El manejo de aguas para el sector vial y la vida humana

Mónica López
Banco de Desarrollo de América Latina, CAF

Carretera Monteagudo-Muyupampa (Bolivia), impacto por fuertes lluvias en marzo de 2018.
CORTESÍA CAF

Introducción

En el sector del transporte, las acciones relacionadas con la gestión de riesgos de desastres y las medidas de mitigación y adaptación al clima cobran atención creciente a nivel internacional; específicamente en el sector vial, en los últimos años se han identificado eventos climáticos América Latina y El Caribe que están impactando 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 elevados impactos en las carreteras de algunos países. Solo en Colombia las pérdidas en la ola invernal 2010-2011 representaron el 2% del PIB.

La adaptación de las carreteras al cambio climático 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 aumentar 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.

Entre las experiencias destacadas en los países de la Región en esta materia merece la pena señalar dos acciones llevadas a cabo en Colombia:

- Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de adaptación de la red vial primaria.
- Estudio de riesgo climático para la red vial primaria de Colombia, de nivel nacional.

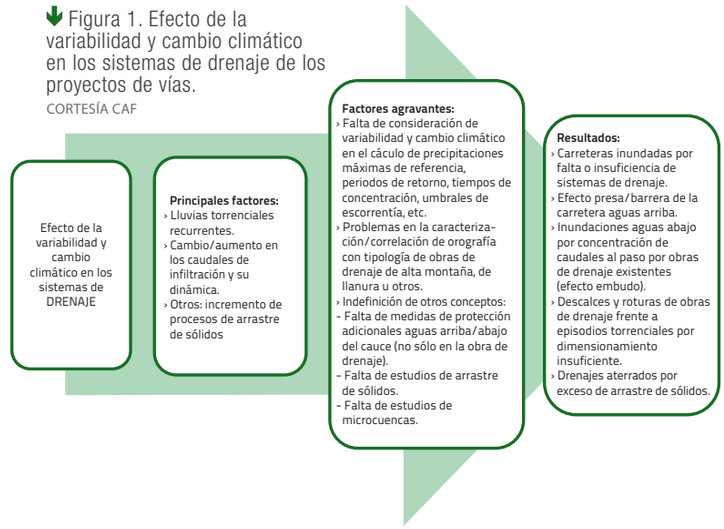
El cambio climático y el diseño del drenaje vial

Siempre ha existido relación estrecha entre el clima y la infraestructura vial; sin embargo, los cambios acelerados que se están produciendo hacen insuficientes los datos climáticos históricos que se utilizan en la actualidad para gestionar adecuadamente la infraestructura. Esta realidad pone de manifiesto que, si la planificación y el diseño de las carreteras siguen realizándose ateniendo tan solo las prácticas habituales de ingeniería en la región y los datos históricos existentes, es muy probable que sea imposible responder a los eventos climáticos de los últimos años y que, previsiblemente, se repetirán en el futuro. En consecuencia, podría llegar a ponerse en duda la sostenibilidad de la infraestructura y la eficiencia económica de las inversiones.

Ante la vida útil prevista para las carreteras, que puede superar los 50 años, las vías son sensibles al clima no solo durante su construcción, sino también a las variaciones climáticas décadas después. Para aumentar la resiliencia de las carreteras de nueva construcción y de la red vial en servicio debería gestionarse adecuadamente el impacto del clima sobre ellas a lo largo de su vida útil. De ahí que los nuevos proyectos de carreteras deban planificarse, diseñarse, construirse y mantenerse teniendo en cuenta los datos históricos, los condicionantes del clima actual y las previsiones de meteorología estimadas hasta el final de la vida útil de la infraestructura. 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 también 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.

Así vemos que la variación de las precipitaciones originadas por la variabilidad y cambio climático en los proyectos de carreteras se traduce en mayor dispersión de las temporadas de lluvia y en episodios de mayor precipitación en periodos más cortos (duración de la tormenta). Estos escenarios requieren una serie de consideraciones en el diseño de los proyectos, así como un conjunto de medidas durante el periodo de construcción y una corrección de los protocolos de actuación durante la operación.

