

# ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS PUENTES DE CARRETERA

Comité técnico 4.3 *Puentes de carretera*  
Asociación mundial de la Carretera

# **SOBRE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA**

*La Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR) es una organización sin fines de lucro establecida en 1909 para mejorar la cooperación internacional y fomentar el progreso en el ámbito de las carreteras y el transporte por carretera.*

*El estudio objeto del presente informe se definió en el Plan Estratégico de la AIPCR de 2012-2015 aprobado por el Consejo de la Asociación Mundial de la Carretera, integrado por representantes de los gobiernos nacionales miembros. Los miembros del Comité Técnico responsable de este informe fueron nominados por los gobiernos nacionales miembros debido a sus competencias especiales.*

*Las opiniones, resultados, conclusiones y recomendaciones expresadas en esta publicación son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de sus entidades o agencias matrices.*

*Este informe está disponible en la página web de la Asociación Mundial de la Carretera: <http://www.piarc.org>*

*Copyright por la Asociación Mundial de la Carretera. Todos los derechos reservados.*

*Asociación mundial de la Carretera (PIARC)*

*Tour Pascal B, 19<sup>e</sup> étage*

*92055 La Défense CEDEX, FRANCE*

*Número Internacional Normalizado para Libros (ISBN): 978-2-84060-468-6*

*Portada © Comité Técnico 4.3 Puentes de carretera*

# **ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS PUENTES DE CARRETERA**

Comité técnico 4.3 *Puentes de carretera*  
Asociación mundial de la Carretera

## AUTORES Y AGRADECIMIENTOS

Este informe ha sido preparado por el grupo de trabajo 1 de la Comisión técnica (TC) 4.3 *Puentes de carretera* de la Asociación Mundial de la Carretera.

Las personas que han contribuido a la preparación de este informe eran:

- Sr. Børre STENSVOLD (Noruega),
- Sr. Laurent LLOP (Francia),
- Sr. Heungbae GIL (Corea del sur),
- Sr. Eduardo CASTELLI (Argentina).

Los editores de este informe eran:

- Sr. Heungbae GIL (Corea del sur) para la versión en inglés,
- Sr. Laurent LLOP (Francia) para la versión en francés.

La traducción al francés de la versión original fue elaborada por el Sr. Thierry KRETZ (Francia). Y traducción al español de la versión original fue elaborada por el Sr. Álvaro NAVAREÑO ROJO (España) y el Sr. Rubén FRIAS ALDARACA (México).

El Sr. Børre STENSVOLD (Noruega) como líder del grupo de trabajo 1 fue el responsable dentro del Comité Técnico del control de calidad en la elaboración de este informe.

El Comité técnico fue presidido por el Sr. Satoshi KASHIMA (Japón) y el Sr. Dimitris KONSTANTINIDIS (Grecia), Sr. Louis Marie BELANGER (Canadá) y el Sr. Pablo DÍAZ SIMAL (España) eran, respectivamente, los secretarios de habla inglés, francés e hispana.



## ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS PUENTES DE CARRETERA

El cambio climático se ha convertido en un tema de preocupación mundial y es por esta razón que la AIPCR lo ha incorporado en los temas estratégicos y los comités técnicos para el periodo 2012-2015. Como parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, se están liberando niveles cada vez más altos de dióxido de carbono, resultando en calor siendo atrapado en la atmósfera, que con el tiempo conlleva un aumento de la temperatura del aire en la tierra. La subida de la temperatura acabará afectando los océanos, provocando un aumento del volumen del agua de mar y, por tanto, la subida del nivel del mar. En ciertas partes del mundo ya existen evidencias de condiciones climáticas extremas dando lugar a eventos como sequías, lluvias intensas, inundaciones, tifones y tormentas violentas, además de deslizamientos de tierras, desprendimientos de rocas, riadas de barro, avalanchas y derretimiento de los glaciares. Por otra parte, también está aumentando la frecuencia con la que se producen algunos de estos fenómenos.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha publicado una serie de Informes de Evaluación (IE) sobre el cambio climático [1,2]. Estos informes tratan principalmente sobre los aspectos socio-económicos del cambio climático y sus implicaciones para el desarrollo sostenible, y se menciona un cierto número de fenómenos de cambio climático. En cuanto a puentes de carretera, son temas de interés los cambios de temperatura que provocan expansión y contracción de la superestructura del puente, la frecuencia e intensidad de las precipitaciones (cuyo aumento puede causar grandes inundaciones), y la subida del nivel del mar.

Durante el último periodo del Comité técnico, trece países o estados de los cinco continentes participaron en un estudio sobre el cambio climático y su impacto en puentes de carretera. En general, muchos países están experimentando fenómenos naturales extremos que causan pérdida de vidas y pérdida o daños a la infraestructura. Sin embargo, cabe destacar que la mayoría de los países no pueden afirmar con certeza que estos acontecimientos sean el resultado del cambio climático. Los efectos del cambio climático en puentes de carretera, por lo tanto, no están claros en la actualidad.

Como posible trabajo futuro, el Comité recomienda estudiar las precauciones tomadas por diferentes países en la planificación y las fases de implementación de proyectos con el fin de limitar el efecto del cambio climático, particularmente en relación con el diseño, la construcción y el mantenimiento de puentes.



**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INFORME DEL COMITÉ TÉCNICO D.3 ANTERIOR .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INFORMES DEL GRUPO DE TRABAJO DEL IPCC .....</b>	<b>7</b>
3.1. FENÓMENOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	7
3.2. IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL.....	9
<b>4. OTROS INFORMES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO .....</b>	<b>11</b>
4.1. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TRANSPORTE: UN ENFOQUE EN LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE VIARIO Y FERROVIARIO (CENTRO DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA DE LA COMISIÓN EUROPEA) .....	11
4.2. EL MARCO DE EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VULNERABILIDAD FRENTE A METEOROLOGÍA EXTREMA DE LA FHWA .....	11
<b>5. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>13</b>





## 1. INTRODUCCIÓN

El IPCC, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, define el cambio climático como sigue:

Una variación en el estado del clima que pueda ser identificado por los cambios en la media o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, normalmente décadas o más.

Es previsible que el cambio climático tenga efectos sustanciales en los entornos físicos naturales, así como sobre los ecosistemas y los sistemas humanos. Como cambios observados o proyectados en los extremos de la meteorología y el clima, se mencionan el aumento sustancial en los máximos de la temperatura, el aumento de la frecuencia de fuertes precipitaciones, el incremento del nivel medio del mar y cambios en las olas de calor.

Los cambios climáticos globales y locales también afectan y continuarán afectando a las infraestructuras del transporte. Por ejemplo, como se muestra en la *ilustración 1*, varios puentes de carretera en Louisiana, Estados Unidos, fueron destruidos durante el huracán Katrina. Puentes con una vida de diseño de más de 75 o 100 años tienen una vida útil de proyecto más larga que otras infraestructuras de transporte y son altamente vulnerables a sufrir las consecuencias del cambio climático.



*Ilustración 1 - El puente "Biloxi Bay Bridge" destruido por el huracán Katrina*

Para identificar los efectos del cambio climático en puentes de carretera, el grupo TC4.3 se ha encargado de recopilar las estrategias y resultados en el Tema 4.3.1 - Adaptación al cambio climático:

**Estrategias**

Identificar los aspectos técnicos de puentes de carretera sujetos a la adaptación al cambio climático tomando en consideración la evaluación elaborada por el grupo de trabajo II del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC): Impactos, adaptación y vulnerabilidad.

**Resultados**

Una revisión que describe los impactos potenciales en la construcción, el mantenimiento y la explotación de puentes de carretera.

En este informe, se estudiaron los efectos del cambio climático en las estructuras de los puentes mediante la revisión de informes sobre el cambio de clima. El primer informe que se estudió es el informe del anterior Comité Técnico D.3 Puentes de carretera (2008-2011), Adaptación al cambio climático para los puentes [3]. Los informes del IPCC y otros informes sobre el efecto del cambio climático sobre las infraestructuras del transporte se han revisado posteriormente.

## 2. INFORME DEL COMITÉ TÉCNICO D.3 ANTERIOR

Muchos países se enfrentan al problema relacionado con el envejecimiento de los puentes de carretera. Con el fin de mantener los puentes en buena condición, los gestores de las carreteras emplean un sistema de inspección de puentes, mediante el que se evalúa el estado del puente y se deciden las acciones correctivas. Con este sistema de inspecciones se inicia el proceso de gestión del parque de puentes, cuyo objetivo es realizar el mantenimiento y el refuerzo adecuado en el momento oportuno para prolongar la vida útil del puente. Los problemas adicionales debido al cambio climático a los que muchos países se enfrentan, complican aún más la gestión de puentes. El Comité técnico D.3 investigó los efectos en puentes de carretera e identificó las estrategias de adaptación que se habían desarrollado. La labor del Comité D.3 se basó en la información obtenida de diferentes países del mundo a través de cuestionarios.

El objetivo del anterior Comité Técnico era investigar cómo los distintos países definen el cambio climático y las políticas al respecto que podrían estar implementando. Se preguntó por casos de condiciones climáticas extremas y si éstos han dado lugar a un cambio en la metodología del diseño y cálculo de puentes. Se recibieron las respuestas en el formato de un cuestionario que fue distribuido a diferentes países.

Trece países o estados de los cinco continentes respondieron a este cuestionario. La extensión de sus redes varía de cientos de kilómetros a decenas de miles de kilómetros y con un número considerable de puentes. En general, muchos países están experimentando fenómenos naturales extremos que causan pérdida de vidas y pérdida o daños a la infraestructura. Sin embargo, cabe destacar que la mayoría de los países no pueden afirmar con certeza que estos acontecimientos sean el resultado del cambio climático.

Los resultados del estudio fueron los siguientes:

- los eventos más comunes que tienen un impacto sobre el conjunto de puentes, experimentados por la mayoría de los países, son las inundaciones, intensidades más altas de precipitación y temperaturas más elevadas. La tabla 1 muestra un resumen de los cambios climáticos experimentados por los diferentes países;
- el cambio climático está relacionado con periodos de tiempo más largos (es decir, décadas, siglos). Parece evidente que tanto los efectos naturales ("internos") como efectos provocados por actividades humanas ("externos") influyen en la intensidad de los eventos relacionados con el cambio climático. El resultado actual del marco clásico de pregunta y respuesta demostró que para cuestiones algo "nuevas", deben probarse nuevas formas de obtener información. Por ejemplo, los grupos de trabajo en colaboración con expertos internacionales suelen producir mejores resultados;
- el objetivo de los gestores de puentes en todo el mundo es, sin duda, dar a los puentes la capacidad de adaptarse a los efectos del cambio climático, aunque las diferentes edades dentro del conjunto de puentes, hace muy difícil decidir cómo modificar los puentes existentes y cómo diseñar los nuevos. Las deficiencias en las estructuras existentes casi nunca son causadas exclusivamente por el cambio climático, y las reglas de diseño para nueva construcción no suelen tratar por separado los efectos del cambio climático. Parece más fácil desarrollar medidas preventivas para la nueva construcción. Sin embargo, la exposición al cambio climático conducirá sin duda a la necesidad de una comprensión más profunda de los diferentes efectos del cambio climático en las estructuras de puentes en servicio.

TABLA 1 - EL CAMBIO CLIMÁTICO EXPERIMENTADO POR VARIOS PAÍSES

País	Lluvia		Temp.	Viento	Inundaciones	Tormentas	Terremotos	Nieve	Nivel del mar
	alta	baja	alta	alta	severas	severas	Mayor intensidad	Nivel alto	subida
Australia occidental		alta							
Bélgica	alta		alta						
Finlandia	alta		alta			severas			
Alemania	alta		alta	alta					
Italia	alta		alta	alta					
Japón							Mayor intensidad		
Lituania			alta						
Noruega	alta		alta						
Eslovenia					severas	severas			
Sudáfrica				alta	severas				
España		alta							subida
Suiza	alta		alta						
EE.UU. Virginia	alta							Nivel alto	

### 3. INFORMES DEL GRUPO DE TRABAJO DEL IPCC

#### 3.1. FENÓMENOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En 2013, el grupo de trabajo del IPCC emitió el Quinto informe de evaluación (AR5). Este informe considera nuevos indicios del cambio climático basados en análisis científicos independientes de muchas observaciones del sistema climático, archivos paleoclimatológicos, estudios teóricos de los procesos climáticos y simulaciones mediante modelos climáticos. El informe de evaluación del IPCC consiste de tres volúmenes principales: Cambio Climático 2013 – La base científica física; Cambio climático 2013 – Impactos, adaptación y vulnerabilidad; y Cambio Climático 2013 – Mitigación del cambio climático.

Según Cambio Climático 2013 - la base científica física [4], la temperatura del océano y la de la atmósfera ha aumentado, las cantidades de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar ha subido y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado desde la década de 1950. Entre los cambios climáticos, son los cambios de temperatura, los cambios de los niveles de precipitación y la subida del nivel del mar los efectos que más afectarán a la infraestructura vial. El informe señala que el promedio global combinado de datos de temperatura superficial terrestre y oceánica, calculado por una tendencia lineal, muestra un calentamiento de 0,85 [0,65 a 1.06] °C, durante el período de 1880 hasta 2012. Los cambios se muestran en la *ilustración 2*.

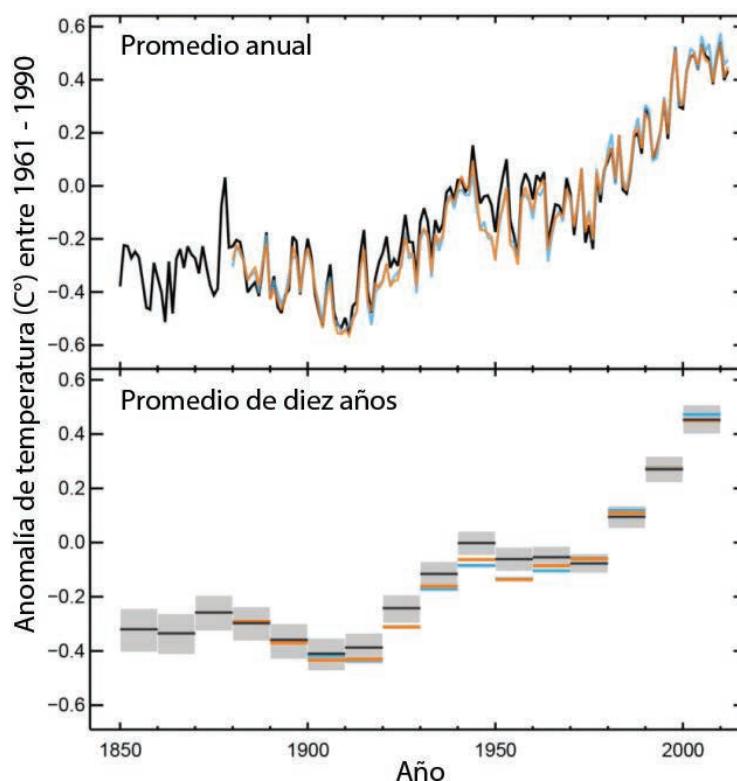


Ilustración 2 - Cambio de la temperatura

También ha variado el nivel de precipitación anual, como se muestra en la ilustración 3. La frecuencia o intensidad de los eventos de fuertes precipitaciones ha aumentado en América del Norte y Europa. En otros continentes, las variaciones permanecen en un nivel medio.

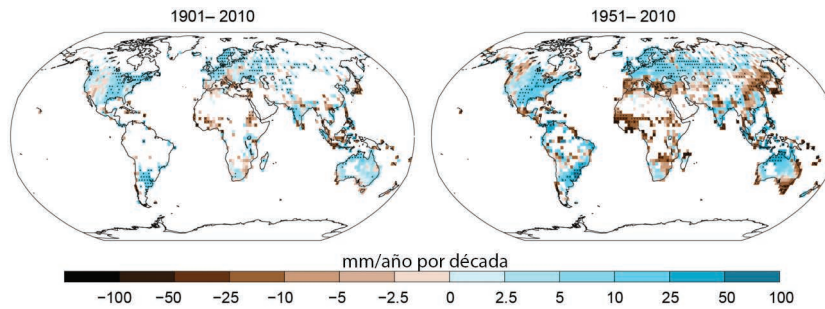
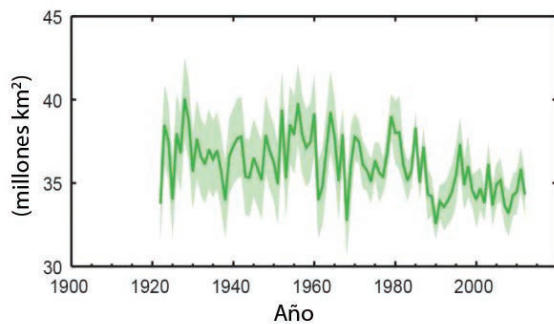
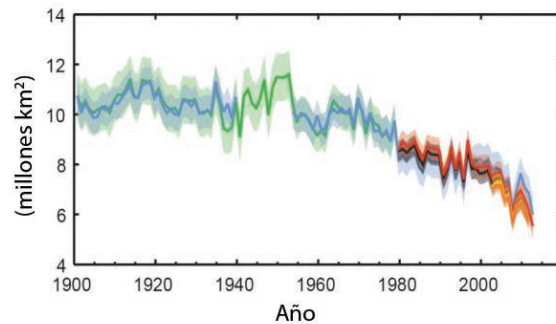


Ilustración 3 - Cambios en los niveles de precipitación

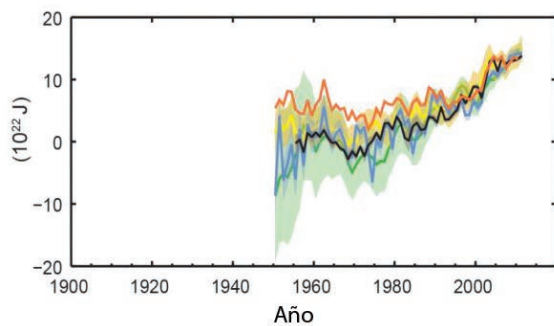
Se ha observado que la tasa media del promedio global de la subida del nivel del mar era 1.7 [1.5 a 1.9] mm/entre 1901 y 2010, 2.0 [1.7 a 2.3] mm/entre 1971 y 2010 y 3.2 [2.8 a 3.6] mm/entre 1993 y 2010. Desde la década de 1970, tanto la pérdida de masa glaciar como la dilatación térmica de los océanos causados por el calentamiento, explican alrededor del 75% de la subida media global del nivel del mar observado. En la *ilustración 4(d)* se muestran los cambios en el nivel del mar durante los últimos cien años.



