alternativas a desmontes y terraplenes en fase de diseño (túneles y viaductos): <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ejecución de túneles frente a desmontes: para desmontes de altura excesiva (por ejemplo, superiores a 40 m de altura), en los que además se combinan otros factores como: geotecnia compleja frente a deslizamientos, proyecto excedentario en volúmenes de excavación frente a rellenos (balance de tierras no equilibrado), necesidad de mantenimiento de permeabilidad territorial (por factores sociales o medioambientales). ➤ Ejecución de viaductos frente a terraplenes: para relleno de altura excesiva (por ejemplo, superiores a 40 m de altura), en los que además se combinan otros factores como: proyecto deficitario en aportación de material de relleno o de mala calidad, necesidad de ejecución de obras de drenaje en exceso, entre otros. A su vez, en rellenos de más de 10-12 m de altura que requieran además mejoras del cimientado (drenes hincados o columnas de grava, por ejemplo) suele resultar preferible pasar a estructura.
¿DÓNDE?	Tramos con orografía compleja (de montaña) y zonas de llanura con alta probabilidad de inundación.
	
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>	
 VENTAJAS	 INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elimina la problemática de estabilidad de taludes. ➤ Soluciones que mejoran la permeabilidad territorial. ➤ Menor afección a escorrentía superficial. ➤ En tramo de orografía muy compleja (alta montaña), pueden ser las únicas soluciones viables, al igual que en zonas de llanura donde se producen inundaciones recurrentes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Requiere un análisis detallado de costes en la fase de diseño para evaluar la solución más óptima para cada caso. ➤ En determinados proyectos las soluciones alternativas (túneles + viaductos) pueden resultar de mayor coste. ➤ Mayor dificultad de procesos constructivos.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	No se contemplan.

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	
CÓDIGO: T-5	CATEGORÍA: TALUDES
FASE DE APLICACIÓN: > DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS	
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Exceso de soluciones de corte de gran altura en secciones a media ladera, en muchos casos innecesarias, en detrimento de soluciones de muros aguas abajo. Abuso de soluciones generales (secciones tipo) frente al estudio particularizado en cada caso.
PROPUESTA DE ACCIÓN	Desplazamiento del eje de la carretera en tramos de media ladera hacia la zona de relleno , evitando así grandes cortes en zonas complejas desde el punto de vista orográfico, geológico o pluviométrico. La solución es interesante cuando se consigue reducir considerablemente las alturas de los taludes de corte o desmonte (por ejemplo, 20 m) mediante la incorporación de muros de alturas moderadas del lado del relleno (por ejemplo, 5 m). La solución puede optimizarse con un estudio detallado y adaptación de las secciones transversales a la orografía (encaje de muchos tramos de muros con diversas alturas). También puede combinarse con muros de contención en el lado del desmonte, reduciendo el tamaño del corte, o bien con soluciones combinadas de muros + viaductos.
¿DÓNDE?	Áreas de montaña con orografía compleja, en la que debe primar la máxima adaptación al entorno evitando cortes de gran envergadura (por ejemplo > 30 m). Áreas donde se identifiquen problemas de estabilidad de laderas y exista alta pluviometría.
	
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>	
✓ VENTAJAS	✗ INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducen los tramos con alturas de corte excesivas (por ejemplo, > 30 m) que pueden conllevar inestabilidades de gran envergadura. ➤ Permiten una gran adecuación de la infraestructura al entorno, minimizando la ocupación y el impacto ambiental y paisajístico. ➤ Reducción de costes de mantenimiento (deslizamientos y desprendimientos). ➤ Reducción del volumen de excavación y del transporte de tierras a vertederos (cuya localización suele ser compleja en zonas de montaña). ➤ Mejora de la transitabilidad al reducir la probabilidad de cortes en la vía. Muy importante en las carreteras que formen parte de ejes estratégicos de transporte (logística, turismo, agroindustria, por ejemplo). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incremento del coste en la fase de diseño al requerir un estudio detallado de las secciones transversales, estructuras y condiciones de cimentación de los muros. Incremento del coste de la campaña geotécnica. ➤ Incremento de la complejidad de la construcción al incluir la ejecución particularizada de cimentaciones y muros de altura variable (no secciones tipo).
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ % Muros afectados por emanaciones de agua: Superficie talud afectada (desprendimientos, fisuración, desplazamientos, emanaciones)/superficie total talud. ➤ Fisuración longitudinal en pavimento. ➤ Nº de drenes con mal funcionamiento (saturación, roturas, desplazamientos)/nº total de drenes. <p>Periodicidad: revisión anual o tras períodos de lluvia.</p>

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES		
	CÓDIGO: T-6	CATEGORÍA: TALUDES/ALTERNATIVAS
		FASE DE APLICACIÓN: > DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Riesgo de desestabilización de taludes muy elevado y de difícil control. Necesidad de mantenimiento de permeabilidad territorial.	
PROPUESTA DE ACCIÓN	Ejecución de falso túnel: excavación en desmonte, ejecución de la estructura del túnel (cimentaciones, hastiales, bóvedas y contrabóvedas), y posterior relleno de trasdoses de estructura hasta cota del terreno. Esta solución puede combinar soluciones para la estabilidad de taludes: ejecución de muros de contención intermedios para reducir volúmenes de excavación y ocupación, así como la ejecución de bermas intermedias para garantizar la estabilidad.	
¿DÓNDE?	Áreas con riesgos elevados de desestabilización de los taludes (por ejemplo, litología compleja o inestable). Zonas en las que existan condicionantes medioambientales o sociales que requieran una total permeabilidad entre los márgenes de la infraestructura.	
		
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>		
	VENTAJAS	
	<ul style="list-style-type: none"> > Permiten una total estabilidad de taludes. > No fracturan el entorno, mejorando la permeabilidad y la integración medioambiental. > Solución que permite un gran aprovechamiento del material excavado sin necesidad de transporte (compensación transversal): solución óptima para tramos con exceso de material de excavación frente a rellenos. 	<ul style="list-style-type: none"> > Mayor coste en construcción > Requieren mantenimiento e instalaciones propias de túneles, en función de su longitud. > Mayor mantenimiento de drenajes profundos y en trasdoses.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Relleno: m de asentamiento vertical (socavaciones puntuales o generalizadas)/altura total talud. > Túnel (fallo estructural debido a deficiencias en fase de ejecución): caída de material en el interior del túnel. <p>Periodicidad: revisión trimestral.</p>	

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES		
	CÓDIGO: T-7	CATEGORÍA: TALUDES
		FASE DE APLICACIÓN: ➤ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NUEVAS ➤ MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

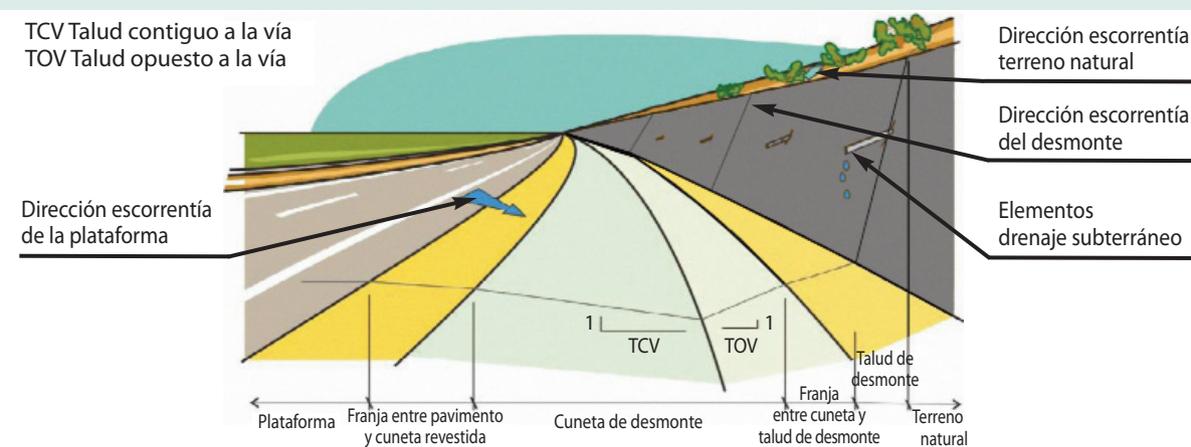
Alteraciones de los taludes de las carreteras producidas por la acción de la intemperie, fundamentalmente el agua, combinado con un exceso de verticalización de los mismos para el tipo de material existente en cada caso.

PROPUESTA DE ACCIÓN

Protección superficial de taludes mediante concreto hidráulico proyectado; en caso de ser requerida la estabilización de una masa importante del terreno debe complementarse con el uso de anclajes, bulones o claveteado del terreno (*soil nailing*). Independientemente del nivel freático o presencia de agua, es recomendable la disposición de mechinales (pequeños tubos) que atraviesen la protección de concreto. En taludes con presencia de agua deben incorporarse medidas de drenaje más robustas en el interior del terreno, como tubos más profundos (1 - 2 m) o drenes californianos (por ejemplo > 6 m). Puede ser aconsejable ejecutar bermas para hacer las superficies visitables en caso de taludes de gran altura.

¿DÓNDE?

Áreas con restricciones espaciales que impiden el tendido de taludes (por presencia de otras infraestructuras o por restricciones de tipo medioambiental). Se consigue así una mayor verticalidad del talud en condiciones de seguridad frente a desprendimientos. Zonas identificadas con alta pluviometría o con precipitaciones intensas.



Fuente: Modificación propia sobre Imagen Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).



VENTAJAS

- Protege la superficie del talud frente a la erosión superficial, evitando pequeños desprendimientos o pequeños bloques.
- Permite la disposición de taludes más verticalizados y una menor ocupación en pequeños desmontes.
- Reducción del volumen de excavación.



INCONVENIENTES

- Incremento de los costes en la fase de construcción: concreto proyectado, drenaje, anclajes, entre otros.
- Necesidad de mantenimiento de los drenes para evitar su obturación.
- Ejecución especializada.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL

Indicadores:

- Agrietamiento en el muro por deformación del talud. Niveles: Puntual – Generalizado.
- Daños en el revestimiento (% Superficie afectada): Superficie talud afectada (desprendimientos, rotura generalizada)/superficie total talud.
- Daños drenaje: Nº de drenes mal funcionamiento (saturación, emanaciones en talud, roturas localizadas)/nº total de drenes.

Periodicidad: revisión anual o después de periodos de lluvias.

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

CÓDIGO: T-8 **CATEGORÍA: TALUDES/DRENAJE** **FASE DE APLICACIÓN: > MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN**

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

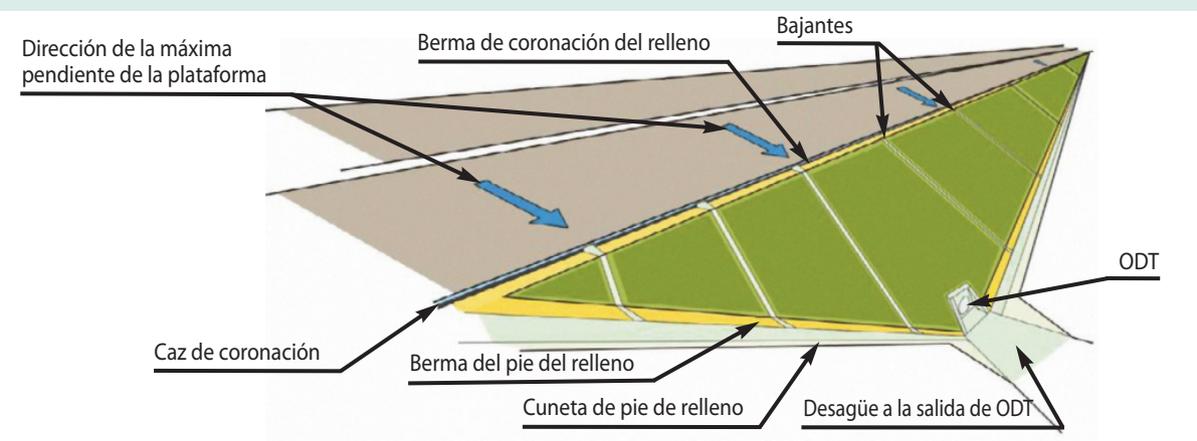
Alteraciones de los taludes de las carreteras, producidos por la acción de la intemperie, fundamentalmente el agua, combinado con rellenos poco asentados o consolidados, generando socavación, abombamientos y pérdida de material. Abuso de soluciones generales (sección tipo).

PROPUESTA DE ACCIÓN

Solución combinada: aplicación de medidas de bioingeniería (hidrosiembra, tierra vegetal, geomallas tridimensionales, geoceldas), **junto con medidas de drenaje superficial** (caces en coronación, bajantes, cunetas de pie de relleno, obras de drenaje transversal, ...).

¿DÓNDE?

Áreas con rellenos susceptibles a la acción del agua.



Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).



VENTAJAS

- > Permiten el refuerzo de talud en las zonas de mayor afección por el agua.
- > Permiten una mayor consolidación del terraplén a largo plazo y mejoran su mantenimiento.
- > Evitan la socavación o abombamiento del pie del talud.
- > Ejecución no excesivamente especializada.
- > Pueden generar una mayor integración y embellecimiento de la infraestructura en el entorno.



INCONVENIENTES

- > Mayor coste de implantación: hidrosiembras, obras de drenaje adicionales.
- > Requieren mantenimiento, tanto de las plantaciones como de los elementos de drenaje (limpiezas, reposiciones, ...).
- > No aplicable en zonas muy secas: el mantenimiento de plantaciones sería muy costoso.
- > Sensibilidad a la ejecución: se deben evitar afecciones al drenaje transversal.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/CONTROL

Indicadores:

- > En talud (% afectado): Superficie talud afectada (desprendimientos, socavaciones)/superficie total talud.
- > En cunetas: m cunetas con mal funcionamiento (saturación, roturas, cunetas sin captación)/m totales cunetas talud.
- > En plantaciones: estado de plantaciones (necesidad de podas, siegas, limpieza general), evolución y grado de enraizamiento, grado de adecuación a la climatología.
- > En calzada: Fisuración longitudinal.

Periodicidad: revisión anual o después de períodos de lluvias.

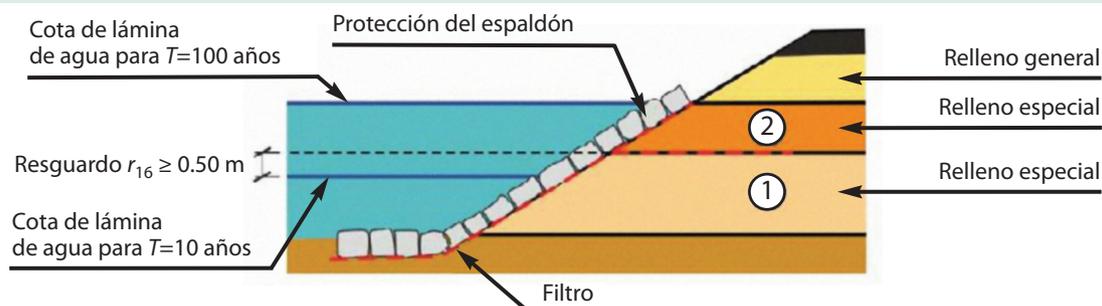
MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

CÓDIGO: T-9 **CATEGORÍA:** TALUDES/DRENAJE **FASE DE APLICACIÓN:** > DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: Existen determinados casos en los que es preciso prever zonas inundables en terraplenes (en casos en los que soluciones alternativas sean inviables). La posibilidad de que los rellenos sean alcanzados por láminas de agua, así como la velocidad y altura de la corriente, pueden provocar la erosión de los espaldones y percolación de agua en el interior del relleno.

PROPUESTA DE ACCIÓN **Mejora de sistema de protección de rellenos inundables:** Con objeto de hacer frente a estos problemas, los materiales a utilizar en el relleno deberían cumplir determinadas características en función de la cota de la lámina de agua considerada: por ejemplo, hasta la cota correspondiente al caudal de período de retorno de diez años ($T = 10$ años), más un resguardo a establecer en el proyecto, **los materiales deben estar protegidos por escollera** (separada del resto del relleno por un filtro o geotextil) **y componerse bien de pedraplén o relleno** con determinadas características de granulometría y estabilidad. Hasta la cota correspondiente al caudal de período de retorno de cien años ($T = 100$ años), los materiales deben ser suelos poco o nada plásticos, con CBR poco susceptible al grado de humedad y sin hinchamiento, con determinados requisitos granulométricos, y estar igualmente protegidos por el espaldón de escollera.

¿DÓNDE? Taludes de rellenos que atraviesan zonas de pendientes muy bajas (dificultad para un adecuado funcionamiento del sistema de drenaje) y con alta probabilidad de inundaciones por elevadas precipitaciones o desbordamiento de cauces de agua (llanuras de inundación).



- ① Escollera, pedraplén o todo en uno ($\# 0.063 < 5\%$) estables frente al agua
- ② Suelo seleccionado, adecuado o tolerable ($\# 0.063 < 25\%$ y condiciones de plasticidad de adecuado)

Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

✓ VENTAJAS

- > Correcta protección frente a efectos erosivos y percolación de agua en el interior del relleno.
- > Solución adecuada para zonas inundables bien acotadas y de tamaño moderado para evitar asientos del relleno.

✗ INCONVENIENTES

- > Mayor coste de construcción.
- > Inviabile en grandes extensiones inundables.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/CONTROL

Indicadores: Funcionamiento hidráulico del espaldón, filtro y materiales de relleno. Grado de estabilidad (pérdida de material por erosión y percolación, asentamiento del terraplén). Fisuración longitudinal del pavimento.

- > En talud (% Superficie afectada): Superficie afectada talud (desprendimientos, pérdida de material de relleno, descalces)/Superficie total talud.
- > En calzada: Fisuración longitudinal pavimento.

Periodicidad: revisión anual o después de episodios de grandes crecidas.

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	
CÓDIGO: T-10	CATEGORÍA: TALUDES
FASE DE APLICACIÓN: ➤ MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN	
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Falta de control evolutivo del estado de los taludes de infraestructuras viales durante su vida útil. Esta situación deriva en que las actuaciones sobre taludes se realicen después de que se produzcan fallas, agravando consecuencias y afecciones.
PROPUESTA DE ACCIÓN	<p>Realización de planes de control de taludes (planes de monitoreo), con actividades y protocolos sistematizados (de revisión, compleción de informes, toma de decisiones y actuación):</p> <p>Revisiones de campo periódicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En taludes sin revestir o sin estructuras adicionales de contención u otros: inspecciones visuales periódicas de desprendimientos de material en cunetas de pie (de desmonte/terraplén); análisis de la vegetación existente y su dinámica (inclinaciones, aparición y evolución del enraizamiento, entre otros); comprobación de evolución de sección teórica (abombamientos y desviaciones de las inclinaciones iniciales). ➤ En taludes con estructuras de contención (pantallas de concreto proyectado, muros, mallas, ...), o sistemas de drenaje adicionales (cunetas, bajantes, drenes californianos, entre otros); control de fisuración por deslizamientos, descalces (en pantallas, muros o cunetas); comprobación del correcto funcionamiento de drenes californianos; control de emanaciones de agua infiltrada (cambios en la dinámica de caudales, aparición/desaparición de emanaciones, por ejemplo). <p>Realización de informes de evolución estandarizados y de periodicidad fija.</p> <p>Toma de decisiones y propuestas de actuaciones preventivas (protocolizadas según niveles y casuísticas) necesariamente con estudio de detalle y diseño.</p>
¿DÓNDE?	En carreteras con taludes tanto de corte como de relleno en las que se combinen los siguientes factores condicionantes: infraestructura vial de relevancia (en cuanto a tránsito e importancia en la movilidad regional); nº significativo de taludes por unidad de longitud del corredor; presencia de taludes de grandes dimensiones; detección de geología/hidrología complejas y previsión de la aparición de inestabilidades del terreno.
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>	
✓ VENTAJAS	✗ INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Permiten un control de la evolución de los taludes de forma anticipada a la aparición de grandes deslizamientos o rotura de elementos de la infraestructura. ➤ Medidas preventivas (anticipándose a escenarios de no retorno) frente a medidas correctivas. ➤ Menores costes por disminución de grandes reparaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Necesidad de contar con personal técnico capacitado para el control y elaboración de informes.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Control de taludes sin revestir (control de desprendimientos en cunetas, dinámica de la vegetación y sistema radicular); Control de estructuras y drenaje existente en taludes (fisuración de concreto proyectado y otras estructuras, funcionamiento del drenaje y cambios en la dinámica de emanaciones de agua). <p>Periodicidad: revisión anual y siempre después de episodios de lluvias excepcionales.</p>

4.3.2.

Hidrología y drenaje

ESTUDIOS DE DETALLE EN CUENCAS Y MICROCUENCAS		
	CÓDIGO: D-1	CATEGORÍA: DRENAJE
		FASE DE APLICACIÓN: ➤ DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: No considerar en fase de diseño y de cálculos hidrológicos las cuencas atravesadas por la infraestructura como un conjunto subdividido de cuencas, subcuencas y microcuencas. Se plantean, por tanto, soluciones demasiado simplificadas, y concentradas únicamente al alivio y desagüe de cauces principales, obviando los cauces secundarios o menores.

PROPUESTA DE ACCIÓN

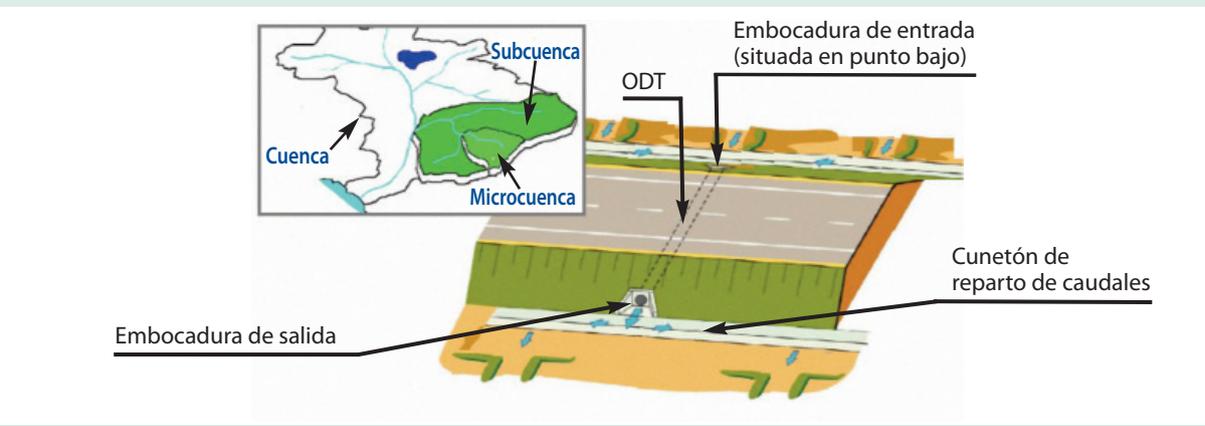
Mejora en la caracterización de cuencas, ampliando el detalle a nivel de microcuencas:
Revisiones de campo periódicas:

- Análisis desde el nivel inferior (microcuena) al nivel superior (cuena), estableciendo los elementos de drenaje necesarios para cada microcuena y su tratamiento en el sistema de drenaje proyectado, integrados en las cuencas.
- Diferenciación y caracterización de cuencas y microcuencas, en cuanto a las metodologías de cálculo y medidas a tomar para cada caso.

Se toman medidas de diseño de drenaje adicionales para la captación de caudales de microcuencas hasta confluir con los caudales del conjunto de la cuena aguas abajo del vial; se evita así obstruir cuencas no consideradas, así como el reparto desigual o concentración de caudales de unas cuencas a otras.

Por ejemplo, como medida constructiva, cabe citar la implantación de cunetas de cabeza de desmonte y conducción de los caudales al sistema de drenaje longitudinal hasta alcanzar el cruce del caudal principal de la cuena a la que pertenecen, manteniendo una continuidad en los caudales de cada microcuena tras el cruce de la infraestructura, evitando alterar la dinámica de escorrentía existente en el entorno.