Figura 1. Efecto de la variabilidad y cambio climático en los sistemas de drenaje de los proyectos de vías.
CORTESÍA CAF



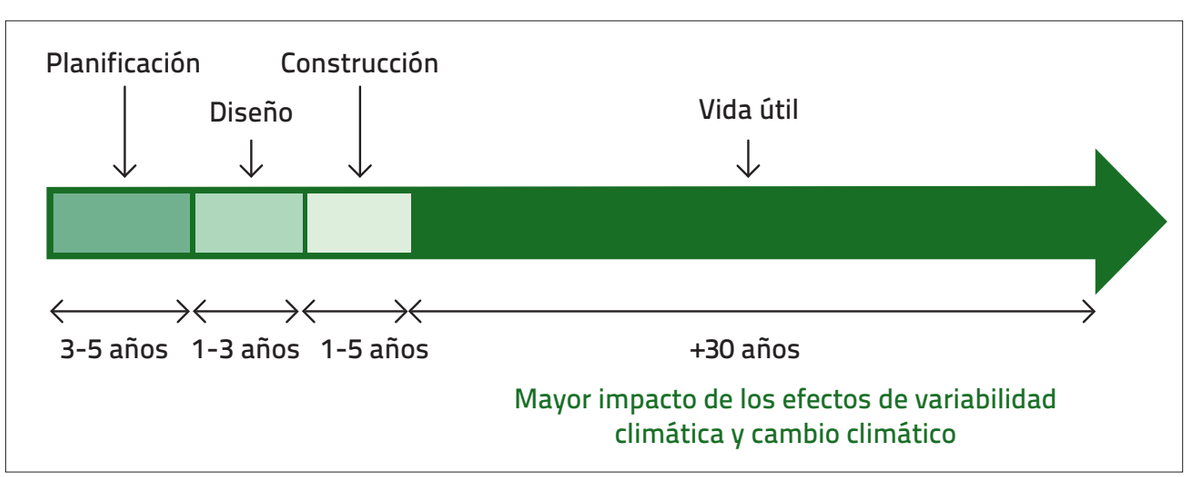
Durante la fase de diseño se recomienda elaborar estadísticas y previsiones actualizadas de las precipitaciones y, a partir de ellas, seleccionar con acierto los periodos de retorno, duración de la tormenta y tiempos de concentración, que permitan asegurar que los caudales de diseño en las obras de drenaje tienen dimensionamiento adecuado, suficiente para episodios de lluvia excepcionales.

Ante estos fenómenos climáticos excepcionales hay que considerar, además, que los caudales pico se acompañan de arrastres de material que se sedimenta en tramos de menor velocidad del flujo hidráulico o que pueden quedar retenidos ante un dimensionamiento insuficiente del drenaje, obturando el sistema de desagüe. 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 tenerse en cuenta en los protocolos de mantenimiento.

En la fase de ejecución de obra es necesario considerar que las dispersiones cada vez mayores de los periodos húmedos pueden llevar a considerar necesarias las medidas de protección frente a lluvias extremas durante la construcción, a que se postergue la ejecución de determinados elementos (cunetas de protección de cortes y rellenos)

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Figura 2. Variabilidad y cambio climático en el contexto de la vida útil de una infraestructura de transporte.
CORTESÍA BANCO MUNDIAL 2015



o, incluso, a omitir su ejecución al finalizar los trabajos. Además, aquellos factores climáticos que no se han manifestado durante la fase de diseño (por ejemplo, las aguas intersticiales que puedan no ser detectadas en periodos de lluvia escasa), pueden aparecer repentinamente durante la construcción, o de manera recurrente durante la fase de operación de la carretera.

Durante la operación y mantenimiento, la variabilidad climática es más acentuada por la duración de este periodo. Por ello la labor de vigilancia y control debe ser, si cabe, mayor que en etapas anteriores. En este caso no hay que olvidar los posibles aterramientos de cunetas, canales y conducciones, así como la alteración de las condiciones de 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 medios que estén al alcance del gestor de la infraestructura, lo cual requiere, como en el resto de los casos, previo estudio y diseño detallados.