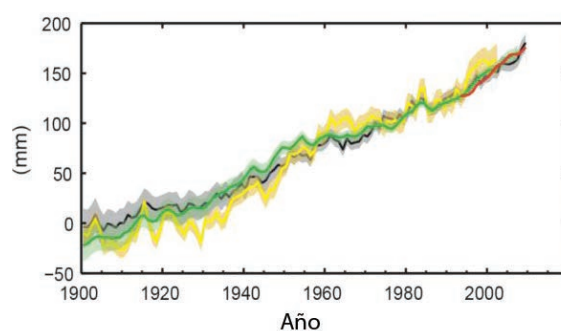
Capa de nieve en primavera en el hemisferio norte



Extensión de los glaciares al Ártico en verano



Modificación de la temperatura media de la capa superior de los océanos



Modificación del nivel medio global de los océanos

Ilustración 4 - Indicadores observados del cambio climático global



### 3.2. IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

El efecto del cambio climático en las infraestructuras del transporte ha sido tratado en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, Cambio Climático 2007 – Impactos, adaptación y vulnerabilidad [2]. El informe fue elaborado para ofrecer una evaluación científica completa y actualizada de los impactos del cambio climático, la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales y humanos y el potencial de respuesta mediante la adaptación a los cambios.

La vulnerabilidad industrial y de las infraestructuras al cambio climático se evalúan en el Capítulo 7, Industria, asentamientos y la sociedad. Sin embargo, el informe contiene información muy limitada sobre los efectos del cambio climático en la construcción de puentes y su mantenimiento.

En el informe, los efectos en los puentes se mencionan brevemente y se resumen a continuación:

- las infraestructuras del transporte son más vulnerable a los efectos de fenómenos climáticos extremos locales que a los cambios promedios;
- el puente "Confederation Bridge" entre Nuevo Brunswick y Prince Edward Island en Canadá, con un coste de USD 1000 millones y una longitud de 12,9 km, que abrió sus puertas en 1997, se construyó un metro más alto para anticipar el aumento del nivel del mar durante sus 100 años de vida;
- los fuertes vientos pueden desequilibrar vehículos altos en carreteras y puentes y pueden retrasar el paso de mercancías por vía marítima;
- donde los eventos extremos amenazan las infraestructuras claves tales como puentes, carreteras, tuberías o redes de transmisión, la industria puede experimentar pérdidas económicas considerables. En otros casos, el cambio climático puede conducir a reducciones en la vulnerabilidad directa de la industria e infraestructuras.

El puente "Confederation Bridge" en Canadá es mencionado en varias ocasiones a lo largo del informe como un ejemplo de un proyecto de infraestructura donde se ha tenido en cuenta el cambio climático futuro en su diseño. La elevación de este puente es típicamente de 40 metros sobre el nivel del mar y llega a 60 metros sobre el nivel del mar en su punto más alto. Al diseño del puente se le exigió la capacidad de soportar los impactos potenciales del cambio climático.



*Ilustración 5 - Confederation Bridge*  
(de Wikimedia Commons)



El Quinto informe de evaluación (AR5) se publicó entre septiembre de 2013 y noviembre de 2014. El AR5 se publica para reflejar una evaluación más exhaustiva de los conocimientos científicos sobre el cambio climático desde 2007.

El recién publicado Quinto informe de evaluación (AR5) borrador de informe (2013) menciona que los puentes de carretera sobre el agua están expuestos al cambio climático por las inundaciones. El informe resume también el coste estimado de adaptación de los puentes. En los Estados Unidos, se estima que el coste de la adaptación puede oscilar entre 140 000 y 250 000 millones de dólares en los próximos 50 años. En Europa, las estimaciones van desde 350 a 500 millones de dólares anuales.

El informe Cambio Climático 2014 – Impactos, adaptación y vulnerabilidad recomienda que los puentes bajos en áreas costeras deben ser elevados para adaptarse a los impactos del cambio climático. El informe también recomienda que las autoridades deben garantizar que los puentes son resistentes al cambio climático durante su vida útil.

## 4. OTROS INFORMES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

### 4.1. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TRANSPORTE: UN ENFOQUE EN LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE VIARIO Y FERROVIARIO (CENTRO DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA DE LA COMISIÓN EUROPEA)

Este informe publicado por el JRC (Joint Research Centre – Centro de Investigación Conjunta) en 2012 [6], fue elaborado para ofrecer una perspectiva sobre la vulnerabilidad de las infraestructuras de transporte frente a los futuros cambios climáticos en los países de la UE. El informe predice que los puentes se verán afectados principalmente por cambios en la precipitación y las riadas. Debido al aumento de precipitaciones e inundaciones, se espera que el riesgo más significativo para puentes de carretera sea el descalce de las cimentaciones. El aumento del nivel del mar también contribuirá al problema de la socavación y descalce. También se señaló que los veranos más cálidos y los vientos extremos pueden causar daños a los puentes.

### 4.2. EL MARCO DE EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VULNERABILIDAD FRENTE A METEOROLOGÍA EXTREMA DE LA FHWA

El Documento Marco [7] fue publicado en 2012 por la Administración Federal de Carreteras (Federal Highways Agency –FHWA) para ayudar a las agencias de transporte a prepararse para el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos. Para evaluar la vulnerabilidad de las infraestructuras del transporte, se consideraron los siguientes cambios climáticos: temperatura, lluvias extremas, subida del nivel del mar y eventos costeros, deshielo del permafrost e hidrología del deshielo. Para puentes de carretera se consideraron los siguientes impactos del cambio climático:

- debido a un aumento en los días muy calurosos y las olas de calor, la dilatación de las juntas de puente y las tensiones de origen térmico en los puentes pueden aumentar y puede causar degradación;
- la velocidad del viento en puentes debido a un aumento en la intensidad de las tormentas puede aumentar y convertirse en una amenaza para las estructuras de puentes altos;
- el aumento del nivel del mar también puede causar socavación y reducción del gálibo libre.

## 5. CONCLUSIÓN

Se han revisado los documentos sobre el cambio climático y sus efectos sobre los puentes de carretera. Sin embargo, existe poca información disponible sobre los efectos cuantitativos de los cambios climáticos. El informe del IPCC y otros documentos señalan que los puentes pueden verse afectados por cambios climáticos. La socavación debido a la subida del nivel del mar y a las inundaciones provocadas por fuertes precipitaciones se cita como el impacto más común en puentes de carretera. Las fuertes precipitaciones también pueden causar movimientos de tierra o asentamientos que pueden ocasionar daños a los cimientos del puente, o a la estructura del puente en su conjunto.

El coste de adaptar los puentes al cambio climático puede ser muy elevado. Para lidiar eficazmente con el actual cambio climático, puede ser necesario desarrollar e implementar directrices de diseño que consideren los efectos del cambio climático, como una elevación del nivel del mar. Los fenómenos climáticos extremos locales tienen más influencia en la vulnerabilidad de un puente, por lo que también deben considerarse en el cálculo los impactos específicos in situ del cambio climático. La incertidumbre adicional que conlleva el cambio climático, y la naturaleza de estos cambios, hace que tenga aún mayor importancia una gestión eficaz de los riesgos y del seguimiento de deterioros.

## REFERENCIAS

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2007, 976pp.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU., 2014, 1132pp.
- [3] World Road Association, *Adaptación al cambio climático para los puentes*, Referencia 2011R08ES, Paris, 2011, 35pp.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2013, 976pp.
- [5] Infrastructure Canada, *Adapting infrastructure to climate change in Canada's cities and communities: A literature review*, 2006.
- [6] European Commission Joint Research Centre, *Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures*, Publications Office of the European Union, 2012, 93pp.
- [7] Federal Highway Administration (FHWA), *Climate and Extreme Weather Vulnerability Assessment Framework*, 2012, 58pp.



*Copyright por la Asociación Mundial de la Carretera. Todos los derechos reservados.*

*Asociación mundial de la Carretera (PIARC)*

*Tour Pascal B, 19<sup>e</sup> étage*

*92055 La Défense CEDEX, FRANCE*

*Número Internacional Normalizado para Libros (ISBN): 978-2-84060-468-6*

*Portada © Comité Técnico 4.3 Puentes de carretera*