¿DÓNDE? Tramos con una orografía de cuencas compleja, en los que se atraviesan cuencas de muy diversa tipología, debiendo adaptar cada solución constructiva al tramo atravesado.



Fuente: Elaboración Propia y Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

- ✓ VENTAJAS**
- Mejora de del drenaje transversal de la infraestructura.
 - Evita la incorporación de caudales no controlados a la plataforma.
 - Mantenimiento de los caudales de escorrentía existentes de forma lo más similar a la situación previa a la ejecución de la infraestructura, estando por tanto ésta mejor adaptada al entorno y a posibles episodios de lluvias torrenciales.

- ✗ INCONVENIENTES**
- Mayor coste en fase de ingeniería por estudios hidrológicos de detalle (necesidad de mayor toma de datos y trabajos de gabinete).

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL

Indicadores: Funcionamiento hidráulico de cunetas, captación y reparto de caudales.
Periodicidad: revisión anual o después de períodos de lluvias.

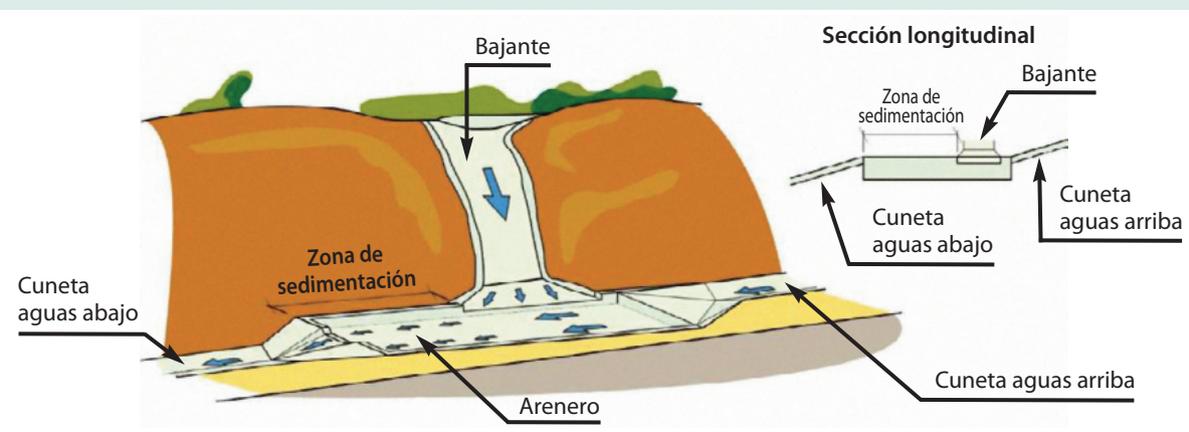
MEJORA DE DRENAJE EN BAJANTES: ARENEROS Y DISIPADORES DE ENERGÍA

CÓDIGO: D-2 **CATEGORÍA:** DRENAJE/TALUDES **FASE DE APLICACIÓN:** > DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: Bajantes (en taludes de desmonte o espaldones de rellenos) con caudales en régimen rápido, en muchos casos con presencia de lodos, sin una adecuada disipación de energía previa a la cuneta longitudinal, generando desbordamientos o aterramientos sobre la calzada.

PROPUESTA DE ACCIÓN **Disposición de areneros u otros disipadores de energía en la conexión entre bajante y cuneta.** Estos elementos depositan las partículas gruesas que pueda arrastrar el agua, disminuyendo la velocidad que favorece la sedimentación de partículas, generalmente por incremento de la sección en la que se ubican o por disminución de pendiente. De esta forma se evita además la sedimentación en los elementos de drenaje aguas abajo, que puede producir disminución de su capacidad hidráulica, lo que resulta particularmente importante en elementos de difícil inspección y limpieza. Si los areneros no fueran accesibles desde la plataforma, se debe proyectar accesos para los equipos de conservación. Otras soluciones: reductores de velocidad en bajantes y cuencos receptores con desagüe elevado para control por almacenamiento.

¿DÓNDE? Taludes de corte con aportación de escorrentía elevada y con presencia de lodos y partículas gruesas, y en las que resulte difícil su inspección y limpieza de forma rutinaria.



Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

- ✓ VENTAJAS**
- > Permiten una adecuada transición hidráulica entre bajante y cuneta en casos de elevada velocidad, caudal y presencia de lodos y partículas de arrastre.
 - > Permiten, por la sedimentación controlada, una correcta auto-limpieza de sistemas de drenaje aguas abajo.
 - > Mejoran la capacidad hidráulica de la red de drenaje por menor sedimentación y aterramientos.

- ✗ INCONVENIENTES**
- > Incremento de coste de construcción: ejecución de drenaje de cierta complejidad.
 - > Coste de mantenimiento, necesidad de limpieza, reparaciones del arenero.
 - > Mayor necesidad de control y evolución de instalaciones
 - > Ejecución especializada.
 - > Mayores recursos en fase de ingeniería: diseño y cálculo de caudales.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/CONTROL

Indicadores:

- > Funcionamiento del drenaje. Correcto funcionamiento de la zona de sedimentación controlada, nivel de limpieza aguas arriba y aguas debajo del arenero, control de la transición hidráulica entre bajante y cuneta, evitando desbordamientos sobre calzada.
- > Control/conservación de arenero o disipadores de energía.

Periodicidad: revisión anual o después de períodos de lluvias.

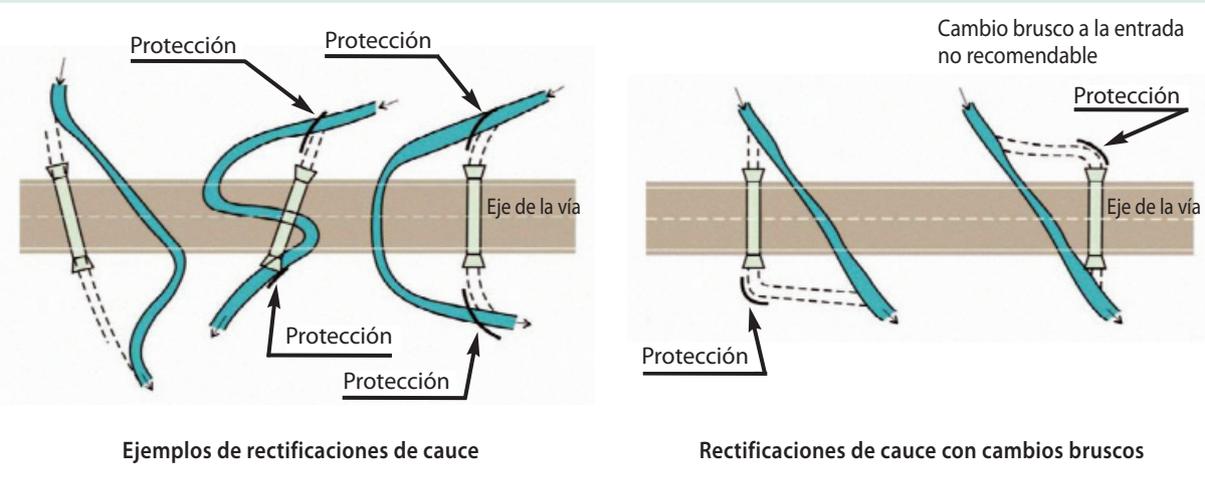
MANTENIMIENTO DEL CAUCE NATURAL Y PROTECCIÓN DE CAUCES Y RIBERAS

CÓDIGO: D-3 CATEGORÍA: DRENAJE FASE DE APLICACIÓN: > MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: Obras de drenaje que no disponen de la adecuada canalización con los cauces a los que dan servicio, generalmente sinuosos, que se desbordan en eventos extraordinarios de precipitación.

PROPUESTA DE ACCIÓN **Solución conjunta con obras de drenaje transversal, encauzamiento y sistemas de protección.** Considerar las obras de drenaje no sólo como la obra proyectada bajo la calzada, sino como un conjunto de actuaciones que incluyen aquellas necesarias, tanto aguas arriba como aguas abajo, para la correcta conexión con el cauce existente. Cuando la obra de drenaje transversal no coinciden con el cauce, por la irregularidad o brusquedad de su trazado o por otros condicionantes constructivos, será preciso diseñar encauzamientos artificiales y protecciones específicas en los giros y puntos de conexión. Este tipo de soluciones se establecen en fase de diseño, pero pueden ser requeridas durante la vida útil, ya que tras determinadas avenidas, los cauces naturales pueden variar su posición, siendo preciso en estos casos diseñar nuevos encauzamientos.

¿DÓNDE? Cuando la ubicación de las obras de drenaje transversal no coincide exactamente con el cauce por la irregularidad o brusquedad de su trazado o por otros condicionantes constructivos, será preciso incorporar encauzamientos artificiales y protecciones específicas en los giros y puntos de conexión.



Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

- ✓ VENTAJAS**
- > Mejor funcionamiento de las obras de drenaje transversal y su conexión con cauces en casos en los que el encaje de uno y otro trazado sea complejo.
 - > Mejor comportamiento frente a grandes avenidas
 - > Sirve como solución correctiva (rehabilitación), en caso de cauces que modifican su ubicación tras episodios torrenciales.

- ✗ INCONVENIENTES**
- > Incremento de coste de construcción: ejecución de drenaje de cierta complejidad.
 - > Coste de mantenimiento, necesidad de limpieza, reparaciones.
 - > Mayor necesidad de control y evolución de instalaciones
 - > Ejecución especializada.
 - > Mayores recursos en fase de ingeniería o rehabilitación: diseño y cálculo de caudales, secciones tipo, materiales de protección.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/CONTROL **Indicadores:** Funcionamiento de la estructura u obras de drenaje transversal para los caudales de avenida existentes y previstos a futuro.
Periodicidad: revisión anual o después de períodos de lluvias.

MEJORA DE SISTEMA DE DESAGÜE Y CONTROL DE CAUDALES EN CUENCAS AGUAS ABAJO

CÓDIGO: D-3 **CATEGORÍA: DRENAJE** **FASE DE APLICACIÓN:**
 ➤ **MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN**

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

La carretera y sus sistemas de drenaje, pueden provocar un inevitable efecto “presa”, alterando parcialmente la escorrentía y encauzamientos naturales aguas arriba, derivándolos a obras de drenaje transversales que focalizan estos caudales. Esta concentración de caudales puede provocar, en situaciones de avenidas excepcionales, una saturación de las cuencas naturales aguas abajo por menor capacidad de desagüe, generando posibles inundaciones y arrastre de material.

Adicionalmente, en las carreteras en funcionamiento, a lo largo de su vida útil, las condiciones de la escorrentía aguas arriba y aguas abajo pueden alterarse, por ejemplo, por la creación de caminos transversales de material. Este tipo de obras dispone de caminos de servicio para su mantenimiento. Estos procesos pueden provocar una modificación de los caudales a tratar y, sobre todo, una mayor tendencia al soterramiento del sistema de drenaje, obturando alcantarillas, cunetas y otras obras de fábrica que reducen la capacidad de desagüe general de la zona frente a grandes avenidas.

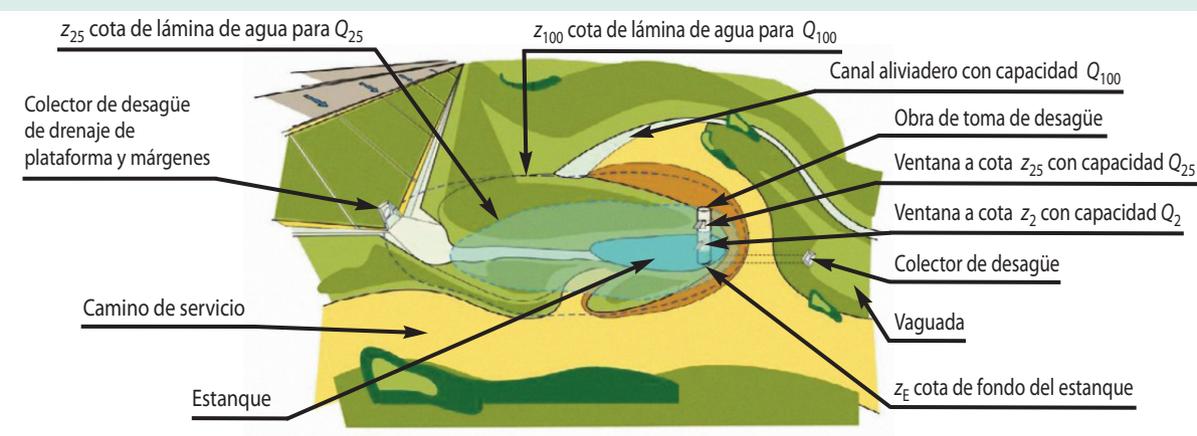
PROPUESTA DE ACCIÓN

Creación de estanques de laminación aguas abajo, destinados a reducir las puntas de caudal, normalmente por almacenamiento. Se propone un estanque mediante incorporación de barreras transversales de material. Este tipo de obras dispone de caminos de servicio para su mantenimiento. Se implanta un colector de desagüe en la cota de fondo y sucesivas ventanas de desagüe en la obra de toma a diferentes cotas que se abren/cierran en función de los caudales de avenida previstos. El caudal máximo de diseño se desagua por aliviadero.

Este tipo de infraestructuras sirve de control por almacenamiento, permitiendo regular caudales aguas abajo en función de la capacidad de la cuenca receptora.

¿DÓNDE?

Aguas abajo de obras de drenaje que desaguan en cuencas con capacidad receptora menor a los máximos caudales de avenida o en los que existen otros condicionantes que requieren su implantación (factores medioambientales o por presencia de núcleos urbanos u otras infraestructuras susceptibles de sufrir inundaciones).



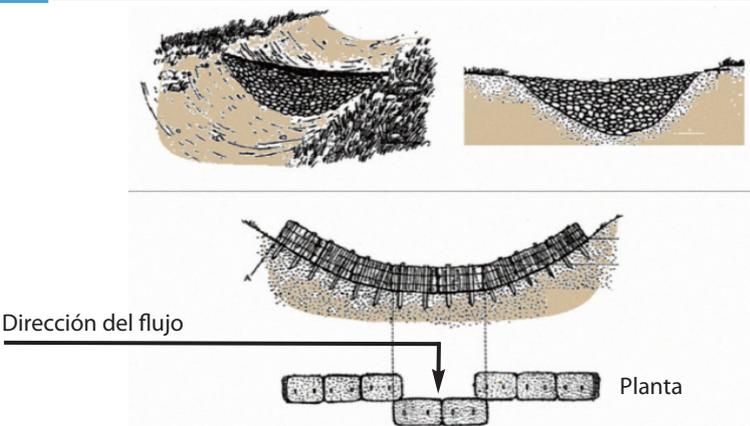
Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

- ✓ VENTAJAS**
- Mejoran el sistema de evacuación aguas abajo de la ODT
 - Control de caudales frente a diferentes avenidas.

- ✗ INCONVENIENTES**
- Coste elevado de construcción.
 - Coste elevado de mantenimiento.
 - Necesidad en fase de Ingeniería de estudio de caudales de detalle para justificar la proyección de estos dispositivos.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL

Indicadores: Funcionamiento hidráulico del estanque de laminación y sus elementos auxiliares.
Periodicidad: revisión anual.

MEJORA DE SISTEMA DE DESAGÜE Y CONTROL DE CAUDALES	
CÓDIGO: D-5	CATEGORÍA: DRENAJE
FASE DE APLICACIÓN: ➤ MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN	
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	A pesar de un correcto diseño de la infraestructura y sus sistemas de drenaje para los caudales de diseño realmente existentes en la zona, existe un exceso de arrastre de sólidos que puede obstruir y romper las obras de drenaje. Por ejemplo, en las carreteras en funcionamiento, a lo largo de su vida útil, las condiciones de la escorrentía aguas arriba y aguas abajo pueden alterarse, por ejemplo por la creación de caminos aguas arriba de los viales o por la ocupación de las cuencas aguas abajo en desarrollos urbanos. Estos procesos pueden provocar una modificación de los caudales a tratar y, sobre todo una mayor tendencia al soterramiento del sistema de drenaje, obturando alcantarillas, cunetas y otras obras de fábrica.
PROPUESTA DE ACCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vigilancia del funcionamiento del sistema de drenaje. ➤ Determinación de las causas de los aterramientos. ➤ Revisión del cálculo del nivel de control de entrada en las alcantarillas y otras obras de fábrica. ➤ Adaptación del sistema de drenaje en caso de que la frecuencia de limpiezas sea anual o inferior. ➤ Soluciones como la Construcción de azudes para la retención de sólidos: retienen los sedimentos y arrastres de material rocoso aguas arriba de las obras de drenaje, impidiendo que lleguen a ellas. Se evitan aterramientos y obstrucciones que supondrían labores de limpieza y reparación sistemáticas. Estos sistemas de retención deben dimensionarse tras un estudio detallado de los arrastres de material previstos en cada caso (atendiendo a si se trata de suelos o rocas y a su tamaño, por ejemplo); del estudio podrán concluirse soluciones que pasen por el redimensionamiento de las obras de drenaje (que eviten obstrucciones y permitan su autolimpieza), o bien soluciones combinadas de redimensionamientos más azudes de retención (para evitar sobrecostes por necesidad de obras de drenaje excesivamente grandes).
¿DÓNDE?	Aguas arriba de cuencas y cauces con previsión de arrastre de materiales (como sedimentos o rocas), en los que determinados condicionantes constructivos (tanto técnicos como económicos) limiten el sobredimensionamiento de las obras de drenaje, siendo necesarias soluciones adicionales.
 <p style="text-align: center;">Dirección del flujo</p> <p style="text-align: right;">Planta</p>	
Fuente: <i>Elaboración Propia.</i>	
<div style="display: flex; align-items: center;"> ✓ <div style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 5px; font-weight: bold;">VENTAJAS</div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mejoran el sistema de drenaje y su mantenimiento. ➤ Control aguas arriba de sólidos y de caudales punta por avenidas excepcionales. 	<div style="display: flex; align-items: center;"> ✗ <div style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 5px; font-weight: bold;">INCONVENIENTES</div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mayor coste de construcción y mantenimiento por limpieza de presas. ➤ Necesidad en fase de Ingeniería de estudio de arrastre de sólidos para justificar la proyección de estos dispositivos.
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores: Aterramientos en sistema de drenaje. Funcionamiento hidráulico de los sistemas de retención de sólidos y sus elementos auxiliares.</p> <p>Periodicidad: revisión anual.</p>

4.3.3.

Estructuras

MEJORA DE ANÁLISIS DINÁMICA CAUCE/ESTRUCTURA: ESTUDIOS DE SOCAVACIÓN EN CIMENTACIONES		
	CÓDIGO: E-1	CATEGORÍA: ESTRUCTURAS
FASE DE APLICACIÓN: > DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NUEVAS > MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN SERVICIO		

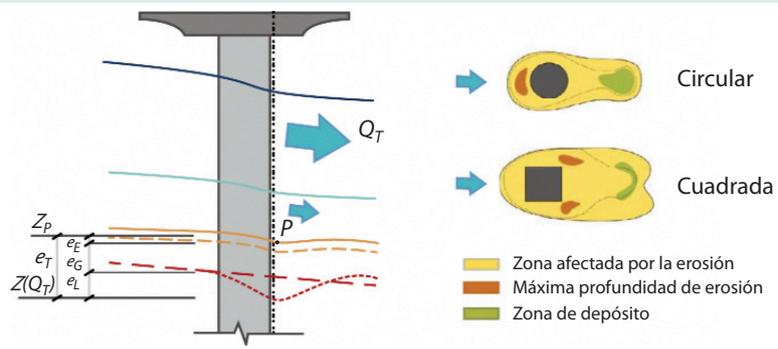
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: Erosión no prevista en pilas y estribos para la avenida de período de retorno de diseño (generalmente $T = 200$ años), lo que supondrá socavación en cimientos de pilas y otros elementos de la estructura (muros, estribos).

PROPUESTA DE ACCIÓN

Realización de estudios de socavación: calcular la profundidad de la erosión prevista para no incorporar en fase de diseño un exceso de contribución resistente del terreno:

- > Cálculo de la profundidad de erosión en cada pila P para un período de retorno T : Se establecerá cómo la diferencia entre la cota del terreno considerada en el proyecto y la cota en el mismo punto durante la avenida de período de retorno T ; considerar esta diferencia en la definición de las cimentaciones, disposición de protecciones y otras medidas. Esta profundidad de erosión se puede estimar como la suma de la Erosión evolutiva (previsible en ausencia de avenidas durante la vida útil del puente), la Erosión general del cauce (la que se produciría sin el puente durante el paso de la avenida de período de retorno T), y la Erosión local (debida a la presencia de las pilas y estribos del puente durante el paso de la avenida de período de retorno T).
- > Como solución general, las cimentaciones se deben disponer por debajo de la cota de erosión total calculada. En las cimentaciones profundas sólo se podrá considerar la contribución resistente del terreno situado por debajo de la cota de erosión. Cuando se proyecten protecciones sobre elementos de cimentación, éstas se deben disponer por debajo de la cota de erosión general.

¿DÓNDE? En aquellos elementos verticales de las estructuras que estén apoyados en terrenos susceptibles de socavación, incluso elementos con cimentaciones profundas, en zonas de cauces.



Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

✓ VENTAJAS

- > Permiten una correcta estabilidad de las cimentaciones de las pilas, anticipando las posibles erosiones y evitando socavaciones y descalces no deseados.
- > Solución en fase de diseño, con reducido coste y alto valor añadido de cara a la conservación y mantenimiento durante la vida útil.

✗ INCONVENIENTES

- > Mayor tiempo y recursos en fase de Ingeniería, para la correcta recopilación de datos (geotécnicos, hidrológicos, ...) que sirvan para particularizar el caso de estudio correctamente.
- > Mayor control en fase de mantenimiento para recopilación de datos y huellas de erosión/depositos en pilas, para valorar la evolución y previsiones.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL

Indicadores:

- > Nº de cimentaciones afectadas por la erosión: evolución de huellas de erosión/depósito de material y correlación con las sucesivas avenidas durante la vida útil. Evolución y previsiones a futuro.

Periodicidad: revisión anual o después de crecidas en cauces.

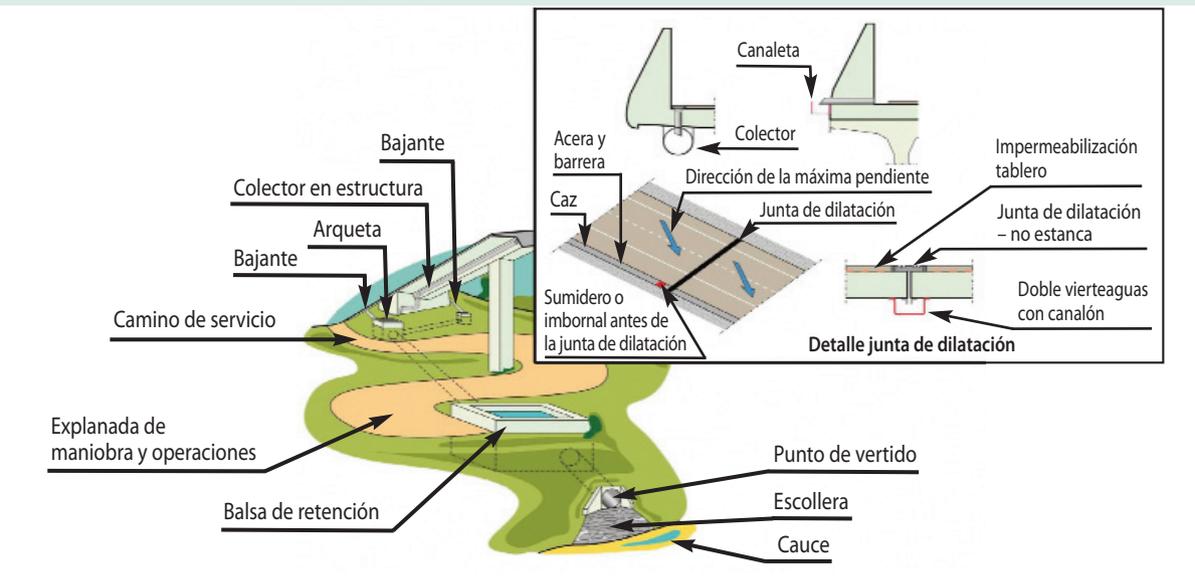
MEJORA DE DRENAJE DE ESTRUCTURAS EN LOS TABLEROS

CÓDIGO: E-2 **CATEGORÍA:** ESTRUCTURAS **FASE DE APLICACIÓN:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NUEVAS

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: Riesgo por acumulación de agua de escorrentía en tableros de estructuras por diseño defectuoso o inexistente en la evacuación de estos caudales superficiales.

PROPUESTA DE ACCIÓN **Red de drenaje en tableros:** La escorrentía del tablero se debe dirigir fuera de la calzada mediante una adecuada disposición de las pendientes de la superficie pavimentada, recojiéndola mediante caces con vertido a sumideros o imbornales. El desagüe de los sumideros irá mediante bajante de tubería adosada a una pila o estribo o mediante conexión a un colector longitudinal adosado al tablero. Cuando existan juntas de dilatación, se deben disponer sumideros o imbornales para recoger el agua conducida por los caces, antes de que alcance cada una de las juntas. Si las juntas no son estancas, se deben disponer canalones para recoger el flujo difuso de la plataforma. Para el control de vertidos a cauces, se establecerán balsas de decantación para el control de contaminantes y laminación de caudales.

¿DÓNDE? Tableros de estructuras (pasos superiores, viaductos), en zonas donde se prevean aumentos de precipitación.



Fuente: Modificación Propia sobre Imagen Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).

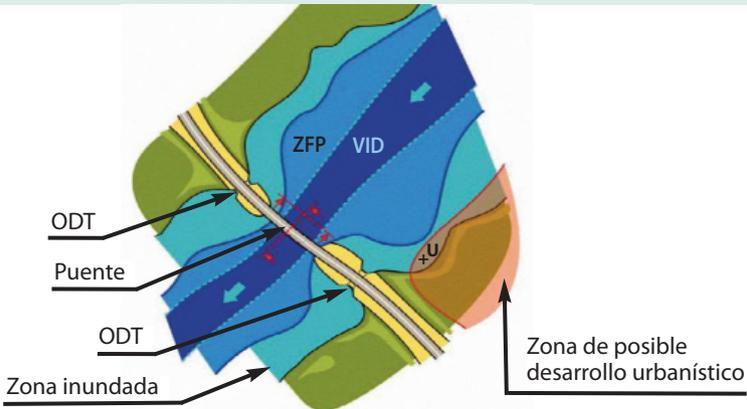
- ✓ VENTAJAS**
- Permiten una correcta evacuación de la escorrentía en tablero, evitando acumulaciones de agua.
 - Coste de implantación reducido.
 - Menor afección ambiental por agua contaminada por tráfico (aceites, hidrocarburos) siempre que se canalice el vertido recogido.

- ✗ INCONVENIENTES**
- Mayor coste de mantenimiento y control.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/CONTROL **Indicadores:** Funcionamiento de drenaje:

- M de caces, canalones, sumideros con mal funcionamiento (saturación, roturas, sin captación)/m totales red drenaje tablero.

Periodicidad: revisión bianual o previamente a períodos de lluvias.

 IMPLANTACIÓN DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL DE TIPO PREVENTIVO EN ESTRIBOS DE ESTRUCTURAS EJECUTADOS EN TERRAPLÉN		
CÓDIGO: E-3	CATEGORÍA: ESTRUCTURAS	FASE DE APLICACIÓN: ➤ REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN SERVICIO
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Sobreelevaciones de la zona inundable en el entorno de un viaducto, afectando a los rellenos de sus estribos, anegando zonas aledañas, lo que puede afectar tanto a la estabilidad de la infraestructura como a los terrenos colindantes (que no se verían afectados sin la presencia de dicho elemento barrera).	
PROPUESTA DE ACCIÓN	<p>Ejecución de obras de drenaje transversal en terraplenes de estribos de viaducto, por sobreelevación superior a la prevista en fase de diseño.</p> <p>Como norma general, en el nivel de Vía de Intenso Desagüe (VID, a definir según criterios establecidos en la normativa) no podrán ubicarse los estribos, pero sí las pilas (disponiéndolas de tal forma que se minimice la alteración del régimen hidráulico y previendo la sobreelevación que generan).</p> <p>En aquellos puntos donde pueda verse afectado el terraplén por sobreelevación de la lámina de agua (por aumentos de caudales recurrentes no previstos durante la vida útil) o por otros condicionantes (posible desarrollo urbanístico o restricciones medioambientales), para evitar alteraciones significativas de la zona de flujo preferente (ZFP), la obra de paso se complementará con obras de drenaje adicionales o pasos inferiores en caso necesario.</p>	
¿DÓNDE?	Viaductos sobre cauces susceptibles por sobreelevación de lámina de agua, con estribos en terraplén.	
		
Fuente: <i>Modificación Propia sobre Imagen Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).</i>		
 VENTAJAS	 INCONVENIENTES	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Permiten un mayor control sobre superficies inundables. ➤ Permiten aplicar soluciones correctivas (incorporación de ODT en terraplenes), en viaductos deficientemente dimensionados ya ejecutados, a coste relativamente bajo: adecuado equilibrio entre coste de rehabilitación/funcionalidad, al mantener el viaducto existente, pero mejorando la funcionalidad del conjunto para avenidas excepcionales. ➤ Solución que evita sobredimensionar viaductos en cuencas de gran anchura. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A pesar de la incorporación de obras de drenaje transversal en terraplenes de los estribos, se pueden producir daños en sus taludes inevitablemente si los procesos de inundación se repiten recurrentemente y no existen elementos adicionales de protección (como revestimientos). 	
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Funcionamiento de la estructura u obra de drenaje transversal para los caudales de avenida existentes y previstos a futuro. <p>Periodicidad: revisión anual o después de episodios de grandes crecidas.</p>	

4.3.4.

Pavimentos

MEJORA DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO AL AUMENTO DE LAS TEMPERATURAS	
	<p>CÓDIGO: P-1</p> <p>CATEGORÍA: PAVIMENTOS</p> <p>FASE DE APLICACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> > DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS > REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN OPERACIÓN
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Problemas de mezclas asfálticas por craqueo producido por gradiente térmico o temperaturas elevadas.
PROPUESTA DE ACCIÓN	<p>Análisis detallado del tipo de ligante asfáltico, de baja (ambiente frío) o elevada dureza (ambiente cálido) o incluso multigrado en zonas de gradiente térmico muy elevado. En el caso de los betunes de mayor dureza son adecuados para tránsitos elevados de vehículos pesados.</p> <p>El estudio de soluciones que mejoren el comportamiento de las carpetas de pavimento (hidráulicas o asfálticas), mediante el empleo de ligantes menos sensibles a estas variaciones térmicas (ligante asfáltico). Debe analizarse siempre la dureza del betún a emplear en pavimentos.</p>
¿DÓNDE?	En pavimentos de ligante asfáltico de todo tipo y con cualquier intensidad de tránsito donde se prevea aumento de la temperatura.
	
<p>Fuente: Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. 5.1. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles.</p>	
	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> > Mayor durabilidad del pavimento.
	<p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> > Mayores costes preliminares en estudio de soluciones. > Mayor coste de inversión, en algunos casos en que se requieran ligantes no habituales (mayor dureza, multigrado, por ejemplo).
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL	<p>Indicadores: Seguimiento del comportamiento del pavimento.</p> <p>Periodicidad: revisión anual.</p>

EMPLEO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

CÓDIGO: P-2 **CATEGORÍA:** PAVIMENTOS **FASE DE APLICACIÓN:** > DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA: Problemas de mezclas de concreto asfáltico en pavimentos, por craqueo producido por gradientes térmicos elevados.

PROPUESTA DE ACCIÓN Empleo de pavimentos rígidos (concreto) con empleo de juntas de continuidad de mecanizadas (tipo Junta JRI o similar).

¿DÓNDE? En calzadas con tráfico pesado y elevados gradientes térmicos día/noche.



Fuente: Farobel, S.A. Tecnología de Obra Civil.

- ✓ VENTAJAS**
- > Mejor comportamiento a deterioros en el entorno de juntas, eliminación de pasadores.
 - > Mejoran la transferencia de cargas entre losas.

- ✗ INCONVENIENTES**
- > Costo elevado.

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL **Indicadores:** Seguimiento habitual en pavimentos de concreto hidráulico.
Periodicidad: revisión anual.

	REDUCCIÓN DE TIEMPOS/LONGITUD DE RECORRIDO DE ESCORRENTÍAS POR MEDIO DE HENDIDURAS EN EL PAVIMENTO	
	CÓDIGO: P-3	CATEGORÍA: PAVIMENTOS/DRENAJE

FASE DE APLICACIÓN:
 ➤ DISEÑO DE CARRETERAS NUEVAS
 ➤ MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

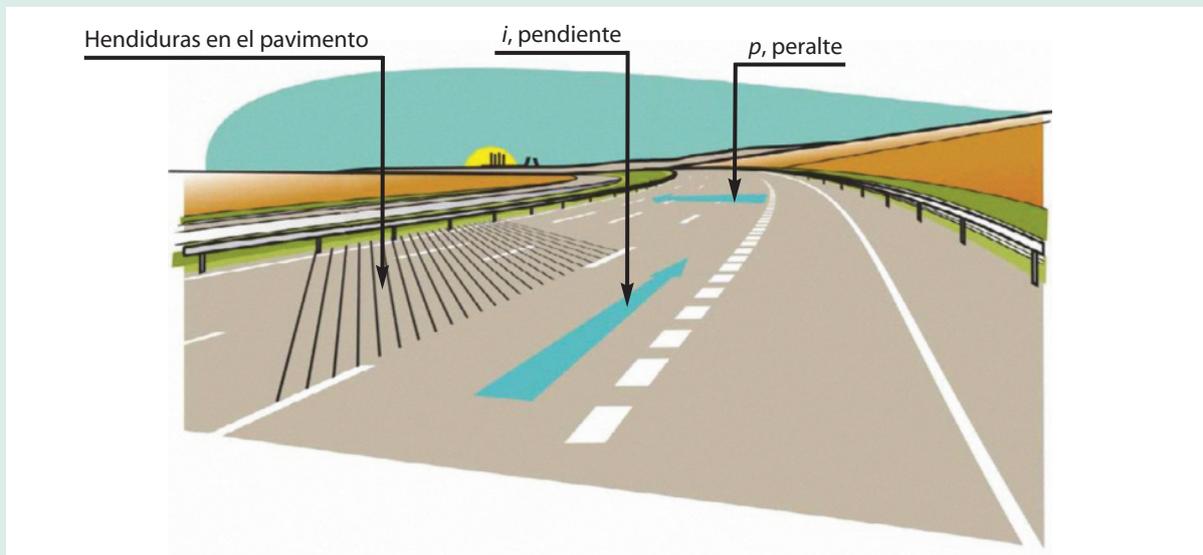
Calzadas de gran sección en tramos de lluvias intensas, en las que, por restricciones en el trazado de la propia infraestructura, sus pendientes, tanto transversales como longitudinales, no permiten una adecuada evacuación de la escorrentía superficial. Se forman así láminas de agua que afectan tanto a la seguridad de los usuarios (aquaplaning), como a la conservación de la carretera (acumulación de agua, infiltración en zonas más evacuadas, por ejemplo).

PROPUESTA DE ACCIÓN

Disposición de hendiduras transversales o esviadas en la superficie del pavimento, siguiendo la línea de máxima pendiente, para favorecer la evacuación de la escorrentía.

¿DÓNDE?

En calzadas de gran sección en tramos de lluvias intensas, en las que por restricciones en el trazado de la propia infraestructura, sus pendientes, tanto transversales como longitudinales, no permiten una adecuada evacuación de la escorrentía superficial.



Fuente: Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (MFOM. España. 2016).



VENTAJAS

- Mejoran el sistema de evacuación de aguas de escorrentía en calzadas.
- Evitan la aparición de láminas de agua con sus consecuencias en la seguridad y mantenimiento de la vía.
- Evitan largos recorridos de escorrentía sobre calzada.
- Coste muy reducido para la solución que proporcionan.



INCONVENIENTES

- Aplicación en tramos muy concretos (zonas con limitación de las pendientes transversales y longitudinales por condicionantes de trazado).

ACTUACIONES SEGUIMIENTO/CONTROL

Indicadores: Funcionamiento hidráulico de la red de hendiduras transversales o esviadas.

Periodicidad: revisión anual.

5.

CONCLUSIONES

5.

CONCLUSIONES

Como se ha podido identificar a lo largo del documento, la situación actual en la Región de América Latina y el Caribe presenta una cierta heterogeneidad entre los países: mientras que algunos han comenzado a desarrollar planes de adaptación, otros se encuentran en fases muy incipientes, aunque se reconoce, de manera generalizada, la necesidad de actuar en este ámbito en todos los países. En este contexto, es destacable como ejemplo a seguir los trabajos realizados en Colombia en la adaptación de sus carreteras a los efectos de la variabilidad y cambio climáticos, donde ya se ha publicado un plan que se va a llevar a cabo en los próximos años.

La Guía para la adaptación de las carreteras al clima constituye una aportación de CAF - banco de desarrollo de América Latina, para mejorar el conocimiento acerca de la importancia de incorporar medidas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento y gestión de carreteras.

Así mismo, la Guía persigue trasladar la importancia de desarrollar estrategias que permitan incorporar las mencionadas medidas de adaptación, dirigida a todos los actores involucrados en la Región, tanto públicos como privados.

El documento se enmarca en el Programa de Adaptación al Cambio Climático de CAF – banco de desarrollo de América Latina, que incorpora un buen número de iniciativas con fines similares en el sector de infraestructuras y otros sectores. Un elemento que se ha puesto de manifiesto en el desarrollo de este estudio, y de gran importancia para avanzar en estos temas, tiene relación con las numerosas **barreras que se han identificado para la adopción de medidas** de adaptación de las carreteras al clima y que en algunos casos están ralentizando un mayor avance en su implementación; conocerlas nos va a permitir afrontar el reto de la adaptación en mejores condiciones para superarlas. A continuación se enumeran algunas de ellas por tipologías:

- Institucional: ausencia de liderazgo, falta de coordinación entre entidades implicadas a nivel nacional y subnacional, carencias en la especialización de profesionales,
- Financieras: falta de recursos, dificultades en su gestión,
- Técnicas: otras prioridades en la gestión viaria, carencia de documentos técnicos normativos de referencia, poca fiabilidad de los datos hidrometeorológicos,

- Políticas: falta de compromiso político, dificultades para identificar prioridades,
- Sociales: poco apoyo social, falta de implicación del sector privado.

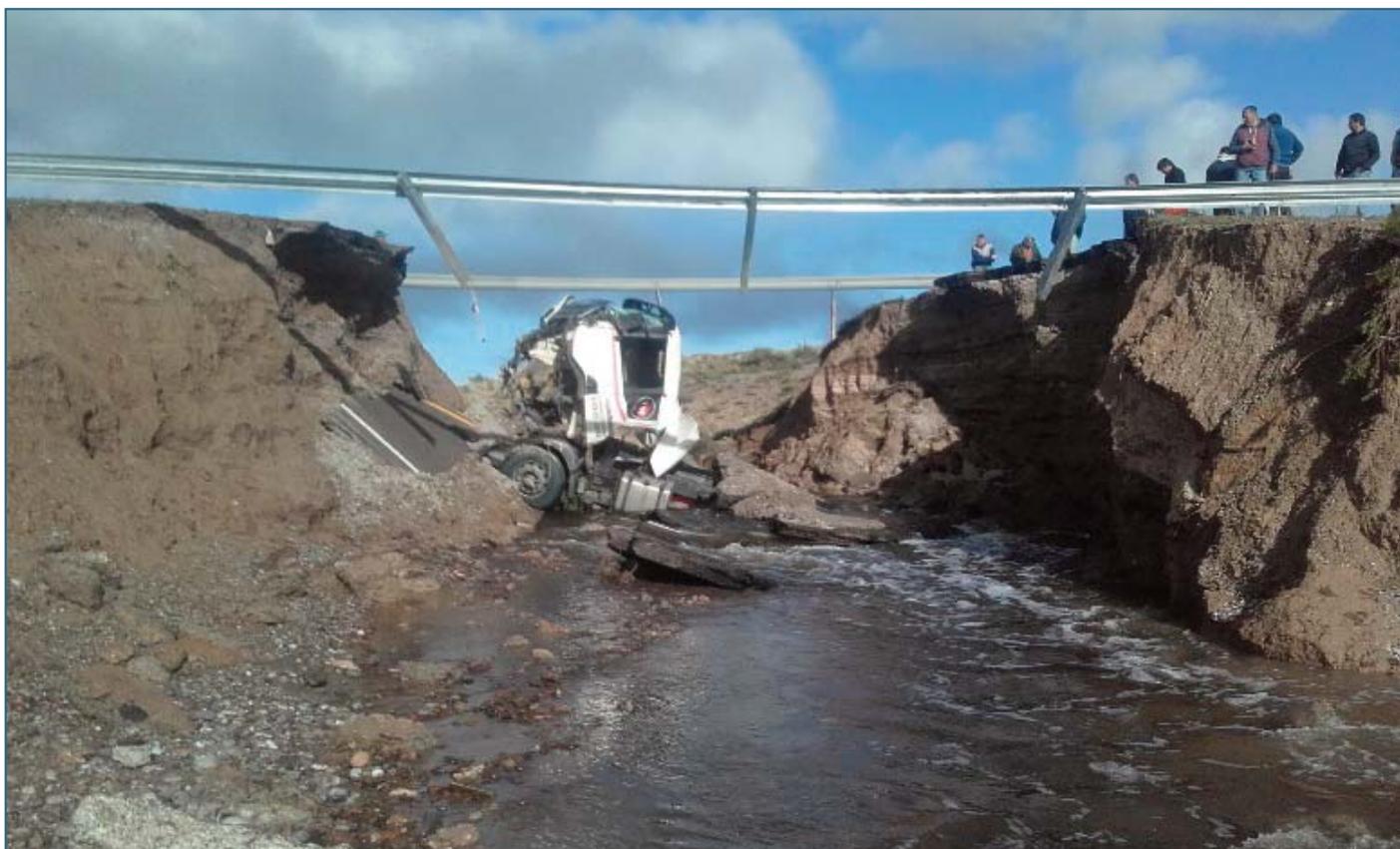
Entre las barreras identificadas, destaca especialmente la relacionada con los problemas de coordinación entre entidades implicadas. Según se recoge en el estudio “Gestión de riesgo para la infraestructura carretera en México ante el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos extremos” (Centro Mario Molina, 2017)⁵¹, *“actualmente la política de gestión del riesgo está anidada en instituciones de protección civil, mientras que la adaptación al cambio climático se atribuye a instituciones de planeación ambiental, lo cual trae como consecuencia una débil integración de sus políticas, una duplicidad de esfuerzos, una ineficiente administración el riesgo climático y un uso inadecuado de los recursos disponibles; es preciso replantear el actual modelo de gestión de riesgo climático hacia una política con visión integral de gestión”*. Además, es preciso que en ese modelo de gestión se integren los responsables de la planificación, diseño, construcción y mantenimiento y explotación de las redes de carreteras, de manera que se pueda conseguir una verdadera gestión integral de la adaptación del sistema vial a la variabilidad y cambio climático.

Esto es sólo el principio, nos queda un largo camino por recorrer.

Es el momento de promover la creación de fondos de infraestructuras que permitan implementar las medidas de adaptación en proyectos de carreteras y en vías existentes, como complemento a los fondos para atender las emergencias.

CAF – banco de desarrollo de América Latina seguirá apoyando a los países de América Latina y el Caribe en el desarrollo de infraestructura vial que pueda soportar mejor las variaciones del clima, aumentando su resiliencia, con el objetivo de mejorar la eficiencia de las inversiones destinadas a la construcción y mantenimiento de sus redes.

⁵¹ Referencia no disponible.



Rotura en ruta nacional número 3, cercano al Paraje Garayalde, por temporal de lluvia en Argentina.

Fuente: *Secretaría de Obras de Transporte del Ministerio de Transporte de Argentina.*

BIBLIOGRAFÍA

- Adaptation Scotland. (2014). *Communicating Climate Change Adaptation: a Practical Guide to Values-Based Communication*. Edimburgo (Reino Unido).
- Asian Development Bank. (2011). *Guidelines for Climate Proofing Investment in the Transport Sector. Road infrastructure projects*. Manila (Filipinas).
- Asociación Mundial de la Carretera. (2011). *Adaptación al cambio climático para los puentes*.
- Asociación Mundial de la Carretera. (2017). *Adaptación al cambio climático de los puentes de carretera*.
- Autoridad Nacional del Ambiente. (2007). *Política Nacional de Cambio Climático 2007*. Panamá .
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Climate services: a tool for adaptation to climate change in Latin America and the Caribbean*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *El cambio climático y el BID: creación de resiliencia y reducción de emisiones*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Integración de la Gestión de Riesgo de Desastres y la Adaptación al Cambio Climático en la Inversión Pública*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). *Climate change projections in Latin America and the Caribbean. Review of existing regional climate models' output*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial. (2010). *Evaluación de Daños y Pérdidas ocasionadas por los Desastres*. Washington DC.
- Banco Mundial. Práctica Global para Transporte y TIC. Región América Latina y el Caribe. (2016). *Mejorando la confiabilidad de la red vial del Perú*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- CAF - banco de desarrollo de América Latina. (2015). *Consideración del riesgo climático en proyectos de infraestructura financiados por CAF*.
- CAF - banco de desarrollo de América Latina. (2015). *Guía metodológica para el Análisis Preliminar de los riesgos originados por el Cambio Climático y la Variabilidad Climática en proyectos carreteros, hidroeléctricos y de servicios urbanos, de CAF*.
- CAF - banco de desarrollo de América Latina. (2016). *Plan Indicativo para el Fortalecimiento Institucional de la Gestión de Riesgo de Desastres en el sector de la Infraestructura Vial. Hoja de Ruta*. Bogotá.

- CEDEX. Ministerio de Fomento. (2012). *La consideración del cambio climático en la evaluación ambiental de planes y programas - Aplicación al caso de planes y programas de infraestructuras de transporte*. Madrid.
- Centro Mario Molina. (2017). *Gestión de riesgo para la infraestructura carretera en México ante el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos extremos*. Ciudad de México.
- CEPAL. (2011). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Guía Metodológica de Riesgo*. Santiago de Chile.
- CEPAL. Naciones Unidas. (2013). *Manual para la Evaluación de Desastres*. Santiago de Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. (2014). *Procesos de Adaptación al Cambio Climático. Análisis de América Latina*. Santiago (Chile).
- Comité Interministerial sobre Cambio Climático. (2008). *Plan Nacional de Cambio Climático*. Brasilia (Brasil).
- Corporación Andina de Fomento. (2013). *Programa de Adaptación al Cambio Climático*. Corporación Andina de Fomento.
- Corporación Andina de Fomento. (2013). *Programa de Adaptación al Cambio Climático*.
- Corporación Andina de Fomento. (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*.
- Corporación Andina de Fomento. (2014). *Infraestructura para el desarrollo de América Latina (IDEAL). Infraestructura y cambio climático*.
- Corporación Andina de Fomento. (2014). *Relatoría Medidas y Proyectos de Adaptación. Explorando oportunidades de financiamiento*.
- Corporación Andina de Fomento. (2015). *Consideración del riesgo climático en proyectos de infraestructura financiados por CAF*.
- Departamento Nacional de Planeación. (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Bogotá (Colombia).
- Dirección de Carreteras de Dinamarca. (2013). *Strategy for Adaptation to Climate Change*. Copenhagen.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Ginebra (Suiza).
- European Commission. (2013). *Commission Staff Working Document. Adapting infrastructure to climate change*. Bruselas (Bélgica).
- European Commission. (2013). *The EU Strategy on adaptation to climate change*. Bruselas (Bélgica).
- European Committee for Standardization. (2016). *CEN-CENELEC GUIDE 32. Guide for addressing climate change adaptation in standards*. Bruselas: CEN - CENELEC.
- Gobierno de Chile. (2017). *Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022*. Santiago de Chile.

- Gobierno de Dinamarca. (2012). *Action plan for a climate-proof Denmark*. Copenhague.
- Gobierno de Guatemala. (2013). *Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación obligatoria ante los efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero*.
- Gobierno de la República de Honduras. (2014). *Ley de Cambio Climático*. Tegucigalpa (Honduras).
- Gobierno de la República de Honduras. (2015). *Contribución prevista y determinada a nivel nacional*. Tegucigalpa (Honduras).
- Gobierno de la República de Trinidad y Tobago. (2011). *Política Nacional de Cambio Climático*. Trinidad y Tobago.
- Gobierno de Nicaragua. (2010). *Estrategia Nacional Ambiental y del Cambio Climático. Plan de Acción 2010-2015*. Managua (Nicaragua).
- Gobierno de Venezuela. (2015). *Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas de la República Bolivariana de Venezuela para la lucha contra el Cambio Climático y sus efectos*. Caracas (Venezuela).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Ginebra (Suiza).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. (2014). *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Ginebra (Suiza).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*.
- Highways Agency. (2009). *Climate Change Adaptation Strategy and Framework*. Londres.
- HM Government. (2011). *Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Climate Changing*. Londres.
- <http://coral.caribbeanclimate.bz/>. (2017).
- IDEAM, PNUD, MADS,DNP, CANCELLERÍA, FMAM. (2017). *Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar y USAID. (2013). *Manual para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales con enfoque de gestión y adaptación a la variabilidad y el cambio climático*. Ciudad de Guatemala (Guatemala).
- Instituto de Planeación de Jamaica. (2009). *Visión 2030. Plan de Desarrollo Nacional de Jamaica*. Kingston (Jamaica).
- Instituto Mexicano del Transporte. (2016). *Panorama Internacional de la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el cambio climático. Publicación Técnica 488*. Querétaro (México).

- Instituto Mexicano del Transporte. (2017). *El clima y las carreteras en México*. Querétaro.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2017). *Panorama Internacional de la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el cambio climático*. Publicación Técnica 488. Querétaro (México).
- IPCC. (2014). *Anexo II: Glosario*. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra.
- Madrid, M. (2009). *Evaluación de la Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático del Sector Transporte*. Lima (Perú).
- Mendoza J.F, Trejo J.A. (2015). *La adaptación de las carreteras al cambio climático*. Vías Terrestres, 16-20.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Gobierno de Costa Rica. (2014). *Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil*. San José de Costa Rica.
- Ministerio de Agua, Tierra, Ambiente y Cambio Climático. (2013). *Política Marco y Plan de Acción en Cambio Climático*. Kingston (Jamaica).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2016). *República Argentina. Primera Revisión de su Contribución Determinada a Nivel Nacional*. Buenos Aires (Argentina).
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Plan de Acción Inmediata*. Ciudad de Guatemala (Guatemala).
- Ministerio de Economía y Finanzas. Gobierno de Perú. (2007). *Pautas metodológicas para la incorporación del análisis del riesgo de desastre en los Proyectos de Inversión Pública*. Lima.
- Ministerio de Fomento. (2013). *Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España*. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2016). *Estrategia de Infraestructura. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Brasilia (Brasil).
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Síntesis de la Evaluación de Necesidades Tecnológicas y Plan de Acción para la transferencia de tecnologías priorizadas en adaptación al cambio climático*. San Salvador (El Salvador).
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Plan Nacional de Cambio Climático*. San Salvador (El Salvador).
- Ministerio de Medio Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. San José (Costa Rica).
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2016). *Evaluación del impacto de El Niño 2015-2016 en el sector transporte y comunicación*. Asunción (Paraguay).
- Ministerio de Planificación del Desarrollo. (2015). *Plan de Desarrollo Económico y Social en el marco del Desarrollo Integral para Vivir Bien 2016-2020*. La Paz.
- Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Planeación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia*. Bogotá (Colombia).

- Ministerio de Transporte. Ministerio de Ambiente. Instituto Nacional de Vías. Agencia Nacional de Infraestructura. (2015). *La red vial primaria de Colombia frente al cambio climático*. Bogotá (Colombia).
- Ministerio de Transporte. Ministerio de Ambiente. INVIAS. ANI. (2015). *La red vial primaria de Colombia frente al cambio climático*. Bogotá (Colombia).
- Ministerio de Transporte. Ministerio de Ambiente. INVIAS. ANI. (2015). *La red vial primaria de Colombia frente al cambio climático*. Bogotá.
- Ministerio de Transportes. (2014). *Cambio Climático y sector vial en Colombia*. Bogotá (Colombia).
- Ministerio de Transportes. Ministerio de Ciudades. (2013). *Plan Sectorial de Transporte y Movilidad Urbana para la mitigación del Cambio Climático*. Brasilia (Brasil).
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Mapa de vulnerabilidad física del Perú*. Lima (Perú).
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Plan de Acción de Adaptación y Mitigación frente al cambio climático*. Lima (Perú).
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*. Quito (Ecuador).
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático*. Lima (Perú).
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Caracas (Venezuela).
- Ministerio del Ambiente y Energía. Dirección de Cambio Climático. (2014). *Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático*. San José (Costa Rica).
- Ministerio del Ambiente. Oficina Nacional de Cambio Climático. (2015). *Plan Nacional de Cambio Climático. Fase 2: Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Asunción (Paraguay).
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Santiago (Chile).
- Ministerio del Medio Ambiente. Departamento de Cambio Climático. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*. Santiago (Chile).
- Naciones Unidas. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Sendai (Japón).
- Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente. (2006). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Madrid.
- PNUD, COSUDE, COPECO, Gobierno de la República de Honduras. (2013). *Manual para la Evaluación de Riesgo del Emplazamiento y del Medio Construido*. Tegucigalpa.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras. (2013). *Guía para el blindaje de proyectos de inversión pública*. Tegucigalpa.

- Secretaría CCT Foro Técnico COSIPLAN-IIRSA. INTAL - Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe. (2016). *La Gestión de Riesgos de Desastres en COSIPLAN: Metodología y aplicación en infraestructura de Chile y Perú*.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2015). *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Buenos Aires (Argentina).
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008). *Plan de Acción Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Santo Domingo (República Dominicana).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de la República. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*. Ciudad de México (México).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de la República. (2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. Ciudad de México (México).
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2016). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático*. Ciudad de Guatemala (Guatemala).
- Secretaría de Planificación y Programación. Gobierno de Guatemala. (2013). *Análisis de Gestión del Riesgo en Proyectos de Inversión Pública*. Ciudad de Guatemala.
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (2010). *Estrategia Nacional de Cambio Climático Honduras*. Tegucigalpa (Honduras).
- Secretaría del Ambiente. (2011). *Política Nacional de Cambio Climático*. Asunción (Paraguay).
- Secretaría del Ambiente. (2014). *Plan Nacional de Cambio Climático. Fase 1: Estrategia de Mitigación*. Asunción. Paraguay.
- Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos. Gobierno de Ecuador. *Guía para la incorporación de la Variable Riesgo en la Gestión Integral de Nuevos Proyectos de Infraestructura*. Quito: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y la Variabilidad. (2010). *Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático. Diagnóstico y lineamientos estratégicos*. Montevideo (Uruguay).
- Subsecretaría de Infraestructura. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2013). *Guía para la atención de emergencias en carreteras y puentes*. Ciudad de México (México).
- The World Bank. (2015). • *Disaster Risk Management in the Transport Sector. A review of concepts and international case studies*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- Transportation Research Board. (2008). *The Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation*. Washington D.C.
- Transportation Research Board. (2016). *Transportation Resilience Adaptation to Climate Change and Extreme Weather Events*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- Transportation Research Board. (2016). *Transportation Resilience Adaptation to Climate Change and Extreme Weather Events*. Washington D.C.

- UNASUR. COSIPLAN. (2014). *Gestión de riesgo de desastres en la infraestructura de integración de COSIPLAN/IIRSA*.
- United Nations. (2015). *Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- United Nations Environment Programme. (2016). *The Adaptation Finance Gap Report 2016*. Nairobi (Kenia).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2012). *National Adaptation Plans. Technical guidelines for the national adaptation plan process*. Bonn (Alemania).
- United Nations Institute for Training and Research. (2015). *Skills Assessment for National Adaptation Planning*. Ginebra (Suiza).
- United States Department of Transportation. Federal Highway Administration. (2015). *Climate Change Adaptation Guide for Transportation Systems, Management, Operations and Maintenance*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- United States Department of Transportation. (2014). *Climate Adaptation Plan. Ensuring Transportation Infrastructure and System Resilience*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- USAID. (2013). *Medidas para abordar el impacto del cambio climático en la infraestructura*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- USAID. (2013). *Medidas para abordar el impacto del cambio climático en la infraestructura*. Washington D.C.
- USAID. (2015). *USAID Climate Change and Development Strategy*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- USAID. (2015). *USAID Climate Change and Development Strategy*. Washington D.C. .
- World Bank. (2013). *Incorporating Disaster Risk Management in the transport sector in Brazil*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- World Bank Group. (2015). *Moving Toward Climate-Resilient Transport. The World Bank's Experience from Building Adaptation into Programs*. Washington D.C. (Estados Unidos de América).
- World Bank Group. (2015). *Moving Toward Climate-Resilient Transport. The World Bank's Experience from Building Adaptation into Programs*. Washington.
- World Bank Group. (2016). *Climate Change Action Plan 2016-2020*. Washington.
- World Bank Group. (2017). *Integrating Climate Change into Road Asset Management*. Washington.
- World Road Association . (2016). *Transport Strategies for Climate Change Mitigation and Adaptation*.
- World Road Association. (2012). *Dealing with the effects of climate change on road pavements*.
- World Road Association. (2015). *International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure*.

GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS
PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS
CARRETERAS AL CLIMA



ANEXOS

CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE DE LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Previamente a la realización de la Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima, se desarrolló un estudio del estado del arte en la Región de América Latina y el Caribe, extrayendo las siguientes conclusiones:

✓ **Preocupación mundial por la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos.**

Existen numerosas referencias a políticas nacionales de adaptación al cambio climático; la mayor parte de los países desarrollados disponen de estrategias documentadas que hacen referencia a los riesgos, vulnerabilidades y prioridades de acción. Sin embargo, las referencias a la adaptación de las infraestructuras de carreteras no son tan frecuentes; existen algunos ejemplos, pero una buena parte de los países consideran otros sectores prioritarios como la agricultura, la gestión de los bosques, la industria, u otros sectores.

✓ **Diferentes necesidades en relación a la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos.**

El impacto del cambio climático en la Región de América Latina y el Caribe es muy significativo, en términos de costos humanos y costos materiales; en otras regiones del mundo, como es el caso de los países europeos, los fenómenos meteorológicos extremos se producen en pocas ocasiones, por lo que, si bien es necesario adelantarse a los problemas futuros, no se trata de un aspecto prioritario en la gestión viaria actualmente. Algunos países ya están desarrollando normativas, adaptando estándares o incorporando criterios de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos a los manuales de carreteras, con vistas a un aumento de la frecuencia de estos fenómenos, como muestran las previsiones.

✓ **Dificultades para replicar experiencias en otros entornos geográficos.**

De las experiencias mundiales que se han documentado, la práctica totalidad son referencias que se van a considerar como punto de partida en el desarrollo de las fases subsiguientes del proyecto. Es preciso destacar, en este punto, que la aplicación de estrategias o marcos de trabajo existentes en otros países a la realidad de los países de América Latina y el Caribe puede ser útil, ya que proporciona una Guía paso a paso para avanzar en el análisis de la situación actual y en la búsqueda de soluciones. Sin embargo, la aplicación de herramientas ya desarrolladas (como es el caso de INFRARISK, por ejemplo), no es inmediata, dado que se requiere

numerosa información meteorológica, tanto de series históricas como de previsiones futuras, así como de inventarios de carreteras, que no siempre está disponible. La disponibilidad de información debería ser uno de los puntos prioritarios para las políticas nacionales de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos.

✓ **Fuerte actividad en la Región por parte de entidades multilaterales e internacionales.**

El cambio climático es un ámbito de trabajo fundamental en la Región de América Latina y el Caribe; se están realizando muchos esfuerzos y poniendo en marcha multitud de iniciativas orientadas a luchar contra los efectos del cambio climático.

✓ **Múltiples referencias documentales.**

Existen numerosos documentos, planes, guías e informes sobre este tema en la Región, desarrollados por organismos internacionales y nacionales, gobiernos, universidades o centros de investigación. Todos ellos incorporan información de interés que se debe tener en cuenta en el desarrollo de las fases del proyecto que se está llevando a cabo con CAF.

✓ **Desarrollos legislativos en materia de cambio climático.**

Es importante destacar el impulso legislativo que se ha dado en algunos países a la lucha contra el cambio climático. Siete de los veintidós países analizados ya disponen de una ley de cambio climático (de manera exclusiva o con otros desarrollos legislativos), mientras que otros dos la están desarrollando. Se trata de un indicador de la preocupación institucional, política y social sobre este tema.

✓ **Heterogeneidad en cuanto a la existencia de programas, políticas y planes de acción/adaptación a la variabilidad y cambio climáticos.**

La mayor parte de los países analizados han puesto en marcha alguna política o programa de actuación para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos. Sin embargo, ocho de ellos no disponen de verdaderos planes, que supongan una garantía para su desarrollo, por la existencia de objetivos claros, acciones concretas, plazos para su puesta en marcha, indicadores y otros elementos claves.

✓ **Mayor relevancia de la mitigación respecto a la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos.**

Si se analizan los programas de los países, se puede ver que existe una mayor actividad en la mitigación de los efectos del cambio climático que en la adaptación a sus efectos. Esto es particularmente relevante en materia de infraestructura, donde es necesario trabajar desde una perspectiva combinada en los dos ámbitos.

✓ **El transporte y la infraestructura no siempre se consideran sectores prioritarios.**

Con relativa frecuencia, ocurre que el transporte y las infraestructuras no aparecen como sectores prioritarios, ya que se da más relevancia al sector de la salud, a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad o el bienestar de la población. Sería necesario considerar cómo la mejora de la resiliencia de las infraestructuras viarias es un elemento transversal para coadyuvar en el bienestar de la población, facilitar servicios de salud y otros requisitos básicos.

✓ **Escasa actividad de planificación en cuanto a la adaptación de carreteras a la variabilidad y cambio climáticos.**

Son muy pocos los países que han desarrollado iniciativas específicas de planificación de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos. Entre ellas, cabe destacar la iniciativa de Colombia, con la publicación del Plan Vías – CC: vías compatibles con el clima. Se espera que el reto que supone su implantación suponga un estímulo para otros países de la Región.

✓ **Necesidad de una mayor implicación de las administraciones de carreteras.**

Salvo algunas excepciones, es frecuente en los países de la Región que los titulares de las carreteras no estén involucrados en la definición de políticas de cambio climático. Es cierto que existen comités interministeriales donde participan los responsables de las carreteras, pero se echa en falta la institucionalización de la lucha contra el cambio climático desde su perspectiva, que debería materializarse en la creación de unidades específicas (es el caso de El Salvador, por ejemplo) o de planes focalizados en la adaptación de las carreteras al cambio climático (como es el caso de Colombia).

✓ **Necesidad de profundizar en el conocimiento del impacto del cambio climático en las infraestructuras viales y sus implicaciones.**

Falta información acerca de la implicación de no actuar en el ámbito de la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos. Sería necesario avanzar en la identificación de las amenazas y en el análisis de los riesgos asociados, así como en los impactos económicos derivados (no sólo en el sector de las infraestructuras, sino en otros sectores afectados), análisis de los posibles alternativas de actuación, valoración de la rentabilidad de las actuaciones (incluyendo el costo de no actuar) y posibilidades de financiación.

ANEXO 2

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE PROSPECCIÓN AL SECTOR PÚBLICO

Complementariamente al análisis del estado del arte cuyas conclusiones se han incluido en el Anexo 1, se realizó un estudio de prospección al sector público con el objetivo principal de recopilar información sobre políticas y planes existentes en el ámbito de la adaptación de las carreteras al clima, así como medidas específicas y resultados disponibles sobre su eficacia, dificultades de implantación, rango presupuestario, mecanismos de financiación, etc.

El cuestionario fue distribuido entre numerosas entidades públicas del sector viario y medioambiental que, de una u otra manera, están implicadas en la adaptación de las carreteras al clima. Las respuestas recibidas fueron analizadas y sus resultados y conclusiones se presentan a continuación.

Dificultades para conseguir información sobre adaptación de las carreteras al cambio climático.

De las 67 entidades públicas contactadas, 23 cumplimentaron la encuesta, lo que supone una tasa de respuesta cercana al 34%. Las conclusiones de esta encuesta se deben considerar teniendo en cuenta la limitación de la muestra, que compromete la fiabilidad de los resultados.

Se encuentran representados 19 países a través de distintas instituciones públicas relacionadas principalmente con el sector viario o del medio ambiente:

Argentina	El Salvador	Paraguay
Bolivia	Guatemala	Perú
Brasil	Honduras	República Dominicana
Chile	Jamaica	Trinidad y Tobago
Costa Rica	México	Uruguay
Colombia	Nicaragua	
Ecuador	Panamá	

El escaso número de encuestas recopiladas por país y el hecho de que existan respuestas no coincidentes en un mismo país, cuando ha participado más de una entidad en la encuesta, hace que sea complicado extraer conclusiones sobre el estado en el que se encuentra cada país en relación a la adaptación de sus carreteras al cambio climático.

Mayor predisposición a participar por parte de las autoridades de carreteras.

En las respuestas conseguidas hay una mayor presencia de autoridades de carreteras, obras públicas o transportes que de entidades relacionadas con el medio ambiente o el cambio climático (15 frente a 6); destaca positivamente la participación de dos entidades que involucran simultáneamente a autoridades de cambio climático y carreteras (en República Dominicana y El Salvador).

Limitaciones de coordinación entre diferentes autoridades de los Gobiernos de los países.

En el caso de países de los que se han recibido varias respuestas a escala nacional, como es el caso de México, República Dominicana, Perú y Colombia, se han detectado incoherencias respecto a las respuestas a determinadas preguntas, lo que revela una cierta falta de coordinación por parte de algunas instituciones públicas (generalmente entre los responsables de fuentes de medio ambiente o cambio climático y de carreteras). Esta situación se produce también en Argentina y Uruguay, si bien se trata de respuestas relativas a escenarios diferentes, ya que se han recibido respuestas a escala nacional y municipal.

Heterogeneidad en cuanto al nivel de preparación para hacer frente al cambio climático desde el ámbito vario.

Según el resultado de la encuesta, de los 14 países consultados cuatro de ellos cuentan con un protocolo de emergencias ante desastres naturales causados por el cambio climático: Chile, El Salvador, Panamá y Trinidad y Tobago. En el caso de México, República Dominicana y Perú existen discrepancias entre sus encuestados. Solo un tercio de los encuestados aseguran que en sus países existen mapas de riesgo sobre la vulnerabilidad de las carreteras frente a los efectos del cambio climático.

La mayoría de las entidades (16/23) afirmó contar con una adecuada red de recogida de información climatológica.

Únicamente Colombia, Brasil y El Salvador disponen de estrategia global de adaptación de carreteras al cambio climático.

La concienciación y capacitación, la gestión de emergencias, la construcción de nuevas infraestructuras y la adaptación de infraestructuras existentes son las medidas que se han implantado con más frecuencia en los países, en opinión de los encuestados.

Reconocimiento del reto de adaptar las carreteras al cambio climático.

A juzgar por las respuestas recibidas, Colombia, Chile y El Salvador son los países más preparados respecto a la adaptación de las carreteras al cambio climático,

puesto que cuentan con una estrategia y ya están aplicando la mayoría de las medidas que se planteaban en el cuestionario.

La “Mejora en la recogida de datos e investigación” y la “Elaboración de una Estrategia de Adaptación de las Carreteras al Cambio Climático” son las medidas que más países consideran que deberían ser adoptada con mayor urgencia.

La escasez o ausencia de datos (15/23) y una financiación (15/23) son, a juicio de los encuestados, los principales obstáculos que impiden la adopción de una estrategia.

Necesidad de una mayor transferencia de información y establecimiento de contactos en la Región.

Se detectan carencias en el conocimiento sobre las fuentes de financiamiento de iniciativas relacionadas con el cambio climático. Por otro lado, es destacable el significativo número de encuestados (7/23) que desconocía la existencia de todas las fuentes de financiación referidas.

ANEXO 3

GLOSARIO

Figuran en este apartado, en orden alfabético, los conceptos utilizados con más frecuencia en materia de cambio climático; de cara a facilitar su aplicación al ámbito viario, se ha incluido una explicación de la consideración de cada concepto en el contexto específico de esta Guía.

Adaptación.

Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos (IPCC, 2014)⁵².



Para esta Guía, se considera cualquier proceso que permita reducir la vulnerabilidad del sistema viario ante los efectos del cambio climático.

Amenaza.

Fenómeno, sustancia, actividad humana o condición que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, 2009)⁵³.



Para esta Guía, se consideran las amenazas climáticas con mayor impacto en carreteras: lluvia, viento, variaciones de temperatura y crecidas del nivel del mar.

Cambio climático.

Variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que

⁵² https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁵³ https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2014)⁵⁴.



Para esta Guía, se asume que el cambio climático afectara negativamente, en la mayor parte de los casos, a la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas viales en el presente y futuro.

Clima.

Se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. El período promedio habitual es de 30 años, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado, incluida una descripción estadística, del sistema climático (IPCC, 2014)⁵⁵.



Para esta Guía, se considera el clima como los parámetros meteorológicos habituales que se han considerado tradicionalmente para los cálculos relacionados con el diseño viario, sin considerar las previsiones de cambio climático.

Exposición.

La presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o

⁵⁴ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁵⁵ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente (IPCC, 2014)⁵⁶.



Para esta Guía, hace referencia a los atributos propios de la vía (valor patrimonial de la red, funcionalidad), de sus usuarios (nivel de tráfico, presencia de vehículos pesados) y del entorno (poblaciones abastecidas, servicios a los que da acceso).

Gestión de riesgos.

Planes, medidas o políticas aplicados para reducir la probabilidad o las consecuencias de los riesgos o para responder a sus consecuencias (IPCC, 2014)⁵⁷.



Para esta Guía, se considera el concepto genérico de gestión del riesgo de desastre, ya que cualquier actuación que se realice debe hacerse de manera coordinada entre todos los implicados.

Resiliencia.

Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (IPCC, 2014)⁵⁸.



Para esta Guía, hace referencia a la capacidad de adaptación de los sistemas viales a un entorno climático cambiante.

Riesgo.

Consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo

⁵⁶ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁵⁷ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁵⁸ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

se representa como la probabilidad de acaecimiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias (IPCC, 2014)⁵⁹.



Para esta Guía, se considera el riesgo como la interacción entre vulnerabilidad y amenaza, en los términos anteriormente definidos.

Variabilidad del clima.

Denota las variaciones en el estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2014)⁶⁰.



Para esta Guía, se considera el concepto de variabilidad del clima genérico.

Vulnerabilidad.

Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014)⁶¹.



Para esta Guía, hace referencia a la situación del sistema vial para resultar afectado por los fenómenos que conlleva el cambio climático.

⁵⁹ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁶⁰ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

⁶¹ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.p