¿Cómo incorporar los criterios de cambio climático para mejorar los diseños?

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 climático, o exacerbados por él, será considerada como medida de adaptación de las vías al clima; estas acciones pueden ser: medidas físicas (como la reconstrucción de los sistemas de drenaje teniendo en cuenta las previsiones de variabilidad y cambio climático), medidas de tipo organizativo (que pueden ser mejoras 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 Transporte o de Obras Públicas que gestione los programas de adaptación de la red vial al cambio climático).

Si nos centramos únicamente en lo relativo al diseño de los proyectos, dos de los aspectos a considerar serían:

- Identificación de los espacios de mejora en la normativa actual
- Aplicación de buenas prácticas internacionales que, sin ser obligatorias, son recomendables para que la infraestructura responda mejor ante eventos climáticos adversos.

A continuación se describen algunos aspectos revisables.

Marco normativo relativo a los temas hidrológicos

a. **Toma de datos históricos pluviométricos:** los manuales y normativas analizados disponen de poca información en cuanto a los métodos para obtener bases de datos climáticos fiables y actualizados. Sin datos principales de partida adecuados se incurrirá en indefiniciones a la hora de diseñar elementos de infraestructuras viales de forma recurrente:
   - Por lo general, los datos se toman directamente de las instituciones encargadas de generar información hidrometeorológica actualizada; es recomendable que los manuales incluyan la indicación expresa de las fuentes correctas para su obtención.
   - Al respecto, en casos determinados los manuales analizados remiten a los servicios de meteorología del país, reconociendo la escasez o la carencia de bases de datos completas.
   - En otros casos se incluyen tablas con registros pluviométricos hasta la fecha de edición del manual que son, por lo tanto, desactualizados.

b. **Efecto de la variabilidad y el cambio climático:** el punto anterior se agrava porque los manuales no tienen referencias a los cambios causados por fenómenos como El Niño y La Niña. La planificación y el diseño de las carreteras no pueden seguir realizándose con base exclusiva en las prácticas habituales de ingeniería y en los datos históricos disponibles. En este contexto, los métodos de obtención de precipitaciones máximas deben ser adaptables a nuevos rangos (nuevos picos de precipitaciones excepcionales, intensidades, tiempos de tormentas, entre otros). Estos cambios de variables deben ser considerados e incorporados de manera ágil y sistemática en los cálculos de partida.

c. **Mapas/datos particularizados:** sobre los demás datos hidrológicos fundamentales, en los manuales se ha observado 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, están desactualizados. Estos mapas pueden elaborarse para cada proyecto en particular, y son preferibles los mapas detallados a los mapas nacionales. No obstante, es importante disponer en los manuales de mapas y datos globales que sirvan como punto de partida y de contraste con los estudios particulares de detalle.

d. **Microcuencas:** en general, en los manuales no se diferencian ni se caracterizan cuencas y microcuencas, ni se distinguen las metodologías de cálculo y las medidas a tomar para cada caso, aunque hay excepciones en que sí se consideran microcuencas como elemento diferenciador; es posible 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).

e. **Periodos de retorno:** en la mayoría de las normativas, los periodos 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).

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

- Hay que revisar estos máximos a fin de asumir nuevos estándares de riesgo a lo largo de la vida útil. De hecho, en la actualidad se introducen cambios en países como Nicaragua o México.
- Se recomienda evitar el empleo sistemático de datos de tablas fijas de periodos de retorno, que tienden a enfocar el dimensionamiento con rigidez excesiva. Es preferible realizar valoraciones particularizadas para cada proyecto e infraestructura; en este contexto, son eficaces los estudios preliminares que evalúan los posibles daños por un infra-dimensionamiento del caudal de la cuenca, para la determinación –tras un análisis costo-beneficio– del periodo de retorno seleccionable. De este modo se alcanza un equilibrio entre mayores costos de inversión (por mayor sobredimensionamiento y/o sobre-equipamiento 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 costos por reparaciones sistemáticas y pérdida de niveles de servicio para la economía).
- Es imprescindible que estén actualizadas las bases de datos sobre las cuales se aplican los cálculos para determinar el caudal del periodo de retorno seleccionado. 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 fenómenos excepcionales.

f. **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, en fórmulas americanas como Kirpich, California Culverts, Izzard o utilizan normas españolas basadas en parámetros geométricos, características del terreno y vegetación existente, que tienen validez para los 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 determinación del tiempo de concentración, que sirvan de contraste y verificación de los resultados obtenidos y su grado de precisión.

