

La adaptación de las infraestructuras del transporte al cambio climático. Repercusión en las mezclas asfálticas

Juan José Campos López, jcampos@ciccp.es

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Integrante del grupo de expertos en carreteras en el informe "Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España"

El estudio del cambio climático es un campo muy complejo, pero existen evidencias científicas de que se está produciendo y que está causado por el hombre. Ante esta amenaza global y el riesgo de catástrofe que supone la inacción, lo sensato es actuar con precaución y tomar las medidas necesarias para luchar contra sus efectos.

El artículo expone algunos de los trabajos realizados por la Administración española sobre los efectos del cambio climático en las infraestructuras del transporte, centrándose en el titulado Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España, el cual aborda específicamente los impactos sobre estas infraestructuras. El artículo resalta los efectos esperados del cambio climático en las mezclas asfálticas para terminar concluyendo en la necesidad de revisión de las normas 6.1-IC y 6.3-IC y alentando a la innovación en materiales capaces de hacer frente al nuevo escenario climático.

Palabras clave: cambio climático, mezclas asfálticas, impacto climático, adaptación al clima, nuevos materiales

The study of climatic change is a very complex field, but there exists scientific evidence that it is occurring and that it is caused by man. Faced with this global threat and a risk of catastrophe if no action is taken, man should act with caution and take precautionary measures to fight against its effects.

This article presents some of the works carried out by the Spanish Public Administration about the effects of climatic change on transportation infrastructures focusing in the following Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España specifically relating to the impact of climatic change on said infrastructures. The article highlights the expected effects of climatic change on asphalt mixtures and comes to the conclusion that NORMS 6.1-IC and 6.3-IC should be revised, therefore encouraging innovation in materials that are capable of confronting a new climatic scenario.

Keywords: climatic change, asphalt mixtures, climate impact, climate adaptation, new materials

La adaptación de las infraestructuras del transporte al cambio climático.

Repercusión en las mezclas asfálticas

1. Introducción

El clima se comporta como un sistema complejo no lineal, cuyo estudio se caracteriza por una gran dificultad y cuya dinámica evolutiva está sometida a la incertidumbre inherente a los sistemas complejos. Existen evidencias científicas de que la temperatura media global (TMG) ha subido en el último siglo y que esta subida se explica con una probabilidad superior al 90% por los gases de efecto invernadero (GEI) causados por la actividad del hombre. Este incremento de temperatura junto con la modificación del resto de parámetros que configuran el sistema climático es lo que se conoce como cambio climático. La modificación del clima afecta en mayor o menor medida a ecosistemas, sectores, sistemas y a nuestro entorno en general. La rapidez y magnitud de la variación determinará los impactos a nivel local, regional y mundial. Por tanto el cambio climático constituye una de las principales amenazas globales a las que debemos hacer frente. Incluso considerando las previsiones más optimistas sobre las futuras emisiones de GEI, los estudios científicos revelan que un cierto grado de cambio en el clima es ya inevitable. Estas conclusiones vienen avaladas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)¹ creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) cuya función es la evaluación exhaustiva, objetiva e independiente de la literatura científica, técnica y socioeconómica que se genera en el mundo en relación con el cambio climático y cuyos informes son un referente a nivel mundial.

Ante esta situación, y ante el riesgo de catástrofe que supone la inacción, lo sensato es actuar con precaución y tomar las medidas necesarias para la lucha contra los efectos del cambio climático. Esta visión ha sido ratificada de forma casi universal por 197 países mediante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)² (1992), de la que fue testigo la Cumbre de Río (1992) y en el

que se enmarca el Protocolo de Kioto (1997), y cuya última reunión tuvo lugar a finales de 2015 en París (COP 21), que terminó con un acuerdo histórico de lucha contra el cambio climático. La toma de conciencia del problema a escala global se ve reflejada en las iniciativas políticas que se están adoptando a escala nacional y regional por todo el planeta.

2. La adaptación al cambio climático

Dos son las estrategias de lucha contra los efectos del cambio climático:

- La **mitigación** de las causas frenando la acumulación de GEI en la atmósfera mediante la reducción de las emisiones y la retirada de gases ya emitidos.
- La **adaptación** a los efectos minimizando los riesgos e impactos derivados del cambio climático y aprovechando, en lo posible, las nuevas condiciones que este planteará

Desde el enfoque de la adaptación al cambio climático España aprobó en el año 2006 el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)³. El PNACC es el marco de referencia para la coordinación entre las Administraciones Públicas en lo relativo a la evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los distintos sectores potencialmente afectados. El PNACC se concibe como un instrumento que facilita la elaboración de diagnósticos y la elaboración de medidas más efectivas para la adaptación.

Un aspecto clave del plan es la consideración del cambio climático como un fenómeno complejo con efectos a corto, medio y largo plazo en el que la incertidumbre asociada a su conocimiento debe considerarse mediante la aplicación del principio de cautela en las políticas de adaptación al fenómeno.

En esta línea de generación de conocimiento sobre el efecto del cambio climático en sectores específicos y en relación con las infraestructuras del transporte se destacan los siguientes estudios:

¹ Portal del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) donde se depositan los informes sobre evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta, los cuales proporcionan base científica para el establecimiento de políticas. <http://www.ipcc.ch/>

² Portal del UNFCCC. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

³ Portal del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/planificacion_seguimiento.aspx

- a) La consideración del cambio climático en la evaluación ambiental de planes y programas – aplicación al caso de planes y programas de infraestructuras de transporte (2012)⁴. Informe técnico elaborado por el CEDEX para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) en el que se propone pautas para la integración de la mitigación y la adaptación al cambio climático en la toma de decisiones en el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica de Planes y Programas relacionadas con infraestructuras del transporte.
- b) Efectos del cambio climático sobre las interacciones entre infraestructuras del transporte y la biodiversidad. (2013)⁵. Informe técnico elaborado por el CEDEX para el MAGRAMA en el que se analiza los efectos de cambio climático en la interacción entre infraestructuras del transporte y la biodiversidad.
- c) Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España (2013)⁶. Trabajo coordinado por el CEDEX a iniciativa de la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) e impulsado por el Ministerio de Fomento y el MAGRAMA. Se trata de un análisis preliminar sobre cuales pueden ser las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras del transportes

3. La adaptación de las infraestructuras del transporte al cambio climático

Este último trabajo, Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en

⁴ Portal del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). La consideración del cambio climático en la evaluación ambiental de planes y programas – aplicación al caso de planes y programas de infraestructuras de transporte. http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/Inf_EAE%26CC%26IT2012_tcm7-233472.pdf

⁵ Portal del MAGRAMA. Efectos del cambio climático sobre las interacciones entre infraestructuras del transporte y la biodiversidad. (2013). http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/51-309-5-001_A4-T116_Febrero_2013_tcm7-321387.pdf

⁶ Portal del MAGRAMA. Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España (2013). http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/ACC%26IT_tcm7-308026.pdf

España (2013), es el que aborda de forma específica y sistematizada la vulnerabilidad, los impactos y las necesidades de adaptación al cambio climático de las infraestructuras del transporte, aunque sea de forma preliminar y circunscrito a la red trocal. El trabajo ha sido coordinado por el CEDEX e impulsado por el Ministerio de Fomento y el MAGRAMA para dar respuesta al interés suscitado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) por conocer según contexto geográfico los impactos en los diferentes modos de transporte y al sistema de transporte en su conjunto y como los distintos afectados afrontan los impactos. Cuenta con la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la Oficina Española para el Cambio Climático (OECC), ADIF, RENFE, AENA, Puertos del Estado e INECO.

Se explica a continuación de forma resumida el proceso de elaboración del trabajo y las principales conclusiones referidas a los pavimentos asfálticos:

El informe fue realizado por un grupo de trabajo formado por unidades de los organismos participantes en el proyecto con el apoyo de cuatro grupos de expertos, uno por cada uno de los cuatro modos de transporte analizado: carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos.

Siguiendo el esquema de trabajo que se representa en la Figura 1 se pudo establecer de forma secuencial los principales aspectos del estudio:

a) **Ámbito de estudio**

El ámbito estudio se centró en carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos con un marcado carácter estructurador del territorio a escala nacional. En carreteras se ha tenido en cuenta la red de titularidad estatal y las no estatales incluidas en la propuesta del Gobierno para la Red Transeuropea de Transporte (RTT).

El alcance del análisis son aquellos componentes de las infraestructuras que pueden resultar vulnerables al efecto del cambio climático a lo largo de las fases por las que pasa: planificación, diseño, construcción y explotación.

b) **Variables climáticas y componentes afectados**

En esta etapa se determinaron los componentes infraestructurales que resultan afectados y las variables climá-

La adaptación de las infraestructuras del transporte al cambio climático. Repercusión en las mezclas asfálticas

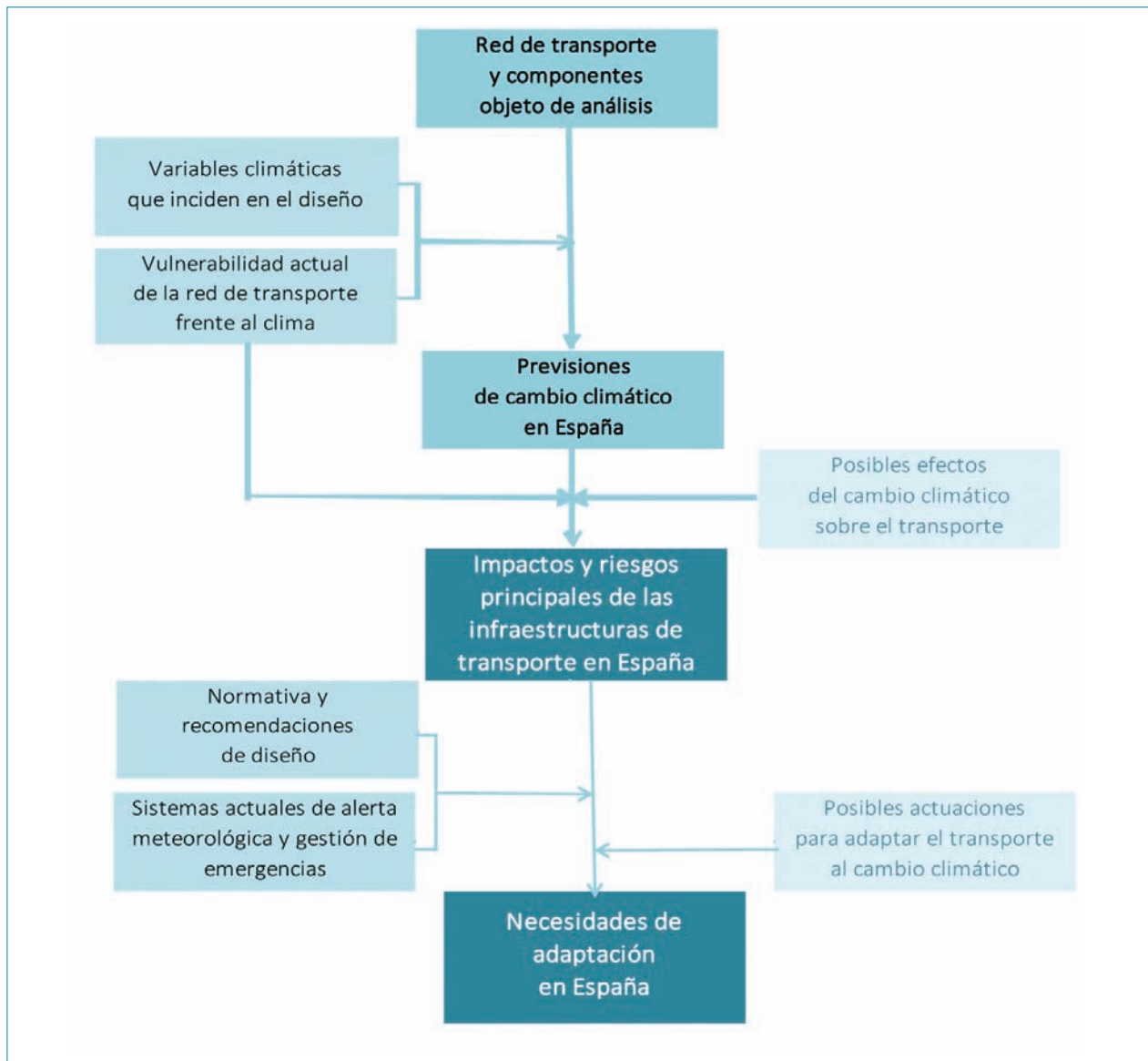


Figura 1. Esquema de trabajo.

ticas que les afectan tanto en fase de proyecto como operativa mediante la revisión de la normativa de diseño y la recopilación de datos de la vulnerabilidad de la red española frente eventos climáticos como los que se muestran en las figuras 2 y 3.

En la Tabla 1 se detallan las variables climáticas y las infraestructuras sobre las que impactan.

c) Previsiones de cambio variables climáticas.

Identificadas las variables climáticas que impactan en las infraestructuras el siguiente paso es el conoci-

miento de las previsiones de su evolución hasta final de siglo. El procedimiento se fundamenta en la regionalización de las previsiones de cambio climático a nivel global. Las previsiones de cambio climático se realizan mediante modelos matemáticos globales en que la atmósfera y el océano interactúan de forma acoplada (Atmosphere-Ocean General Circulation Model, AOGCM) a los que se añade la concentración prevista de GEI. Para ello el IPCC ha establecido cuatro escenarios (SRES) que tienen en cuenta la evolución de la demografía, la tecnología, la economía y la sociedad. Los escenarios de peor a mejor

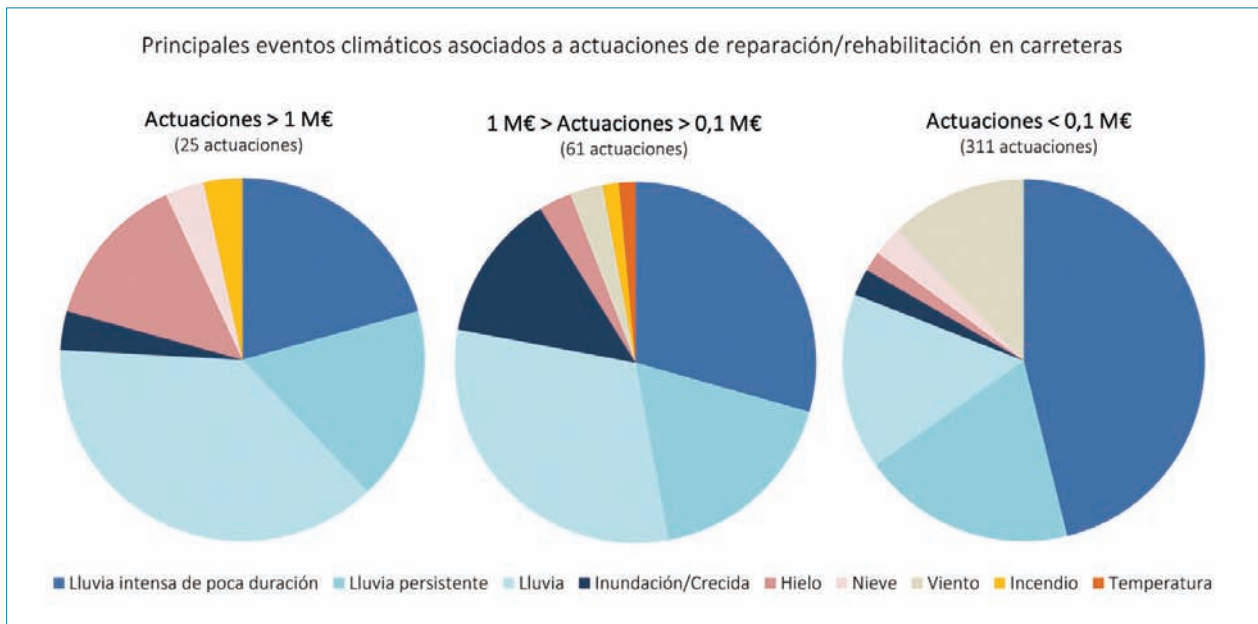


Figura 2. Gráficos de eventos climáticos asociados a actuaciones en carreteras, elaborados a partir de encuestas a 29 unidades de carreteras.

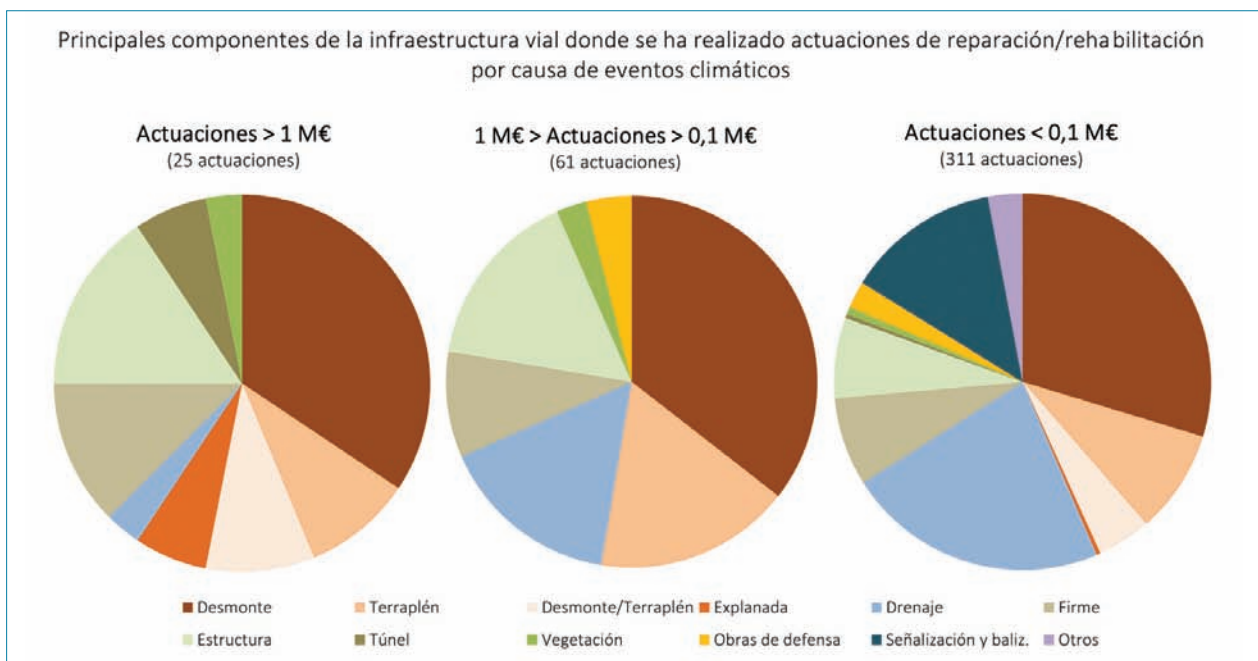


Figura 3. Gráficos de componentes de la carretera donde se han realizado actuaciones por eventos climáticos, elaborados a partir de encuestas a 29 unidades de carreteras.

son: A2, A1B, B1 y E1, siendo el A2 el más pesimista y el E1 el de mitigación. La escasa resolución espacial de los modelos globales obliga a hacer proyecciones regionalizadas (*downscaling*) de los resultados globales para su uso a nivel nacional. Con esta información AEMET, organismo al que el PNACC

identifica para las elaboraciones de proyecciones regionalizadas, obtiene los gráficos y mapas de proyecciones como los representados en la Figura 4, que pone a disposición a través de su página web⁷.

⁷ http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat

La adaptación de las infraestructuras del transporte al cambio climático. Repercusión en las mezclas asfálticas

Tabla 1. Variables climáticas que afectan a las infraestructuras del transporte

Variable climática		Carreteras	Ferrocarriles	Puertos	Aeropuertos
Temperatura del aire	Temperatura media	•	•		•
	Temperatura máxima diaria	•	•	•	•
	Oscilación térmica diaria	•	•		
	Días de helada	•	•		•
	Olas de calor	•	•	•	•
Humedad relativa					•
Nubosidad y techo de nubes					•
Precipitación	Precipitación media anual	•	•		•
	Intensidad de lluvias extremas	•	•	•	•
	Duración de lluvias fuertes	•	•	•	•
	Inundaciones	•	•		•
	Sequías	•	•		
Tormenta eléctrica			•		•
Nieve		•	•		•
Avenidas		•	•		
Nivel freático		•	•	•	•
Niebla	Intensidad de la niebla	•	•	•	•
	Frecuencia de nieblas intensas	•	•	•	•
Viento	Frecuencia de vientos fuertes	•	•	•	•
	Dirección del viento	•	•	•	•
	Variabilidad en la dirección del viento				•
Oleaje	Altura de ola			•	
	Dirección			•	
Nivel del mar	Nivel medio			•	•
	Variación por temporal			•	
Corrientes marinas	Velocidad			•	
	Dirección			•	
Temperatura del agua de mar				•	

Asumiendo un escenario medio la previsión para la península tenida en cuenta en el análisis fue la que se muestra en la Tabla 2.

d) Impactos esperados y conclusiones del trabajo

La identificación de impactos se ha realizado de forma eminentemente cualitativa sobre la base de juicio ex-

perto teniendo en cuenta la probabilidad de impacto y el coste tanto de reparación como de impacto sobre el nivel de servicio/ seguridad de la infraestructura para el usuario. Por ello la reflexión se ha centrado en los impactos adversos, aunque también puede tener impactos positivos.

El resultado de la reflexión es un catálogo de impactos donde se refleja el componente de la infraestructura

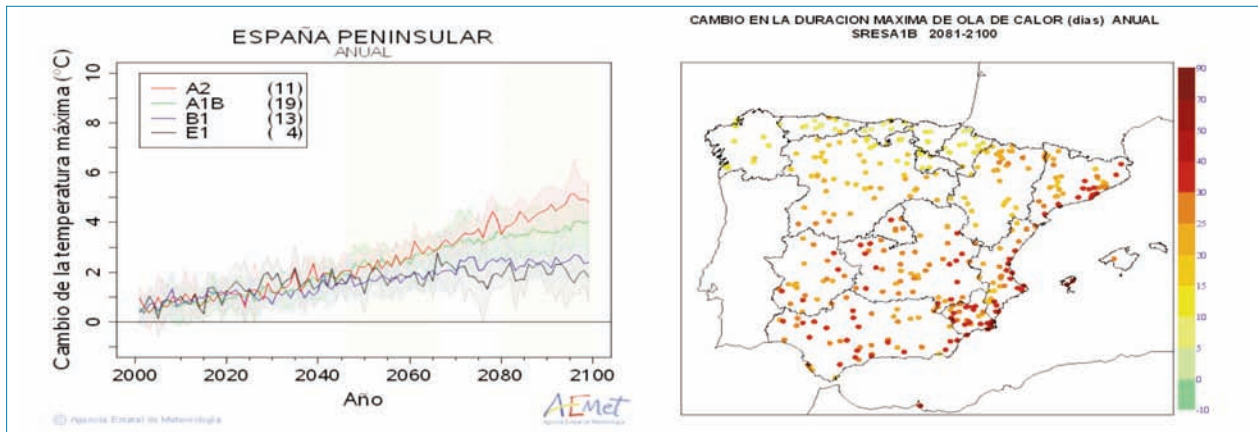


Figura 4. Gráfico de evolución y Mapa de proyección.

Tabla 2. Previsión para la península.

Propiedades		Rodadura	Hamburgo
Temperatura	Media	↑ 1° C	Algo superior en verano que en invierno, y en el interior y sur peninsular
	Máx. diaria	↑ 1,3° C promedio anual	Mayor en verano (↑ 0,5-1,0° C) y en el interior y sur peninsular (Otro ↑ 0,2° C). Incremento menor en las Islas Canarias
	Mín. diaria	↑ 0,8° C	↑ ligero del gradiente térmico diario. ↓ 10 días al año con temperatura < 0° C
Olas de calor		↑ 50-75% duración	Olas de calor algo más intensas. Más intensas en el sur y este peninsular
Días cálidos en un año		↑ 10-15%	
Precipitación	Media anual	↓ 5% Norte y Levante ↓ 10% Suroeste	Descenso algo más acentuado en Canarias
	Duración	↓ días con precipitación > 20 mm	
	Lluvias intensas de corta duración	↓ Frecuencia ↑ Intensidad	Fenómenos convectivos en verano-otoño, especialmente en norte y sureste peninsular
Tormenta eléctrica		↓ Frecuencia ↑ Intensidad	Consistente con el comportamiento de las lluvias intensas de corta duración
Nieve		↓ Frecuencia ↓ Intensidad	
Viento	Velocidad media	↓ ligero descenso	
	Racha máxima	↓ ligero descenso	Salvo en verano, en zonas de Galicia y valles del Ebro, Duero, Guadalquivir y Estrecho. Salvo los asociados a episodios intensos convectivos
Niebla		¿? Frecuencia ¿? Intensidad	
Humedad relativa		↓ 5%	
Nivel del mar	Nivel medio	↑ 10-20 cm	
Altura de ola	Ola significativa	¿? Costa atlántica ≡ Costa mediterránea	
Salinidad del agua de mar		¿? Costa atlántica ↑ Costa mediterránea	

La adaptación de las infraestructuras del transporte al cambio climático. Repercusión en las mezclas asfálticas

afectada, el impacto/riesgo sobre el componente, el ámbito geográfico específico y el nivel de impacto.

La consecuencia de esta reflexión fue una propuesta de medidas de adaptación que se pueden sintetizar en las siguientes:

Con carácter general:

- Llevar un registro de incidentes producido por el clima.
- En las obras lineales identificar y caracterizar los tramos vulnerables a partir de la explotación de estos registros.
- Evaluar la idoneidad de los planes de contingencias y los procedimientos de actuación ante emergencias climáticas, al objeto de proceder – si fuera necesario – a su adecuación
- Considerar el cambio climático al aplicar criterios bio-climáticos para el diseño de nuevos edificios (edificios técnicos).
- Investigar y desarrollar nuevos materiales y componentes que puedan ser empleados bajo condiciones climáticas más severas,
- Promover innovación tecnológica para la adaptación de procesos constructivos al cambio climático.

Específicas respecto a la necesidad de mejorar la disponibilidad de previsiones de cambio climático en España:

- Reducir progresivamente las incertidumbres
- Acercar la interpretación de las variables que proporcionan los modelos climáticos a los parámetros con los que está familiarizado el gestor de la infraestructura (ejemplo: Nivel freático o régimen hidrológico) .
- Incorporar, en los modelos predictivos algunas variables que pueden ser particularmente relevantes para el transporte (como el régimen de vientos o la niebla) y otorgar una atención especial a los fenómenos extremos.
- Hacer un esfuerzo para proporcionar predicciones a escala más local.

En materia de carreteras:

- Revisar la normativa y recomendaciones de diseño de las obras de tierra, con objeto de reducir la vulnerabilidad de los taludes en desmonte y terraplén frente a fenómenos

combinados de sequía y precipitaciones más intensas y a avenidas extraordinarias más severas.

- No descuidar aquellas tareas de vigilancia y mantenimiento preventivo que permiten garantizar unas condiciones adecuadas de vialidad y seguridad vial y preservar la integridad de determinados componentes de la carretera frente a fenómenos climáticos adversos.
- Mejorar los sistemas de alerta meteorológica empleados por el gestor de la carretera.
- A medio plazo, valorar la oportunidad de revisar las normas 6.1-IC y 6.3-IC, con objeto de adaptar el diseño de las secciones y rehabilitación de los firmes bituminosos al aumento de temperaturas máximas y al descenso de la precipitación media previstos.
- Revisar las recomendaciones actuales para el proyecto y la realización de plantaciones, y los catálogos de especies vegetales.

4. La adaptación de las mezclas asfálticas al cambio climático

El firme de la carretera es uno de los componentes infraestructurales objeto del estudio que se verá afectado por el cambio climático. A medio plazo las conclusiones del estudio con respecto a las mezclas asfálticas se refieren esencialmente a la revisión de las normas 6.1-IC y 6.3-IC en los siguientes aspectos:

- Adaptación de las secciones de firme al aumento de las temperaturas máximas y al descenso de la precipitación media previstos
- Revisión del mapa de zonas térmicas estivales en función del cual se elige el tipo de ligante bituminoso y la relación filler/betún para prevenir el riesgo de aparición de roderas y la oxidación prematura del ligante debido al incremento de temperaturas.
- Revisión del mapa de zonas pluviométricas que indican las zonas donde se puede utilizar mezclas drenantes por el riesgo colmatación de huecos por contaminación causada por la falta de lluvia
- Revisión de los 1.200 m de altitud como límite para el uso de las mezclas drenantes por el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones de nieve. (Este sería un impacto positivo del cambio climático)

5. Conclusión

El principio de precaución obliga a estar preparados ante el problema del cambio climático. El trabajo expuesto en este artículo se enmarca en la estrategia de adaptación al cambio climático y constituye una reflexión preliminar sobre cuales pueden ser las necesidades de adaptación de la red troncal en España que no pretende agotarla, sino iniciarla, enriquecerla y completarla ampliando los estudios no solo a la red troncal sino al resto de la red de transportes, particularizando los trabajos en zonas concretas del territorio a medida que las predicciones del clima a escala local sean mas precisas y profundizando en los impactos en cada componente constituyente de la infraestructura.

A partir de ahora el reto del cambio climático introduce una nueva variable que habrá de considerarse en el estudio de los firme. Pero este reto puede convertirse en una oportunidad para la innovación y el estudio de nuevos materiales que enriquezca el ya de por sí gran avance que en los últimos años se ha producido en materia de ligantes, aditivos, áridos o tipos de mezclas.

#51

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Los pavimentos asfálticos proporcionan la mejor visibilidad de las marcas viales”

#CONFORT_Y_SEGURIDAD