Marco normativo relativo al dimensionamiento del drenaje

1. **Drenaje transversal:** por lo general, 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, debe hacerse hincapié en las siguientes necesidades, que no siempre quedan completamente cubiertas por normas y recomendaciones:

- Estos métodos se apoyan en datos de caudales de diseño obtenidos en la fase de hidrología, por lo que se trasmiten a este punto las objeciones ya descritas en cuanto a previsibles infra-dimensionamientos en el método por no considerar caudales pico excepcionales, torrencialidad u otros factores importantes. Para que los caudales de diseño tengan en consideración la variabilidad y cambio climático, será necesario que estén actualizadas las series meteorológicas empleadas en el cálculo. Asimismo, el proyectista deberá evaluar si los periodos de retorno que se toman, refleja en los resultados los últimos episodios excepcionales. En caso contrario, se debe evaluar la ampliación de los periodos de retorno o la duración de las tormentas y tiempos de concentración a considerar, para que los caudales pico reflejen estos sucesos extraordinarios. Con base en este criterio es posible realizar una evaluación del daño eventual y que, valorado adecuadamente, puede servir para elevar los periodos de retorno a considerar en el cálculo del caudal máximo.
- Es necesario introducir 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 –con base en criterios objetivos de cálculo de arrastres– medidas específicas para el control de sedimentos y arrastre de material. Al respecto es importante que el dimensionamiento de obras de drenaje transversal contemple sistemas de protección, presas de retención de sedimentos aguas arriba, areneros y cuencos decantadores, en aquellos elementos que puedan necesitarlos.
- Los controles de entrada/salida 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 disponen de métodos de cálculo de cunetas y su comprobación hidráulica.

- No obstante, se establecen cálculos para cunetas de manera aislada y no englobadas 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.
- Debe hacerse hincapié en las recomendaciones de emplear o no revestimiento de cunetas, bajantes y otros elementos; estos condicionantes inciden 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 adecuadas a cada tipo de cauce:** los manuales resultan, a veces, excesivamente teóricos

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

o tecnificados en cuanto a los métodos de dimensionamiento y de comprobación hidráulica; pero no hay consideraciones ni recomendaciones previas cualitativas 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:** igualmente, los criterios de diseño de estas normativas resultan 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 periodos de explotación puede acarrear consecuencias no deseadas en la conservación de las vías. Como medidas adicionales en estos periodos puede ser recomendable incorporar, cuando se justifique, 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), que mitigan 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).

Conclusiones

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

- Históricamente, el diseño de carreteras 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 climático actual exigen modificar 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 su importancia , garantizando la accesibilidad.
- Como complemento al punto anterior, debe hacerse hincapié en el concepto de redundancia, entendido como la disponibilidad de alternativas en el caso de que determinado itinerario clave no esté disponible, de manera que en casos de emergencia se pueda apelar a otras opciones, accediendo a vías de otra jerarquía y prestaciones, con lo cual se evita aislar las regiones. La 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, en consecuencia, de la población afectada. El criterio de redundancia debería extenderse a la totalidad de la red, a fin de evitar que la población rural en zonas de menor accesibilidad 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 mayor tiempo de viaje o menor calidad de servicio– asegurando la accesibilidad de la zona.

Pero esto es sólo el principio, pues queda un largo camino por recorrer en materia de adaptación. La carretera no es solo la infraestructura que vertebra los territorios y genera cohesión social, sino la plataforma física sobre la que se apoyan sectores productivos tan importantes como la logística, el turismo y la agroindustria. De ahí la importancia de contar con redes viales competitivas y fiables durante todo el año.

Fuente

Artículo extraído de Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima, publicada por CAF- Banco de Desarrollo de América Latina. http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1221.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN