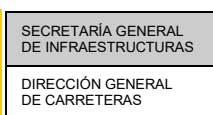


Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos

INFORME FINAL
Junio de 2018

Documento elaborado por **CEDEX** con la colaboración de:



Con apoyo de:



Las opiniones y documentación aportadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor del mismo, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que han apoyado el proyecto.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES Y ALCANCE DE ESTE DOCUMENTO	1
2. METODOLOGÍA ADOPTADA	3
3. LA RED DE TRANSPORTE OBJETO DE ANÁLISIS	5
La Red de Carreteras del Estado	5
La Red Ferroviaria de Interés General	6
Integración de ambas redes en un Sistema de Información Geográfica	7
4. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED	9
Metodología empleada para caracterizar la vulnerabilidad	9
En la actualidad, la red de carreteras es ¿poco o muy vulnerable?	11
¿Es relevante que la vulnerabilidad actual de la red ferroviaria sea superior a la de la red de carreteras?	13
5. CAMBIOS EN EL NIVEL DE EXPOSICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA POR RAZÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	17
Mejoras en la caracterización de los fenómenos extremos y de su distribución espacial en la Península	17
¿Hasta qué punto es útil para el gestor de la infraestructura la consideración de más de un escenario de cambio climático?	18
Hacia una mayor disponibilidad de mapas de proyecciones de cambio climático	18
Cambios previstos en el nivel de exposición	19
6. VULNERABILIDAD DE LA RED EN EL FUTURO	23
Acerca de una posible falta de objetividad de la metodología empleada	24
... o de completitud de los resultados obtenidos	27
El cambio de vulnerabilidad de cada sección es reducido, pero crece el número de secciones con afectación moderada o importante	27
7. DIFERENCIACIÓN DE NIVELES DE CRITICIDAD EN LAS SECCIONES DE LA RED	31
Metodología empleada para diferenciar niveles de criticidad	31
¿Hasta qué punto son creíbles las diferencias de criticidad obtenidas?	34
8. SECCIONES DE LA RED A LAS QUE PRESTAR ATENCIÓN PREFERENTE POR RAZÓN DE LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS	37
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
La atención a la vulnerabilidad de la red está actualmente bien priorizada	39
¿Cuáles son las secciones de la red más críticas y vulnerables?	39
¿Cuánto puede costar la mejora de la resiliencia de las secciones más críticas y vulnerables?	39
Conviene prestar atención a la vulnerabilidad de determinados componentes de la infraestructura	40
... y facilitar una valoración más ajustada de la incidencia del cambio climático sobre la vulnerabilidad	40
Reflexión final	41

ANEJOS

Anejo I. VULNERABILIDAD ESTIMADA ACTUAL DE LA RED (GRÁFICOS).....	43
Anejo II. VULNERABILIDAD ESTIMADA DE LA RED EN EL FUTURO (MAPAS).....	49
Anejo III. NIVEL DE CRITICIDAD DE LAS SECCIONES (MAPAS)	51
Anejo IV. SECCIONES A LAS QUE PRESTAR ATENCIÓN PREFERENTE (MAPAS).....	53
Anejo V. PERSONAS QUE HAN COLABORADO EN ESTE EJERCICIO	55

1. ANTECEDENTES Y ALCANCE DE ESTE DOCUMENTO

Este documento tiene por objeto presentar los resultados obtenidos del ejercicio de identificación de aquellas secciones de la Red de Carreteras del Estado y de la Red Ferroviaria de Interés General potencialmente más expuestas por razón de su vulnerabilidad frente a la variabilidad climática actual y a su posible evolución como consecuencia del cambio climático.

El ejercicio presentado en este documento toma como punto de partida los resultados del análisis realizado en 2013 en el ámbito del Grupo Fomento y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente sobre las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España¹. Dicho análisis permitió efectuar una primera identificación, eminentemente cualitativa, de los impactos y riesgos esperados del cambio climático tanto en la fase de planificación de las infraestructuras como en la de su diseño y operación, tomando como base previsiones de evolución media en todo el territorio español de algunas de las variables climáticas más relevantes para las infraestructuras de transporte. También permitió recomendar diversas medidas de adaptación encaminadas tanto al diseño de nuevas infraestructuras como a la operación de las existentes.

Sobre la base del análisis efectuado en 2013, se trata ahora de intentar identificar qué partes de la red actual de infraestructuras de transporte terrestre de titularidad estatal pueden presentar una mayor afectación por los efectos del clima y precisar de una atención preferente para su adaptación a ellos.

En la realización de este ejercicio han intervenido la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y ADIF y ADIF Alta Velocidad – en calidad de titulares de las redes de transporte -, la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET – institución que ha puesto a disposición la información de base sobre escenarios de cambio climático para España – y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX - promotor de la iniciativa y coordinador de la misma -.

La realización del ejercicio ha contado asimismo con el apoyo de la Subdirección General de Planificación de Infraestructuras y Transporte del Ministerio de Fomento, y del Ministerio para la Transición Ecológica a través de la Fundación Biodiversidad. Mediante la subvención concedida al CEDEX por dicha Fundación y de los fondos propios del CEDEX se ha cubierto el coste de algunas tareas de apoyo técnico especializado, la traducción de este documento al inglés y los gastos ocasionados por viajes. El coste global en estos conceptos ha sido de casi 35.000 €. El resto del trabajo ha sido cubierto a través de la dedicación del personal propio de las entidades que han intervenido en la realización del ejercicio.

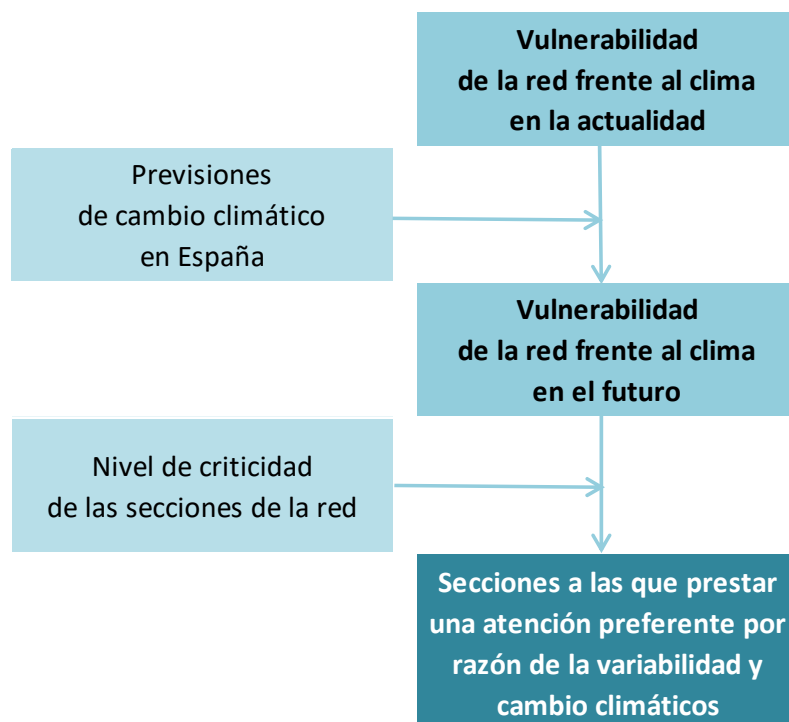
El ejercicio se ha desarrollado en paralelo a la participación del Ministerio de Fomento en el Grupo de Expertos TRANS/WP.5/GE.3 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (*Group of Experts on climate change impacts and adaptation for transport networks and nodes*), con intención de ponerlo finalmente a disposición del mismo a modo de experiencia práctica de estudio a nivel de red.

¹ Informe final del Grupo de Trabajo para el análisis de las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Septiembre 2013.

2. METODOLOGÍA ADOPTADA

La figura 1 resume la forma en que se ha estructurado el ejercicio. En una primera etapa, se ha evaluado cuál es la vulnerabilidad actual de la red estatal de transporte terrestre frente a eventos de naturaleza climática, esto es, en qué medida dicha red es capaz o no de encajar los efectos negativos del clima, a menudo asociados a su variabilidad y a fenómenos extremos (capítulo 4). A continuación, se ha estimado cómo puede verse afectada dicha vulnerabilidad en el futuro por razón del cambio climático (capítulos 5 y 6). Por último, se ha tratado de identificar cuáles son las secciones de la red a las que habría que prestar una atención preferente por razón de dicha vulnerabilidad (capítulo 8) habida cuenta del grado de vulnerabilidad que es aceptable en función del nivel de criticidad de cada sección (capítulo 7).

Figura 1
Esquema de la metodología de trabajo adoptada



Es frecuente leer en el *corpus* teórico que la evaluación de la vulnerabilidad actual de un sistema puede hacerse combinando la magnitud y carácter de las condiciones climáticas actuales, con la sensibilidad del sistema y su capacidad de adaptación. En el caso de una sección de la red de transporte terrestre, es fácil imaginar que esta sensibilidad dependerá, en gran medida, del tiempo transcurrido desde que se construyó, de las características del emplazamiento donde se encuentra, de las prescripciones que se consideraron para su diseño, de la forma en que se ejecutó la obra, y de la manera en que los distintos componentes de la sección se han ido manteniendo y conservando a lo largo de su vida útil. Aún en el caso de que se pudiera disponer de esta información para todas las secciones de la red estatal, habría que afrontar a continuación el reto de estimar cómo afecta a la vulnerabilidad de cada componente de la sección cada uno de los parámetros que conforman las condiciones climáticas actuales, en función de las características citadas anteriormente.

Ante la dificultad de aplicación que el enfoque teórico descrito conlleva – probablemente no solo para un análisis de red como el que se pretende realizar, sino también para una evaluación de la vulnerabilidad a nivel de una sección concreta de carretera o ferrocarril -, se ha optado en este ejercicio por buscar alguna forma de caracterizar directamente la vulnerabilidad de cada sección de la red.

A menudo, ello pasa por explotar registros sistemáticos que permitan identificar los eventos climáticos que afectan con mayor frecuencia a las secciones de la red, y valorar su repercusión sobre los usuarios y la propia infraestructura. Sin embargo, la disponibilidad de dichos registros para la red estatal es escasa.

Por ello, para evaluar la vulnerabilidad actual de la red, al final se ha decidido recurrir directamente al conocimiento de la misma que tiene el personal que está a cargo de su gestión y explotación. En el caso de la red de carreteras, la caracterización de su vulnerabilidad se ha realizado con el apoyo de personal técnico de las Demarcaciones de Carreteras del Estado; en el caso de la red ferroviaria, se ha contado con la colaboración de personal técnico de las Direcciones de Mantenimiento de ADIF y ADIF Alta Velocidad. Es cierto que, a priori, a cambio de hacer viable el trabajo, la metodología empleada puede introducir cierta subjetividad derivada de la apreciación de dicho personal técnico.

Para ayudar a evaluar la vulnerabilidad de la red en el futuro por razón del cambio climático, se ha dispuesto de datos de proyecciones climáticas proporcionados por AEMET y de mapas de cambios de exposición elaborados por el CEDEX con dichos datos. La entidad del cambio de vulnerabilidad por razón de este cambio de exposición se ha estimado tomando en cuenta la percepción del personal de las Demarcaciones de Carreteras y de ADIF y ADIF Alta Velocidad indicado anteriormente, matizada en algún caso con la apreciación de algunos expertos en el comportamiento de algunos componentes específicos de la infraestructura. En este proceso se ha tratado de tener presente que el ejercicio se plantea como una suerte de examen preliminar o *screening* que permita identificar aquellas secciones de la red cuya resiliencia conviene que sea posteriormente analizada con mayor detalle, por lo que lo fundamental es tratar de evitar que se excluyan secciones o posibles impactos como consecuencia de una minusvaloración de la evolución de la vulnerabilidad por efecto del cambio climático.

3. LA RED DE TRANSPORTE OBJETO DE ANÁLISIS

La Red de Carreteras del Estado

La Red de Carreteras del Estado (RCE) comprende cerca de 26.400 km, de un total de casi 165.500 km que tiene la red de carreteras en España. De la red de titularidad estatal, casi 12.000 km son vías de alta capacidad (autopistas, autovías y carreteras multicarril) y 14.400 km carreteras convencionales de calzada única. La RCE comprende carreteras en todas las Comunidades Autónomas peninsulares españolas, además de algo más de 30 km en las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla, que no han sido consideradas a efectos de este ejercicio. En el País Vasco y Navarra solo son de titularidad estatal dos autopistas concesionadas (AP-1 y AP-68).

A pesar de comprender únicamente el 16% de la longitud total de carreteras en España, la RCE soporta más de la mitad del volumen de tráfico interurbano total y alrededor de dos tercios del tráfico de vehículos pesados.

Figura 2
Red de Carreteras del Estado

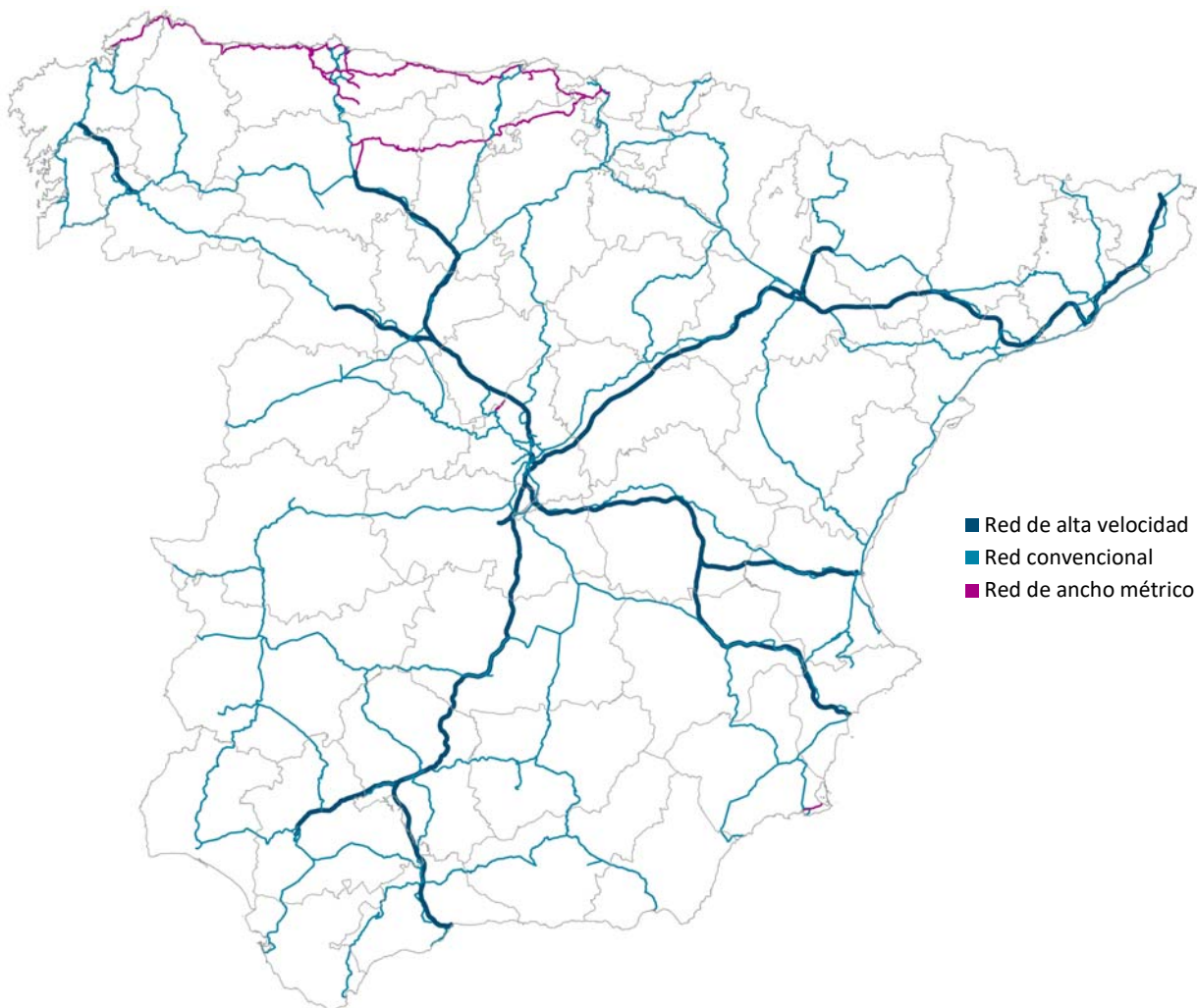


La Red Ferroviaria de Interés General

La Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) está integrada por las infraestructuras ferroviarias que resultan esenciales para garantizar un sistema común de transporte ferroviario en todo el territorio español y aquéllas que son administradas por las Autoridades Portuarias de los puertos de interés general del Estado que están conectadas a la misma. La RFIG comprende cerca de 15.300 km de líneas ferroviarias, lo que equivale a más del 96% del total de la red ferroviaria española. De estas líneas, el 79,4% son titularidad de ADIF y el 20,6% restante de ADIF Alta Velocidad.

De las líneas de la RFIG, 2.655 km corresponden a la red de alta velocidad, 11.249 km a la red convencional de ancho ibérico puro, 190 km a la red mixta (combinación de ancho ibérico y estándar) y 1.207 km a la red de ancho métrico. A los efectos de presentación de resultados de este ejercicio, la red convencional de ancho ibérico puro y la red mixta se han agrupado bajo la designación de red convencional.

Figura 3
Red Ferroviaria de Interés General



El 37,4% de las líneas de la RFIG son líneas electrificadas con vía doble, el 26,1% son líneas electrificadas con vía única y el 36,5% son líneas sin electrificar de vía única. En cuanto a su antigüedad, cabe destacar una gran diferencia entre las líneas de la red convencional y de ancho métrico, y las de alta velocidad. Mientras que las primeras cuentan en bastantes casos con una edad centenaria, la primera línea de alta velocidad en España se inauguró en 1992, y el tiempo transcurrido desde la puesta en servicio del 82% de esta red es igual o inferior a 15 años.

La RFIG discurre por entero por territorio peninsular. Las redes de alta velocidad y convencional cubren gran parte del territorio, mientras que la mayor parte de la red de ancho métrico está situada en el norte de España.

La RFIG está conectada con la red de Francia en ancho estándar por Figueres-Vilafant a través del gestor de infraestructuras Línea Figueras Perpignan, S.A, y en ancho ibérico a través de las secciones fronterizas Irún/Hendaya, Portbou/Cerbere y Puigcerdà/La Tour de Carol (accesos que requieren el cambio a ancho estándar de los trenes). La conexión con la red de Portugal se realiza en ancho ibérico a través de los puntos fronterizos de Badajoz/Elvas, Tuy/Valença do Miño y Fuentes de Oñoro/Vilar Formoso. La red de ancho métrico está conectada con la red del Gestor de Infraestructuras Ferroviarias de Euskadi en Áriz (Basauri).

Integración de ambas redes en un Sistema de Información Geográfica

La componente espacial del ejercicio a realizar ha obligado, como primera tarea, a integrar la RCE y la RFIG en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para ello se ha utilizado la definición georreferenciada de ambas redes que han facilitado la Dirección General de Carreteras y ADIF.

Una vez integradas ambas redes en el SIG, se ha definido una relación preliminar de secciones dentro de cada red, tratando que - en general - no haya secciones que abarquen tramos de distinta carretera o línea ferroviaria y que, al mismo tiempo, las secciones sean lo más largas posible, evitando así que su número sea excesivo con intención de facilitar el trabajo subsiguiente.

Esta relación preliminar de secciones ha sido revisada posteriormente por el personal técnico de las Demarcaciones de Carreteras y de las Direcciones de Mantenimiento de ADIF y ADIF Alta Velocidad, con intención de que no haya diferencias significativas de afección por las condiciones climáticas actuales dentro de una misma sección. Tras esta revisión, el número de secciones obtenido ha sido de 710 en la red de carreteras y de 290 en la red ferroviaria, lo que equivale a una longitud media de las secciones de poco más de 35 km en carreteras y de 50 km en el ferrocarril.

4. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED

Metodología empleada para caracterizar la vulnerabilidad

La caracterización de la vulnerabilidad de las redes de carreteras y ferroviaria se ha realizado a partir de una **tipología preestablecida de impactos**. Las tablas 4 y 5 relacionan los impactos considerados. Todos ellos son impactos que – de acuerdo con los resultados del informe realizado en 2013 – pueden ser, a priori, potencialmente relevantes por su posible incidencia sobre las condiciones de circulación y/o por la entidad de los daños ocasionados a la infraestructura. Algunos de los impactos son comunes a ambas redes, mientras que otros son específicos de cada tipo de infraestructura.

Tabla 4

Relación preestablecida de impactos en carreteras por razón de eventos climáticos

*Deslizamiento de laderas y caída de materiales y erosión en **taludes** como consecuencia de **lluvias intensas***
*Erosión de taludes en **terraplén** junto a cauces como consecuencia de **avenidas extraordinarias***
*Insuficiencia de capacidad de las **obras de drenaje** por **lluvias intensas***
*Erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención, e impactos por arrastre de materiales en **obras de fábrica** por **avenidas extraordinarias***
*Aparición de roderas en el **pavimento** como consecuencia de **temperaturas elevadas***
*Insuficiencia de capacidad de **desagüe de la superficie de la calzada** como consecuencia de **lluvias intensas***
*Afectación a las condiciones de **vialidad** por **incendios** en el margen de la vía*
*Afectación a las condiciones de **vialidad** por **nieve***

Tabla 5

Relación preestablecida de impactos en el ferrocarril por razón de eventos climáticos

*Deslizamiento de laderas y caída de materiales y erosión en **taludes** como consecuencia de **lluvias intensas***
*Erosión de taludes en **terraplén** junto a cauces como consecuencia de **avenidas extraordinarias***
*Insuficiencia de capacidad de las **obras de drenaje** por **lluvias intensas***
*Erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención, e impactos por arrastre de materiales en **obras de fábrica** por **avenidas extraordinarias***
*Solicitaciones en vía del **sistema carril-travesía-sujeción** como consecuencia de **temperaturas y/u oscilaciones térmicas elevadas***
*Arrastre y movimiento del **balasto en vía** como consecuencia de **lluvias intensas***
*Afectación al **servicio ferroviario** por **incendios** en el margen de la vía*
*Afectación al **servicio ferroviario** por **nieve** en la red convencional y de ancho métrico*
*Afectación al **servicio ferroviario** por **hielo** en la red convencional y de ancho métrico*
*Afectación al **servicio ferroviario** por **viento muy intenso***

Con carácter general, se ha tratado que cada impacto vincule un componente de la infraestructura (o las condiciones de circulación) con un factor climático principal, sin que ello quiera decir que dicho factor sea necesariamente el causante único del impacto. La relación de impactos se concentra en los impactos directos, sin pretender valorar posibles efectos secundarios o sinérgicos (por ejemplo, el efecto negativo que pueda tener sobre el pavimento de una carretera el uso de sal para prevenir la presencia de hielo en su calzada, o que pueda producirse tras un incendio sobre la escorrentía de una cuenca y el arrastre de materiales). Conviene no olvidar, por último, que los impactos considerados en este ejercicio se refieren únicamente a los ocasionados por eventos climáticos; no se trata, pues, de una relación exhaustiva de todos los impactos que pueden afectar a la circulación y/o a la infraestructura.

El paso siguiente ha sido **caracterizar el nivel de afectación** (reducido/inexistente, moderado o importante) **de las condiciones climáticas actuales a cada sección definida**, empleando para ello una escala similar a la mostrada en la figura 6. Dicho nivel de afectación vendrá determinado habitualmente no solo por la entidad de los eventos climáticos, sino por la edad de la infraestructura, los criterios de diseño empleados, las prácticas de construcción utilizadas en su día, y la manera en que se haya mantenido la infraestructura a lo largo de los años. En esta tarea de caracterización de la vulnerabilidad han intervenido cerca de un centenar de técnicos de las Demarcaciones de Carreteras y de las Direcciones de Mantenimiento de ADIF y ADIF Alta Velocidad (Anejo V).

Figura 6
Escala empleada para caracterizar el nivel de afectación a la red de transporte terrestre

ESCALA DE LOS IMPACTOS									
Afectación inexistente/reducida a la circulación y/o a la infraestructura			Afectación moderada a la circulación y/o a la infraestructura			Afectación importante a la circulación y/o a la infraestructura			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
La afectación a la infraestructura y/o a su funcionalidad es inexistente o reducida en toda la sección. Su reparación es compatible con actuaciones de mantenimiento rutinario. Las condiciones de circulación pueden verse afectadas por limitaciones de velocidad y/o medidas de control de tráfico y/o accesos durante un periodo de tiempo breve (horas).			La afectación a la infraestructura y/o a su funcionalidad es moderada en algún punto de la sección, requiriendo de reparaciones y/o reposiciones modestas. Se pueden producir retrasos a la circulación y/o requerir desvíos de tráfico que pueden prolongarse de horas a días.			La afectación a la infraestructura y/o a su funcionalidad y/o seguridad es significativa en algún punto de la sección, incluso puede llegar a ser total. Su reparación requiere la rehabilitación/ reconstrucción de alguno o varios de los componentes de la infraestructura. Se pueden producir retrasos a la circulación y/o requerir desvíos de tráfico que pueden prolongarse durante semanas o meses.			

El nivel de afectación se califica con un 1 cuando la incidencia es nula, irrelevante o impropcedente. La escala numérica ayuda a matizar, dentro de un mismo nivel de afectación, por razón de proximidad a un nivel contiguo o de frecuencia con la que se da el impacto.

Para evitar la omisión de impactos que pueden ser significativos para la vulnerabilidad de la red, se ha solicitado a los técnicos que han realizado la evaluación que incorporen a la relación de impactos preestablecida cualquier otro impacto cuya afectación a la circulación y/o a la infraestructura se considere moderada o importante.

Con objeto de aunar criterios entre los técnicos durante la evaluación, y tratar de limitar con ello la subjetividad a la hora de calificar el nivel de cada impacto y garantizar la comparabilidad de la evaluación, se han realizado reuniones con todas las Demarcaciones de Carreteras y Subdirecciones de

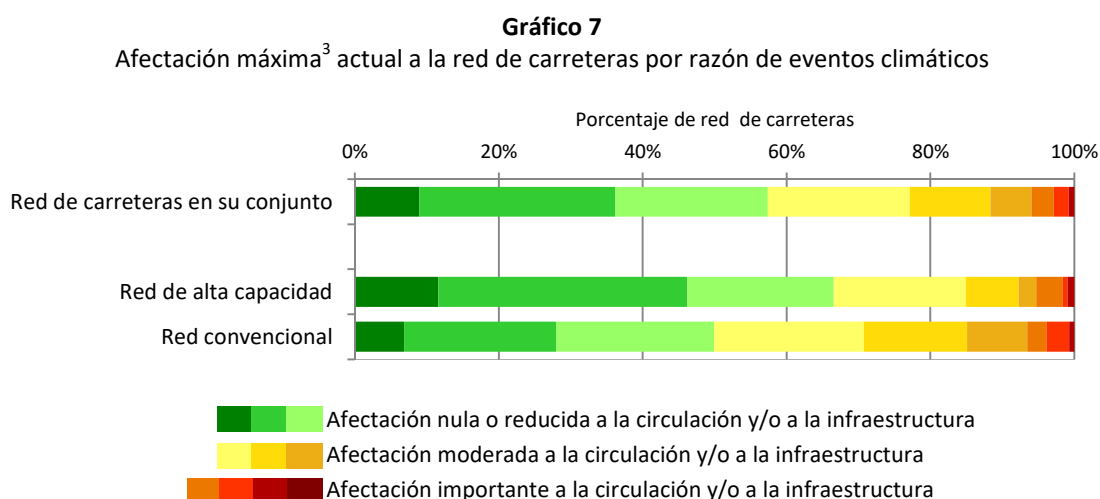
Operaciones de ADIF y ADIF Alta Velocidad. En estas reuniones se ha recordado, en particular, que la vulnerabilidad de una sección estará determinada por la afectación máxima en uno o más puntos de la misma. Este criterio es especialmente relevante para interpretar correctamente las cifras de longitud de red afectada que aparecen a lo largo de este documento, notablemente superior a la longitud de carretera o línea ferroviaria donde se produce realmente la incidencia sobre la circulación y/o el daño a la infraestructura.

Al término del proceso descrito, se ha dispuesto de información para el 98,2% de la RCE (se exceptúan algunos tramos cortos de travesía o pendientes de cambio de titularidad) y el 97,6% de la RFIG (se exceptúan tres secciones por las que no circulan trenes en la actualidad² y algo más de 250 km de línea convencional que son titularidad de ADIF Alta Velocidad y son mantenidos en la actualidad por ADIF).

En la actualidad, la red de carreteras es ¿poco o muy vulnerable?

De la explotación de la información obtenida se deduce que las secciones de carretera que no se ven afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o que lo están de forma reducida según la definición establecida en la escala de impactos utilizada, representan el 57% de la longitud de la red (gráfico 7). En el caso de la red de alta capacidad, este porcentaje alcanza el 66%. Las secciones de carretera en las que hay alguna afectación importante por algún tipo de evento climático suponen el 6% de la longitud de la red.

Ante la tentación que puede surgir de valorar si estos porcentajes son bajos o altos, conviene recordar que la evaluación del nivel de vulnerabilidad de la red es, a los efectos de este ejercicio, un elemento meramente instrumental. La caracterización realizada no tiene por objeto contribuir a un debate sobre el nivel de vulnerabilidad de la red estatal, debate que en todo caso resultaría estéril porque no se dispone de experiencia propia sobre evaluaciones similares realizadas en el pasado, ni tampoco de referencias a la experiencia de otros gestores de infraestructura sobre evaluación de la vulnerabilidad de su red.

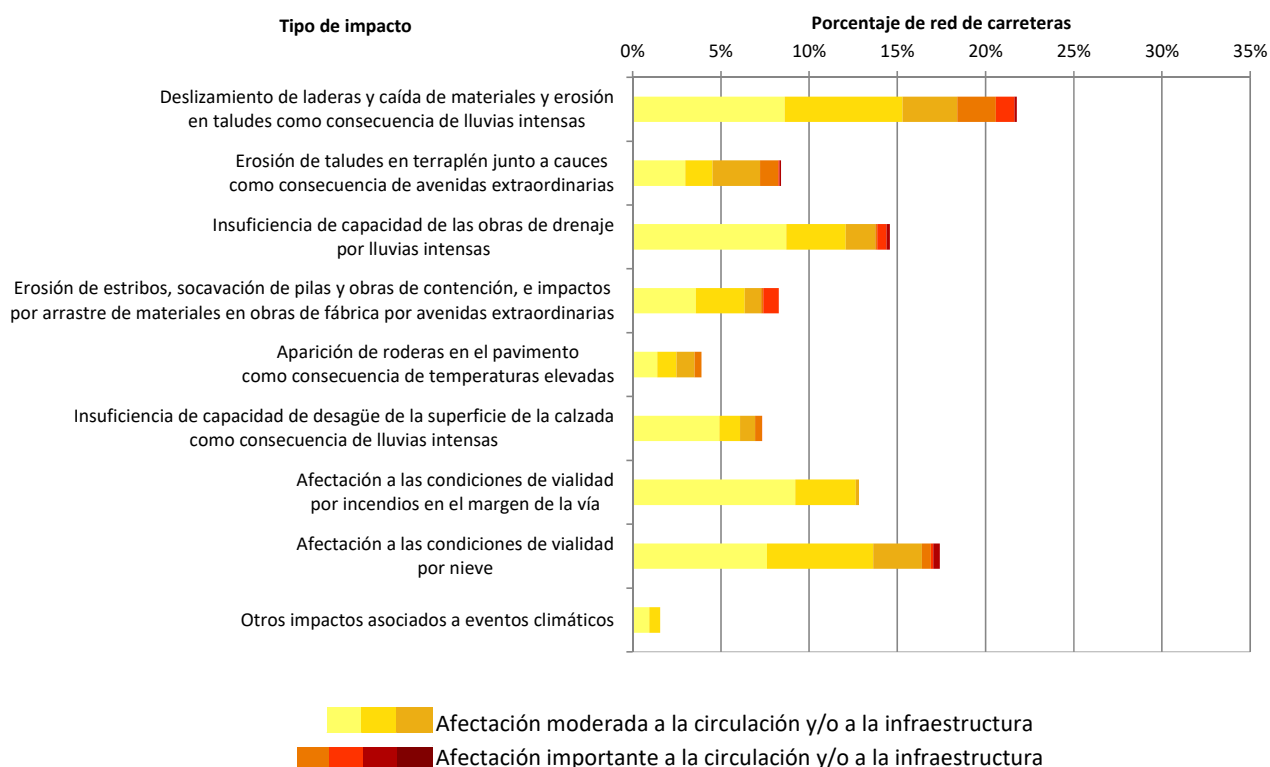


² Bustarviejo-Linares en la línea 102, Soria – Cervera del Río Alhama en la línea 202, y Huéneja-Dólar – Minas del Marquesado en la línea 412.

³ La 'afectación máxima' a una sección es el máximo de los niveles de afectación ocasionados a la sección por cada tipo de impacto.

En los gráficos I.1 a I.8 del Anejo I se aprecia cuál es el porcentaje de la red estatal de carreteras en el que el nivel de afectación es reducido o inexistente, según tipo de impacto. Por regla general, este porcentaje se sitúa por encima del 80%, siendo algo más elevado siempre en la red de alta capacidad que en la red convencional. El gráfico 8 compara con mayor detalle el porcentaje de la red de carreteras que suponen las secciones en las que puede presentarse cada impacto de forma moderada o importante.

Gráfico 8
Vulnerabilidad actual de la red de carreteras, según tipo de impacto



Destaca, por su incidencia, la vulnerabilidad de las obras de tierra, especialmente los problemas asociados a deslizamientos y desprendimientos en taludes. La incidencia en terraplenes y sus defensas por cauces que discurren en paralelo a ellos está menos extendida, aunque sigue siendo significativa en carreteras convencionales. En alguna sección concreta de carretera, el problema geotécnico de inestabilidad no está vinculado necesariamente a las precipitaciones intensas o avenidas extraordinarias. Es el caso de una sección a su paso junto a un embalse, donde el riesgo está asociado a episodios prolongados de sequía que den lugar a un descenso de nivel del embalse. En ese tramo, la carretera discurre muy próxima al embalse y los taludes son altamente inestables. Cuando baja el nivel del embalse, tienden a aumentar los movimientos de ladera y a producirse deslizamientos, al desaparecer el efecto estabilizador que provoca el agua embalsada.

También son relevantes, en términos relativos, los problemas por insuficiencia de capacidad de las obras de drenaje, especialmente en la red convencional, donde todavía se encuentran obras de drenaje diseñadas con criterios de hace varias décadas, y/o cuyo dimensionamiento no ha podido adecuarse todavía a los cambios de uso del suelo que puedan haberse desarrollado en las proximidades de la carretera.

La afectación a la red por aparición de roderas en los pavimentos es, hoy por hoy, pequeña, a pesar de que prácticamente la totalidad de la RCE está pavimentada con materiales bituminosos. Entre los impactos no preestablecidos cuya afectación es moderada o importante, algunas Demarcaciones de Carreteras mencionan – aunque también en una longitud de red poco significativa – el deterioro del pavimento por efecto de lluvias intensas. No se han identificado, sin embargo, problemas significativos en el pavimento por hinchamiento de suelos expansivos en zonas susceptibles a ello.

Por lo que se refiere a las condiciones de vialidad, la nieve es el fenómeno meteorológico que más afecta a la red, normalmente por restricciones a la circulación de vehículos pesados y obligatoriedad de uso de cadenas (que pueden ser prolongadas en el tiempo en algunas secciones) y, excepcionalmente, por cierre total a la circulación. En un número escaso de secciones existe también el riesgo de aludes.

El riesgo de incendio puede afectar, también, a una longitud considerable de red, aunque sus consecuencias sobre las condiciones de vialidad – en el caso de producirse el incendio - se prevean como máximo moderadas, dado el tiempo que normalmente requieren los equipos de extinción para controlar y apagar los incendios. La percepción del riesgo es mayor cuando la carretera discurre próxima a zonas con una masa forestal importante, especialmente cuando se trata de áreas naturales protegidas.

El número de secciones donde hay puntos con insuficiencia de capacidad de desagüe de la calzada y riesgo de aquaplaning es netamente inferior al de secciones con afectación por nieve o riesgo de incendio. La incidencia suele estar localizada y ser consecuencia de un diseño inadecuado o insuficiente de los peraltes de la calzada, o de una capacidad de drenaje insuficiente de las cunetas longitudinales que discurren paralelas a la misma. En casos excepcionales puede ser ocasionada por la pérdida de sección de los cauces de los ríos del entorno de la carretera durante episodios de lluvias intensas. En carreteras de alta capacidad, la afectación no pasa de moderada, mientras que en algunas secciones de carretera convencional la afectación al tráfico puede ser algo más prolongada.

Aunque también se dan impactos distintos a los citados anteriormente, su afectación a la vialidad o a la infraestructura es reducida y/o está localizada en un número escaso de secciones. Es el caso, por ejemplo, de las rachas de viento, que pueden ocasionar la caída de vegetación y señalización, o determinar restricciones temporales de velocidad a los vehículos en puntos concretos de la red. En cuanto a la niebla, es singular el tramo de la autovía A-8 a su paso por el término municipal de Mondoñedo (Lugo), en el que se ha llegado a interrumpir el tráfico y a desviar los vehículos por la carretera N-634 debido a la intensidad de la niebla, en ocasiones durante más de 24 horas.

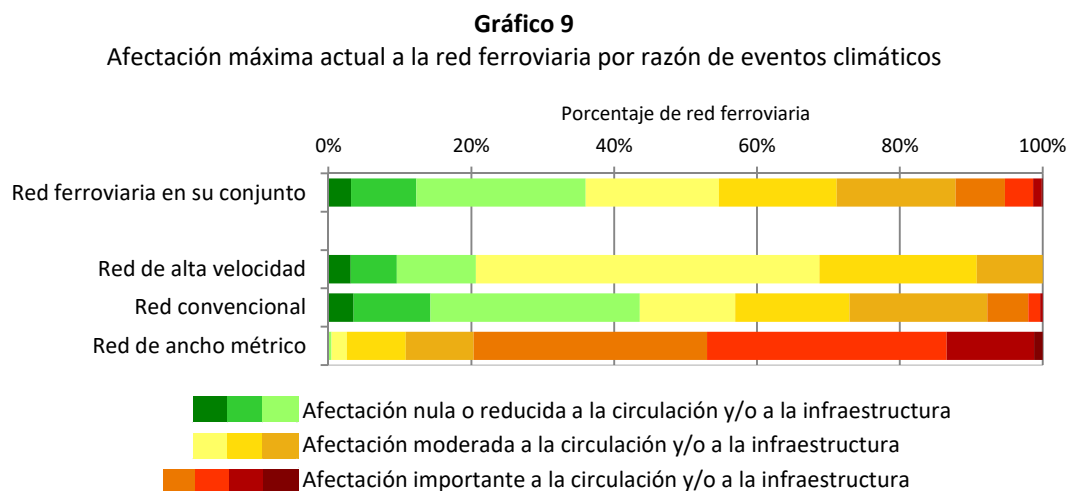
En algún caso, existen problemas con la filtración de agua y su evacuación en túneles. Los daños y/o inundaciones en zonas costeras son asimismo excepcionales, puesto que los tramos de red que discurren muy cercanos al mar son muy escasos. Sólo se han identificado dos secciones donde en la actualidad el mar llega a afectar de forma moderada, ocasionalmente, a la carretera en caso de tormenta.

¿Es relevante que la vulnerabilidad actual de la red ferroviaria sea superior a la de la red de carreteras?

Por lo que se refiere al ferrocarril (gráfico 9), la afectación actual por eventos climáticos es nula o reducida en el 36% de longitud de la red. Las secciones ferroviarias en las que hay alguna afectación importante por algún tipo de evento climático representan un porcentaje de red del 12%.

En esta ocasión puede surgir la tentación de comparar estos porcentajes con los obtenidos en la red de carreteras. Conviene tener presente, no obstante, que el hecho de observar que la vulnerabilidad actual

de la red ferroviaria es superior a la de la red de carreteras no es *per se* sustancial, puesto que la sensibilidad frente al clima de algunos elementos de la infraestructura y los protocolos de explotación de una y otra red no son equiparables.



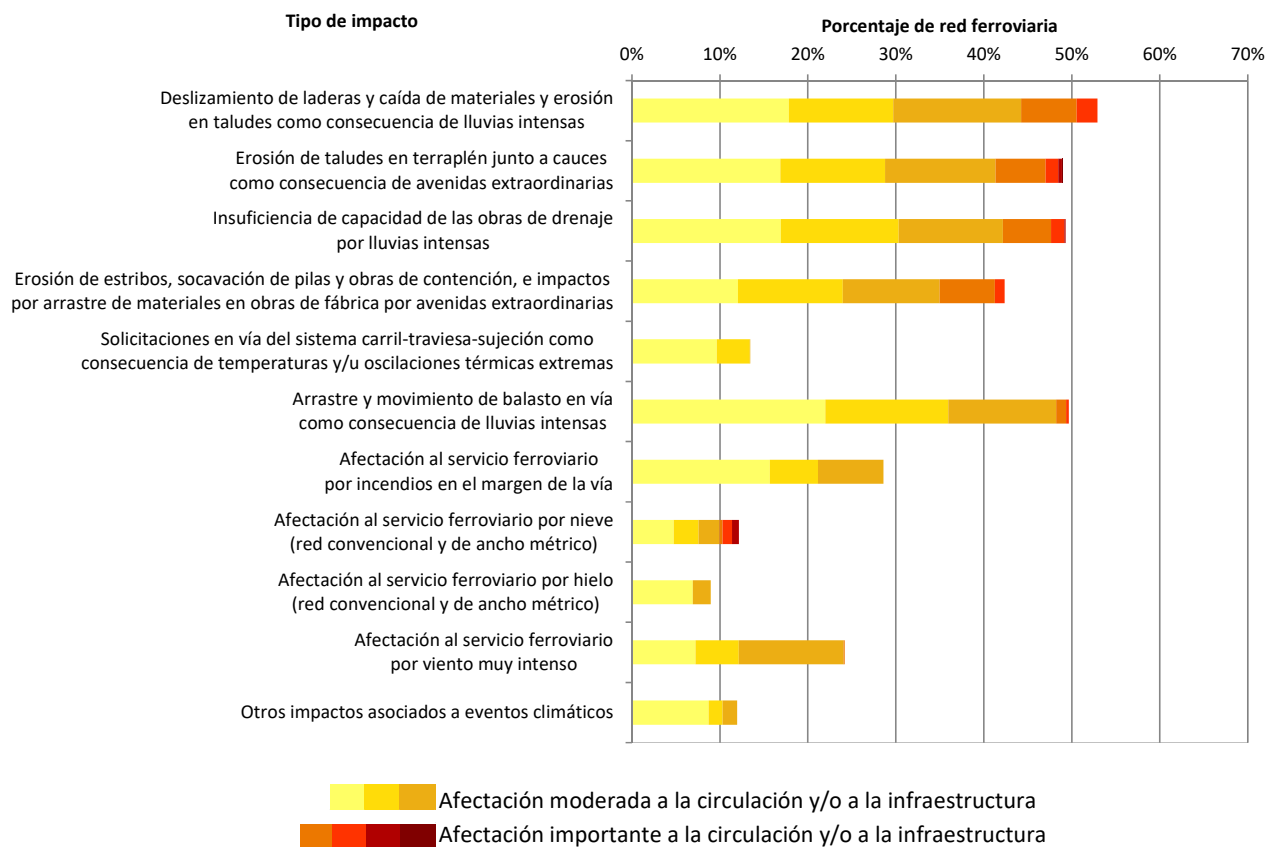
Llama la atención que, en el caso de la red ferroviaria de alta velocidad, el porcentaje de red en el que la afectación es nula o reducida desciende a prácticamente el 20%. Al analizar la afectación según tipo de impacto se observa que ello es debido, sobre todo, a la incidencia de las lluvias intensas sobre los taludes y sobre el balasto en vía.

En cuanto a la red de ancho métrico, en todas las secciones consideradas hay algún tipo de impacto a la circulación y/o a la infraestructura cuya afectación –con carácter localizado o general- es significativa. Conviene tener presente que más del 93% de la longitud de las líneas de esta red son de vía única, lo que sin duda repercute en su grado de vulnerabilidad (así sucede al menos en la red convencional, donde la afectación es nula o reducida en el 33% de las líneas con vía única, frente al 69% de las líneas con vía doble). Es probable que la diferencia en el nivel de afectación a la red de ancho métrico con respecto a la red convencional pueda estar también justificada por su antigüedad, por la topografía y geología del área geográfica donde está mayoritariamente implantada, o por la historia de la intensidad de su mantenimiento y conservación. También contribuyen a ello los criterios utilizados en su concepción y diseño, de economía máxima, con plataformas muy estrictas y trazados muy ceñidos al terreno para evitar en lo posible la construcción de grandes obras de fábrica.

En los gráficos I.9 a I.18 del Anejo I se aprecia cuál es el porcentaje de la red ferroviaria en el que la afectación se estima reducida o nula según tipo de impacto. En el gráfico 10 se observa con mayor detalle el porcentaje de la red que suponen las secciones en las que puede presentarse cada impacto de forma moderada o importante.

Al igual que en carreteras, destaca por su incidencia la vulnerabilidad de las obras de tierra. La longitud de las secciones con taludes con afectación moderada o importante supone más del 50% de la red. En la red de alta velocidad no hay afectaciones importantes en taludes, pero sí una presencia de afectaciones moderadas muy extendida, debido probablemente a la presencia de grandes taludes como consecuencia del diseño de su trazado. La incidencia de las crecidas en cauces que discurren próximos al trazado de la vía ferroviaria es también significativa, especialmente en la red de ancho métrico, en la que los trazados tienden a acomodarse a la orografía del terreno y a menudo discurren próximos a los ríos por el fondo de los valles.

Gráfico 10
Vulnerabilidad actual de la red ferroviaria, según tipo de impacto



También son notorios, en términos relativos, los problemas por insuficiencia de capacidad de las obras de drenaje, en obras de fábrica, y por arrastre y movimiento del balasto en vía. Hay que tener en cuenta que la edad de las líneas de la red ferroviaria convencional y de ancho métrico (que representan más del 82% de la RFIG) es en bastantes casos centenaria, con la incidencia que ello puede tener sobre el dimensionamiento inadecuado de ciertas obras de drenaje, o el deterioro que padecen determinados elementos de las obras de fábrica. Llama la atención, no obstante, que la insuficiencia de capacidad de las obras de drenaje – aunque con afectación bastante moderada - esté también muy extendida en la red de alta velocidad, a pesar de ser una red de construcción reciente y de que se emplean criterios para el dimensionamiento del drenaje similares a los que se utilizan para la red de carreteras. En cuanto al arrastre y movimiento de balasto en vía es mayor en las redes de alta velocidad y de ancho métrico, posiblemente por las exigencias que requiere la circulación a alta velocidad en el primer caso, y por la demora en la intervención que puede provocar la vía única en el segundo.

La afectación a la vía como consecuencia de temperaturas y/u oscilaciones térmicas elevadas es en cambio siempre reducida, salvo en la red convencional, donde en algunas secciones puede alcanzar la consideración de moderada.

Del resto de factores que inciden sobre la circulación ferroviaria destacan el riesgo de incendio y los vientos intensos. La alteración del servicio ferroviario por incendios es, como mucho, moderada, siendo escasa en la red de alta velocidad y más extendida en la red ancho métrico. Los vientos muy intensos apenas afectan al tráfico ferroviario de la red de alta velocidad, pero sí inciden de forma moderada sobre la circulación en una parte de la red convencional y de ancho métrico, especialmente cuando la

línea es de vía única. En la mayoría de los casos, la incidencia suele estar provocada por la caída de árboles u otros objetos sobre la vía, pudiendo afectar al sistema de electrificación cuando existe. Excepcionalmente se ha llegado a producir la descomposición de cargamento en algún tramo particularmente expuesto a fuertes rachas de viento.

De acuerdo con los resultados del informe realizado en 2013, la afectación por nieve y hielo a la red de alta velocidad es, a juicio del gestor de la infraestructura, despreciable. Los resultados obtenidos en este ejercicio indican que su incidencia puede llegar en cambio a ser moderada en algunas secciones de la red convencional, e importante en las secciones de la red de ancho métrico que discurren paralelas a la cordillera Cantábrica por el norte de las provincias de León, Palencia y Burgos.

La información recopilada ha permitido por último confirmar que, aunque también se dan en la red ferroviaria impactos distintos a los preestablecidos, su repercusión sobre las condiciones del tráfico o sobre la integridad de la infraestructura es reducida. Únicamente en un número escaso de secciones de la red convencional la afectación llega a ser moderada por causa de descargas atmosféricas, de la niebla, de la acción del mar (por erosión de taludes en terraplén muy próximos a la costa en caso de temporal, o por la subida de las aguas durante las mareas vivas) o de la corrosión de componentes en zonas cercanas al mar o en albuferas.

5. CAMBIOS EN EL NIVEL DE EXPOSICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA POR RAZÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Este capítulo describe cuál es la previsión de condiciones climáticas a las que pueden verse enfrentadas la RCE y la RFIG por razón del cambio climático. Dicha previsión se ha obtenido a partir de la información de cambio climático proporcionada por AEMET. Para valorar la posible repercusión del cambio climático sobre la vulnerabilidad de la red que está actualmente en explotación se ha estimado suficiente considerar un **horizonte temporal de previsión de 30 años**.

Mejoras en la caracterización de los fenómenos extremos y de su distribución espacial en la Península

El análisis de las necesidades de adaptación al cambio climático de la red española realizado en 2013 permitió constatar algunas limitaciones en cuanto a la disponibilidad de proyecciones de algunas variables de interés para la gestión de las infraestructuras de transporte. En este ejercicio se ha hecho un esfuerzo para tratar de paliar dos de esas limitaciones:

- En primer lugar, la que se refiere a la caracterización de los cambios en los fenómenos extremos, fundamental desde la perspectiva del gestor de la infraestructura de transporte. A este respecto, AEMET ha proporcionado la siguiente información sobre temperatura del aire, precipitación y viento en superficie:
 - Datos anuales del percentil 95 de la temperatura máxima diaria.
 - Datos anuales del número de días con temperatura mínima < 0°C.
 - Datos anuales del percentil 99 de la oscilación térmica máxima diaria.
 - Datos anuales del percentil 95 de la precipitación diaria.
 - Datos mensuales de la precipitación máxima en 24h.
 - Datos mensuales de la velocidad máxima del viento.

Los datos sobre percentil 99 de la oscilación térmica máxima diaria los ha generado AEMET de forma *ad hoc* para este ejercicio, al no estar disponibles en su servidor web. Los datos sobre valor máximo mensual de la velocidad del viento los ha generado también AEMET de forma *ad hoc*, puesto que por defecto ofrece únicamente datos de valor promedio mensual.

- En segundo lugar, se ha intentado disponer – para cada una de las variables citadas anteriormente - de proyecciones con un nivel de definición espacial compatible con el análisis que requiere la implantación de la red estatal de transporte sobre el territorio. Para ello, AEMET ha extraído – a partir de los resultados disponibles en Euro-Cordex⁴ - proyecciones obtenidas con simulación dinámica por una decena de modelos regionales anidados a diversos modelos globales, con una escala de resolución espacial de 0,11 grados (unos 12 km).

Conviene señalar que el análisis de las necesidades de adaptación al cambio climático de la red española realizado en 2013 permitió constatar otras limitaciones, que aún se mantienen pasados cinco años. Por una parte, sigue sin disponerse de proyecciones de algunas variables o fenómenos señalados entonces, por ejemplo, de la nieve, de la niebla o de las descargas eléctricas. Tampoco se ha avanzado apenas en la disposición de proyecciones de algunos parámetros propios de la ingeniería que resultan de interés

⁴ Euro-Cordex es una iniciativa patrocinada por el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas encaminada a facilitar la producción organizada de proyecciones regionalizadas de cambio climático, con objeto de que sirvan de base para los estudios sobre adaptación al cambio climático durante el periodo de vigencia del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

particular para el gestor de la infraestructura y en cuyo cálculo intervienen variables climáticas, como el caudal máximo de las avenidas.

¿Hasta qué punto es útil para el gestor de la infraestructura la consideración de más de un escenario de cambio climático?

Con objeto de facilitar la labor de reflexión y análisis sobre cuáles son las consecuencias previsibles del cambio climático, en este ejercicio se ha considerado un único escenario de cambio climático. Este escenario se ha definido como la **situación más desfavorable de las previstas por los escenarios RCP4.5 y RCP8.5**. Los RCP (por sus siglas del inglés “*representative concentration pathways*”) o “trayectorias de concentración representativas” constituyen el grupo de escenarios utilizado por la comunidad científica para elaborar el Quinto Informe de Evaluación del IPCC. Los RCP representan el forzamiento radiativo total calculado para el año 2100 respecto de los niveles preindustriales (por ejemplo, el RCP2.6 significa $2,6 \text{ W/m}^2$). De los cuatro RCP utilizados en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, se podría decir que el RCP2.6 representa un escenario de mitigación, el RCP4.5 y el RCP6.0 son escenarios de estabilización, y el RCP8.5 corresponde a un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero.

Hacia una mayor disponibilidad de mapas de proyecciones de cambio climático

AEMET ha proporcionado la información de cambio climático en forma de ficheros de texto, aptos para su integración en un SIG previa transformación a formato ráster (un fichero por cada variable climática, modelo, escenario y periodicidad del dato). Los mapas de previsión de cambio de exposición a 30 años se han obtenido por diferencia de las proyecciones en los periodos 2040-2050 y 2010-2020. La utilización de datos de una década tiene por objeto limar el efecto de la variabilidad climática que suelen presentar los resultados de los modelos. Trabajar con anomalías (incrementos en un periodo) en lugar de hacerlo con valores absolutos, contribuye a limitar los efectos negativos de la falta de calibración de los modelos. Con estos criterios, la elaboración de cada mapa ha supuesto procesar 440 ficheros de texto en el caso de datos climáticos proporcionados por AEMET con periodicidad anual, y 5.280 en el supuesto de periodicidad mensual. Las figuras 12 a 16 muestran los mapas obtenidos, tal como han sido finalmente incorporados al SIG. En estos mapas se representa el cambio de intensidad de cada variable a 30 años, en valor absoluto, calculada como promedio de los diez modelos considerados, en el escenario más desfavorable. Para facilitar la valoración del cambio de vulnerabilidad que ello puede suponer, se han elaborado también mapas semejantes en términos de variación porcentual con respecto a la situación climática actual.

Se han elaborado, asimismo, mapas para tratar de visualizar la incertidumbre asociada a la simulación y cálculos de los diez modelos considerados. Es interesante constatar que la desviación estándar respecto de la media de los diez modelos suele ser inferior al valor absoluto de la variación media obtenida cuando se modelizan temperaturas, pero a menudo es superior a dicho valor promedio cuando se modeliza precipitación y, en menor medida, viento. En el informe de 2013 ya se apuntaba que los resultados relativos a la precipitación presentan una incertidumbre notoria, no solo por el error que introducen los métodos de regionalización cuando se aplican a la precipitación, sino por la posición de la Península Ibérica en la zona de transición entre las latitudes altas, en las que aumentará la precipitación, y la zona subtropical, en la que habrá reducciones de precipitación. Aunque no es el objeto de este ejercicio, el conocimiento y manejo de dicha incertidumbre es imprescindible en el supuesto de que se decida evaluar distintas alternativas de adaptación para aumentar la resiliencia de la infraestructura.

Merece la pena significar que la distribución espacial del cambio de intensidad obtenida para la precipitación máxima en 24h es diferente según se haya trabajado con datos anuales del percentil 95 de

la precipitación diaria, o con datos mensuales de la precipitación máxima en 24h. En el primer caso los cambios más intensos se obtienen en la costa mediterránea, y en el segundo caso en el noroeste peninsular. Ante esta situación se ha procedido con idéntico criterio que en el caso de los escenarios de cambio climático, habiendo considerado la situación más desfavorable de ambas proyecciones.

La labor de elaboración de la colección de mapas descrita anteriormente ha sido ardua. Diversas iniciativas nacionales e internacionales actualmente en marcha hacen presagiar, no obstante, que el gestor de la infraestructura podrá muy pronto dotarse a través de proveedores de servicios climáticos de los mapas de previsiones de cambio climático que precise sin necesidad de dedicar recursos de personal propios.

Cambios previstos en el nivel de exposición

La evaluación del cambio de vulnerabilidad que puede experimentar la red estatal de transporte terrestre en las próximas décadas se ha hecho a partir de las previsiones de cambio climático contenidas en los mapas de las figuras 11 a 15. Estas previsiones se han complementado, en caso necesario, con información incluida en su día en el informe de necesidades de adaptación al cambio climático realizado en 2013, actualizada con la que la web de AEMET proporciona en la actualidad de forma agregada para toda España⁵ y con tendencias que se citan en alguna referencia de naturaleza científica⁶.

Las proyecciones de la **temperatura media** indican que en toda España se proyecta un incremento de la temperatura media superficial. El calentamiento medio será más notable en verano que en invierno. No todas las regiones experimentarán el mismo grado de calentamiento medio: mientras que el incremento térmico proyectado en invierno será bastante similar en todas las regiones, las diferencias territoriales se acrecentarán un tanto en verano, siendo los aumentos de temperatura media más altos en las regiones del interior y sur peninsular que en zonas próximas a la costa. En todas las regiones las **temperaturas máximas diarias** tenderán a incrementarse algo más que las temperaturas medias. Este incremento será más pronunciado en el interior del tercio norte peninsular, especialmente en el interior de Galicia (figura 11).

Las temperaturas mínimas diarias también aumentarán, aunque algo menos que las temperaturas medias. Como consecuencia, se reducirá en toda la Península el promedio anual de **días con riesgo de helada**, esto es, de días con temperatura mínima inferior a 0°C. Esta reducción será en general más marcada en zonas de montaña (figura 12). Habrá asimismo tendencia a que la **oscilación térmica diaria máxima** se acreciente ligeramente, especialmente en la mitad norte peninsular (figura 13).

En cuanto a la **precipitación acumulada anual**, se proyecta en general una tendencia progresiva a su disminución, más pronunciada hacia el sureste peninsular que en el norte y noroeste, con disminuciones que oscilan en torno al 5 o 10% dependiendo de la región.

Por lo que se refiere a las **precipitaciones extremas** de corta duración, se prevé un aumento de su intensidad, especialmente en el noroeste y levante peninsular (figura 14), con lo que podría aumentar el riesgo de **inundaciones localizadas**. Se prevé asimismo un aumento de la intensidad de las **tormentas**⁷

⁵ http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat

⁶ *Regionalización de escenarios climáticos para la evaluación del riesgo de incendios: Desarrollo y Aplicaciones.* Tesis Doctoral. Joaquín Bedia Jiménez. Universidad de Cantabria.

⁷ Se denomina tormenta a una o varias descargas bruscas de electricidad atmosférica, que tiene una manifestación luminosa que es el relámpago y otra sonora en forma de trueno. Los rayos son descargas con relámpago que alcanzan el suelo.

durante los fenómenos convectivos que habitualmente tienen lugar en verano-otoño. La mayor irregularidad del régimen de precipitaciones ocasionará un aumento en la irregularidad del régimen de crecidas y de crecidas relámpago, pudiendo éstas incluso aumentar de magnitud en áreas del Mediterráneo.

De manera general, no se proyectan cambios significativos en la **intensidad del viento** en superficie. Del análisis de los datos regionalizados disponibles se desprende que existe una tendencia– en general - a la disminución de la velocidad del viento y de la racha máxima, excepto en algunas zonas en las que la tendencia es al aumento, aunque de forma moderada (figura 15), normalmente durante episodios intensos de tipo convectivo.

En general, se prevé un incremento claro del peligro potencial de **incendios** en amplias zonas de España, más acentuado en el interior, y un progresivo aumento de la duración del peligro potencial. Como consecuencia de ello, es previsible que se incremente el número de incendios y la estación de incendios.

En relación con las **nevadas**, se prevé una disminución de su frecuencia como consecuencia del descenso de precipitaciones y aumento de la temperatura.

Se prevé, por último, una subida del **nivel del mar**. Para valorar su efecto en los tramos de la RCE y de la RFIG que discurren muy próximos a la costa, se ha tomado como referencia una elevación del nivel medio de 20 cm. Este aumento de nivel afectará no solo a la subida de las aguas durante las mareas vivas sino que potenciará la acción del mar sobre la infraestructura en caso de temporal.

Figura 11

Alteración de la temperatura máxima diaria en los próximos 30 años

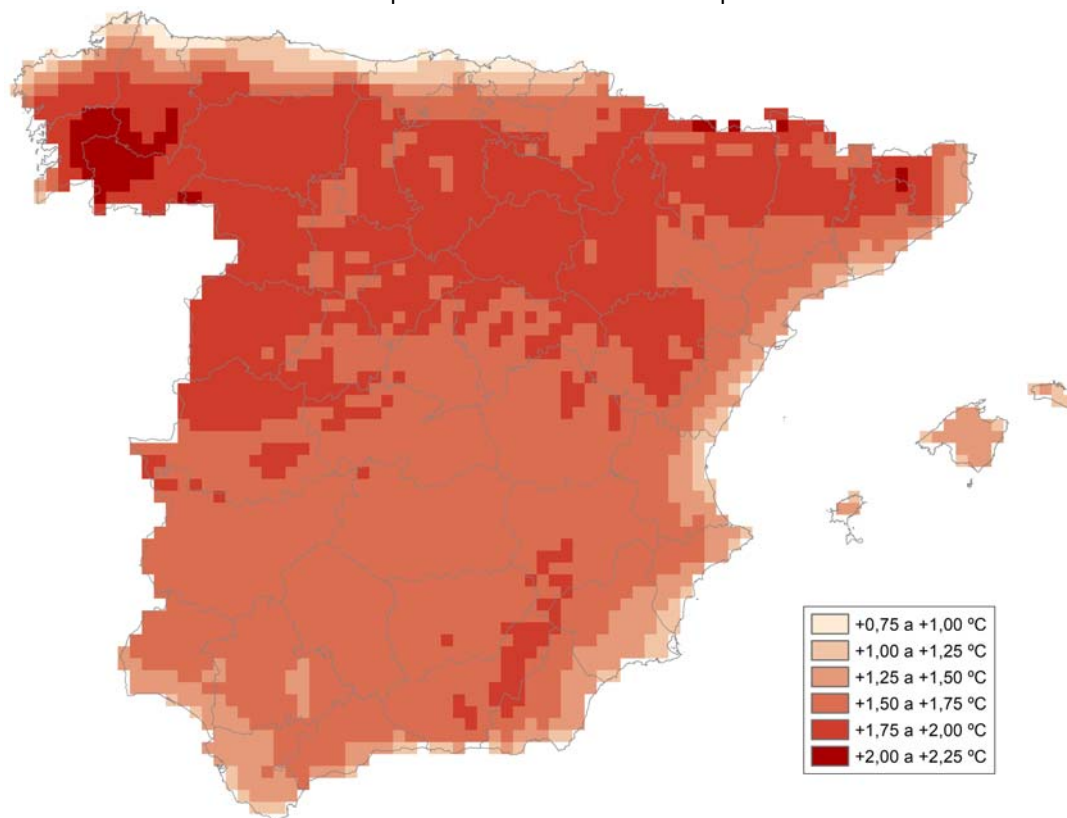


Figura 12

Alteración del número de días al año con temperatura $< 0^{\circ}\text{C}$ en los próximos 30 años

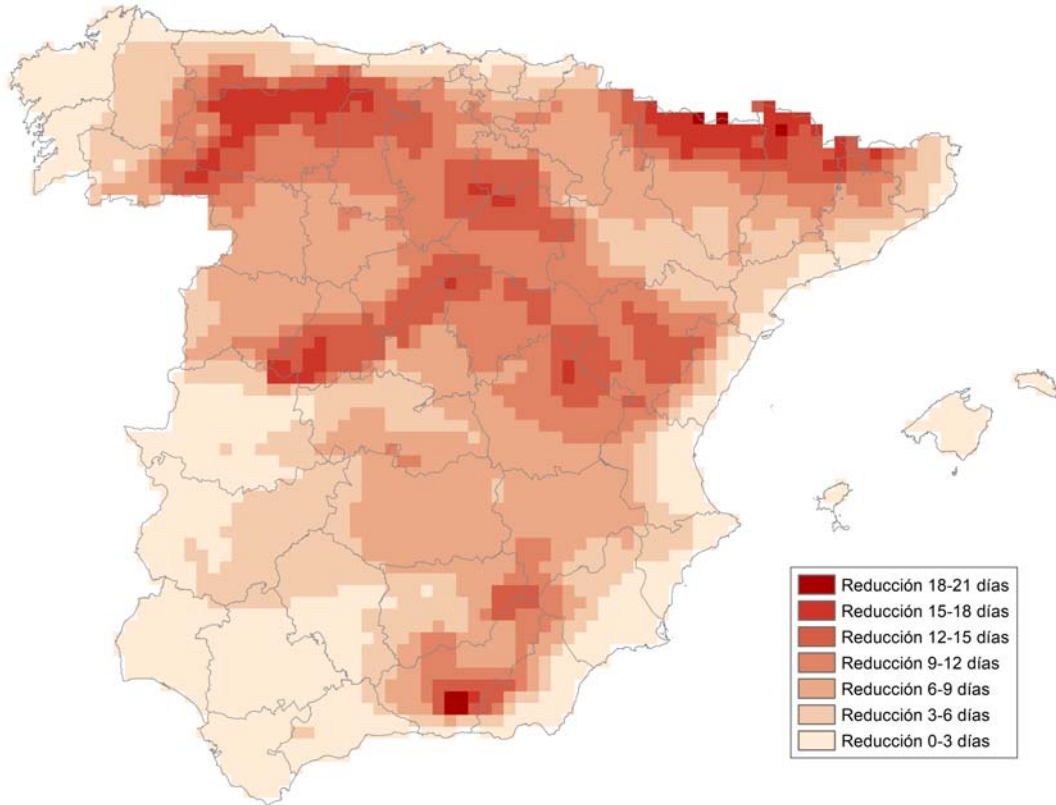


Figura 13

Alteración de la oscilación térmica máxima diaria en los próximos 30 años

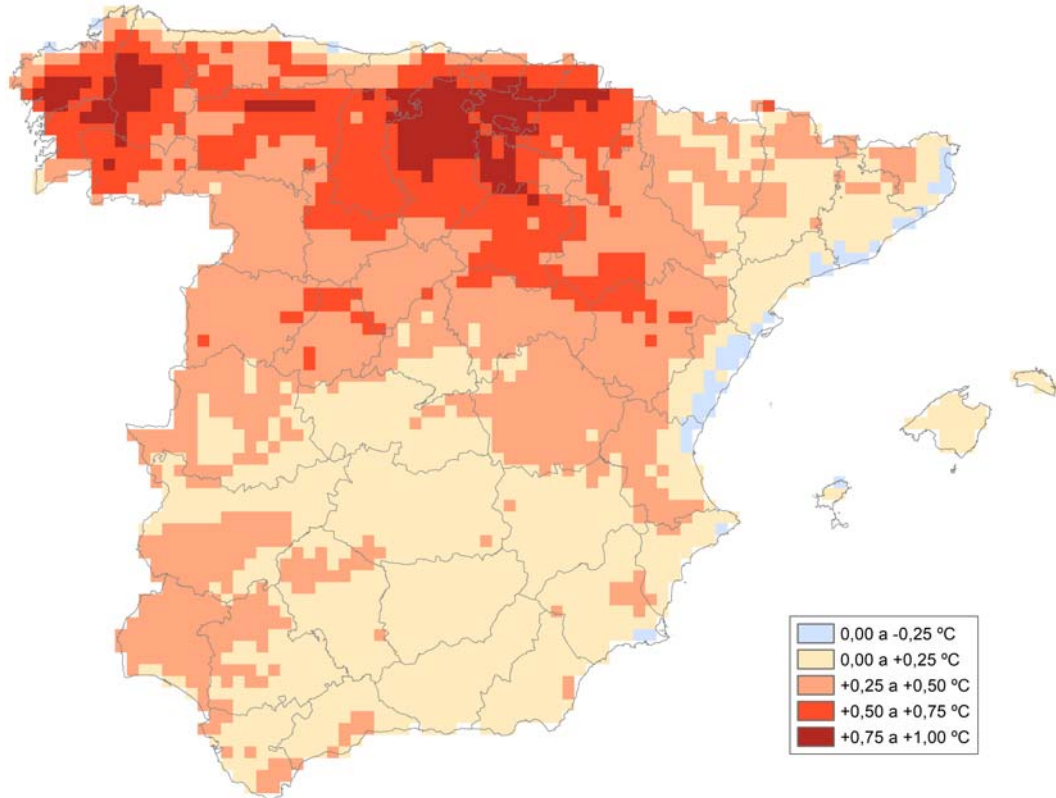


Figura 14

Alteración de la precipitación máxima en 24 h en los próximos 30 años

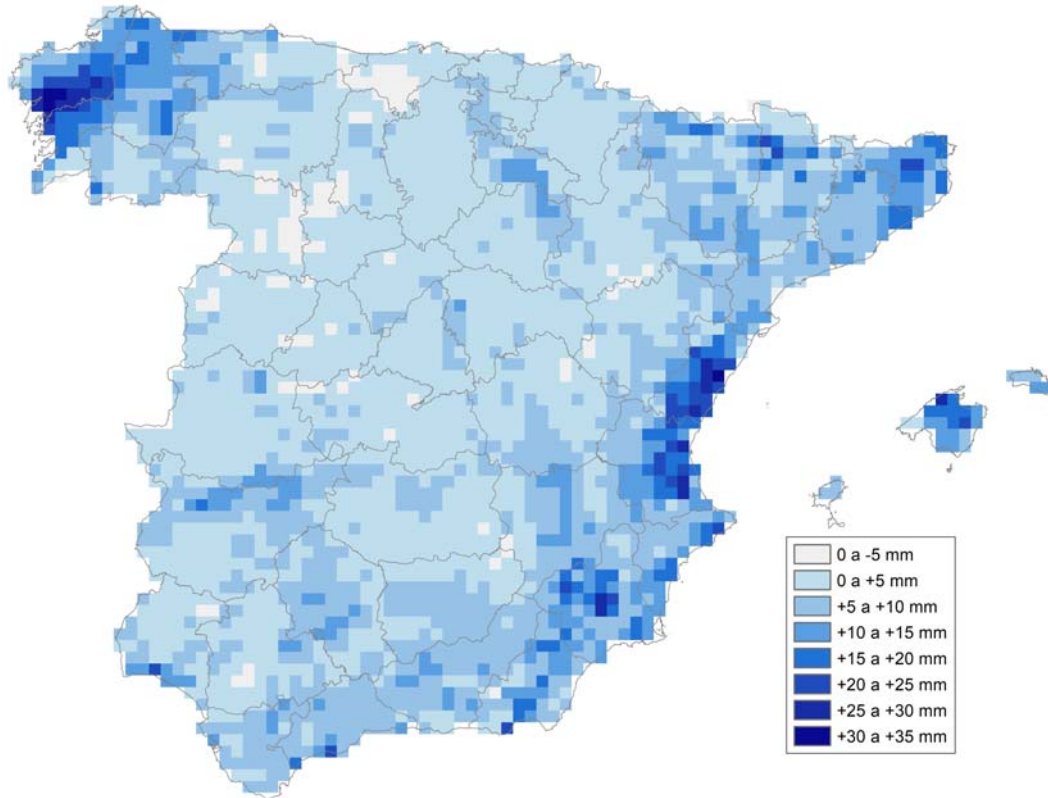
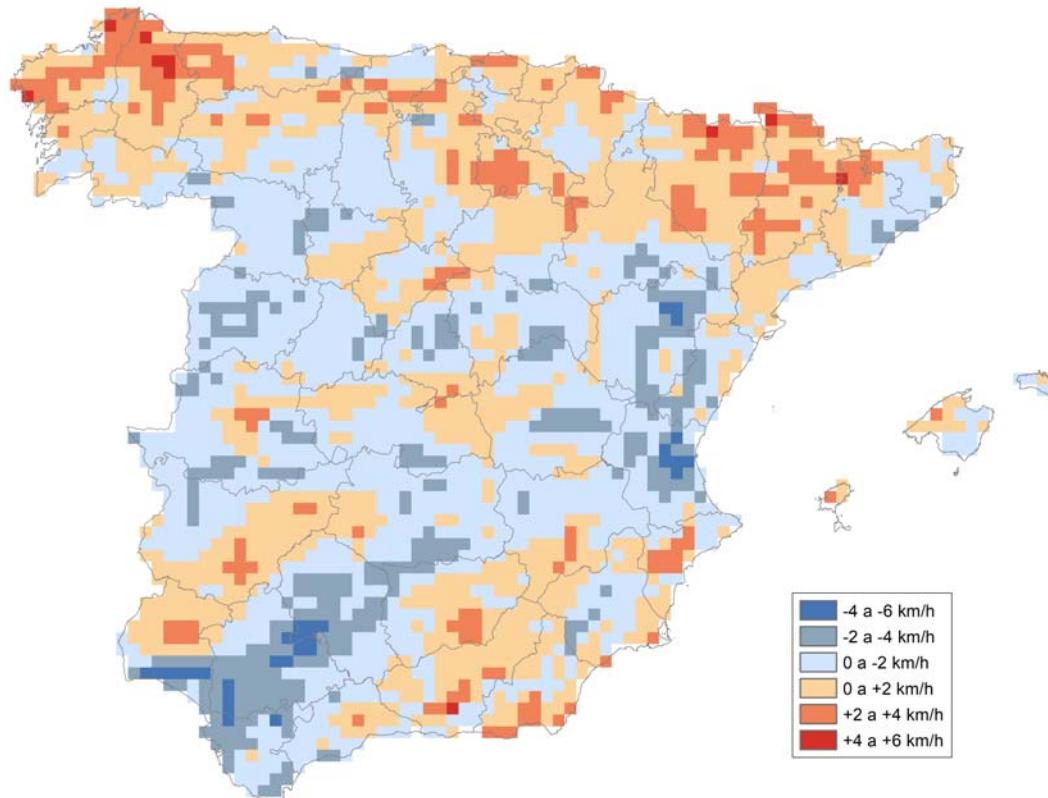


Figura 15

Alteración de la velocidad máxima del viento a 10 m en los próximos 30 años



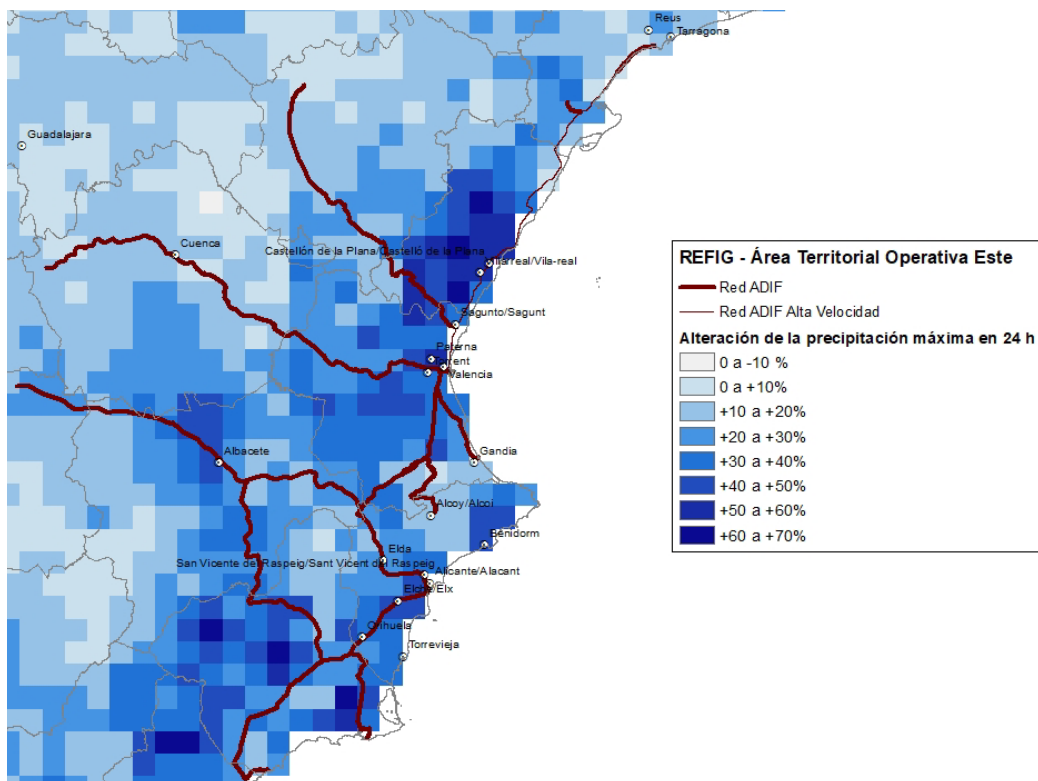
6. VULNERABILIDAD DE LA RED EN EL FUTURO

En este ejercicio, la caracterización de la vulnerabilidad de la red en el futuro se ha apoyado, esencialmente, en el juicio experto de los mismos técnicos de la Dirección General de Carreteras y de ADIF y ADIF Alta Velocidad que han evaluado la vulnerabilidad actual de la red. A dichos técnicos se les ha solicitado que estimaran – con la misma escala descrita en la figura 6 - cuál puede ser el nivel de afectación a cada sección en el supuesto de que las condiciones climáticas en el futuro se correspondan con las descritas en el capítulo anterior. Para facilitar la labor de los técnicos, se han distribuido los mapas de previsión de cambio climático a una escala apropiada, con la red de infraestructuras representada en ellos (figura 16).

Es de prever que, con carácter general, la vulnerabilidad de una infraestructura de transporte varíe con los años en función de su vulnerabilidad actual, del efecto que pueda tener el paso del tiempo sobre su envejecimiento, de las posibles alteraciones meteorológicas que puedan producirse como consecuencia del cambio climático, y de las actuaciones de mantenimiento, rehabilitación y/o mejora que todo gestor de infraestructuras suele acometer durante la vida útil de la infraestructura, en función de la disponibilidad presupuestaria.

En este ejercicio, al caracterizar la vulnerabilidad de la red en el futuro, se ha supuesto que las condiciones actuales de la infraestructura permanecen inalteradas, es decir, con un nivel de mantenimiento similar al actual, pero sin acometer actuaciones de rehabilitación y/o mejora. Se ha obviado, asimismo, el efecto que pueda tener el paso del tiempo sobre el envejecimiento de los componentes de obra civil de la infraestructura (obras de tierra, obras de drenaje, obras de fábrica) y en el desgaste por uso de los pavimentos y vías, pero no sobre las instalaciones ferroviarias de electrificación de las líneas y de señalización y comunicaciones.

Figura 16
Ejemplo de mapa distribuido a la Subdirección de Operaciones RC Este de ADIF



Acerca de una posible falta de objetividad de la metodología empleada ...

La metodología empleada para evaluar el cambio de vulnerabilidad es simple y pragmática a la vista del objetivo del ejercicio. Es cierto, sin embargo, que puede suscitar algunas objeciones. En particular, se puede aducir la existencia de cierta subjetividad a la hora de enjuiciar la entidad del cambio de vulnerabilidad. Los resultados obtenidos de la evaluación efectuada por más del centenar de técnicos han sido, sin embargo, significativamente convergentes en cuanto al grado de incidencia que se espera que pueda tener el cambio climático sobre la vulnerabilidad actual de la red, lo que otorga cierta confiabilidad a la metodología utilizada.

Los gráficos de la figura 17 dan idea de la dispersión obtenida al calificar el cambio de vulnerabilidad de todas las secciones de las redes de carreteras y ferroviaria. En los impactos asociados al cambio de precipitación y temperatura, para los que se prevé un aumento de sus máximos, la escala del cambio (según la escala de valores de 1 a 10 descrita en la figura 6) suele variar entre 0 y +2 o, en un número muy reducido de secciones, +3. En los impactos relacionados con las condiciones invernales (nieve y hielo) y el viento, se estima que el nivel de afección puede disminuir ligeramente en algunas secciones, lo que es coherente con la reducción del número de días con temperatura inferior a 0°C y de la intensidad máxima de las rachas de viento reflejada en los mapas de previsión de cambio climático.

Con ayuda del SIG, se ha intentado verificar hasta qué punto el cambio de vulnerabilidad apreciado por los técnicos guarda relación con un cambio de intensidad de los eventos climáticos. Las correlaciones obtenidas, aunque apuntan en esa dirección, son sin embargo débiles. Ello puede ser debido a que resulta difícil escalar la entidad del cambio de afectación dentro de un rango tan reducido de opciones (valores, por lo general, de 0, +1 o +2).

Resulta particularmente interesante fijarse en los valores medios de la estimación del cambio de la vulnerabilidad representados en los gráficos de la figura 17, pues reflejan cuál es la resiliencia al cambio climático percibida de forma global para el conjunto de la red.

En la **red de carreteras**, este valor medio está en torno a +0,6 en los impactos asociados al aumento de precipitaciones intensas (algo menos para posibles inundaciones de la calzada), a +0,5 por aumento del riesgo de incendios, y a +0,4 por posible afectación al pavimento en forma de roderas por aumento de las temperaturas. Estos valores apenas sufren cambios según se diferencie entre red de alta capacidad y red convencional.

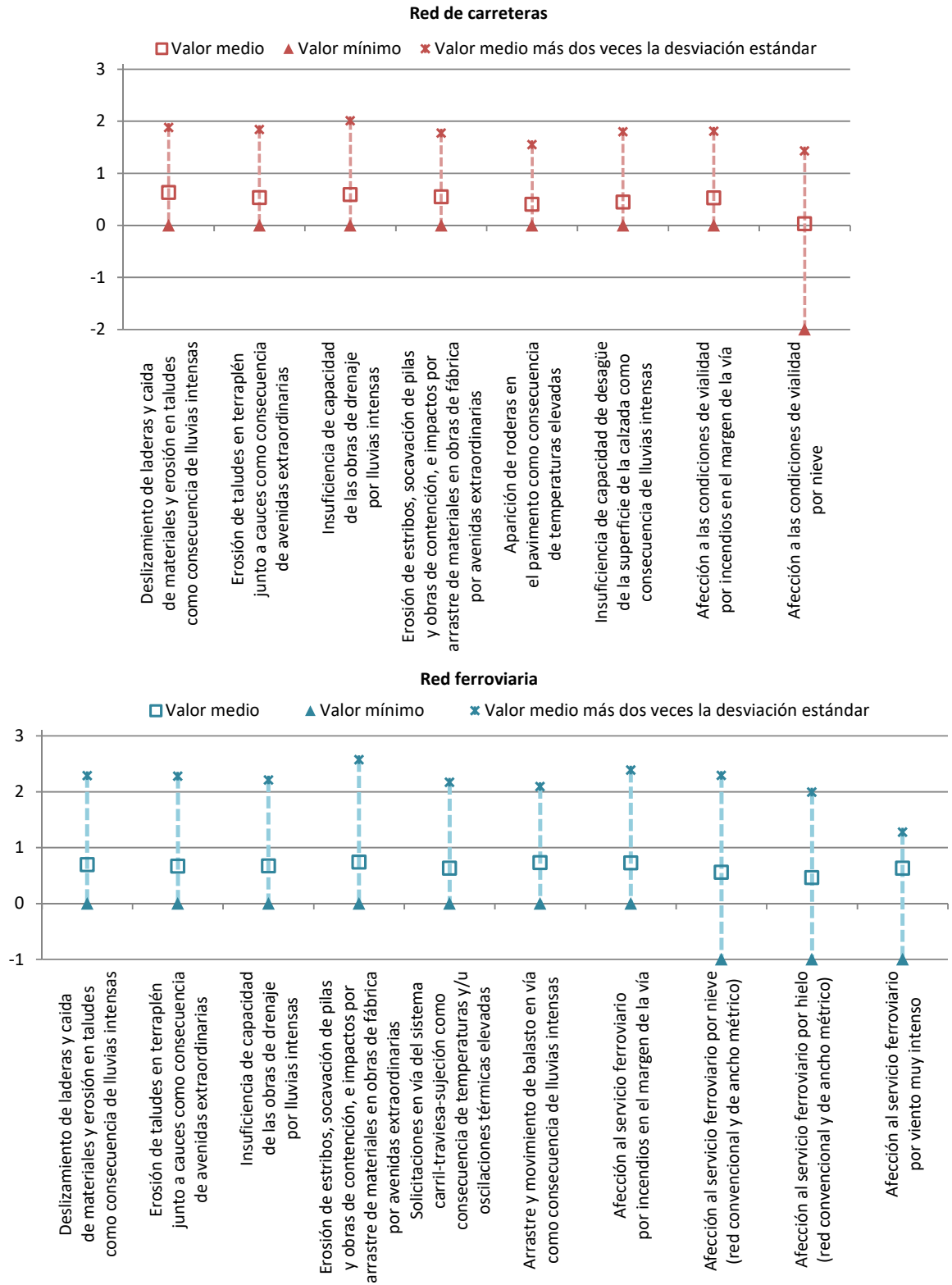
El cambio de afectación por nevadas es, en promedio, nulo, aunque sin unanimidad de criterio en cuanto al sentido de este cambio, al no disponer de previsiones claras sobre el efecto del cambio climático en las nevadas. Es cierto que se prevé una reducción generalizada del número de días con temperatura inferior a 0°C, pero al mismo tiempo pueden darse episodios de precipitación más intensa. Además, aunque las nevadas fueran menores, la experiencia ha demostrado que la incidencia al tráfico en las carreteras españolas no es necesariamente inferior con nevadas menos intensas y/o frecuentes.

En la **red ferroviaria**, el valor medio del cambio de afectación se sitúa, en general, en torno a +0,7 puntos, salvo en el caso de impactos por nieve y/o hielo en la red convencional y de ancho métrico, para los que se percibe que el cambio de afectación va a ser menor (+0,5).

En la red ferroviaria llama la atención el hecho de que las incidencias por hielo puedan aumentar en algunas secciones a pesar de que las previsiones climáticas señalan una reducción del número de días con riesgo de helada en toda la Península. La sensación de algunos técnicos es que dicha reducción no alcanzará, no obstante, a compensar el efecto del paso del tiempo sobre el armamento de algunas líneas de la red convencional, antiguo y en mal estado.

Figura 17

Estimación de los cambios de vulnerabilidad de la red estatal de transporte terrestre, según tipo de impacto

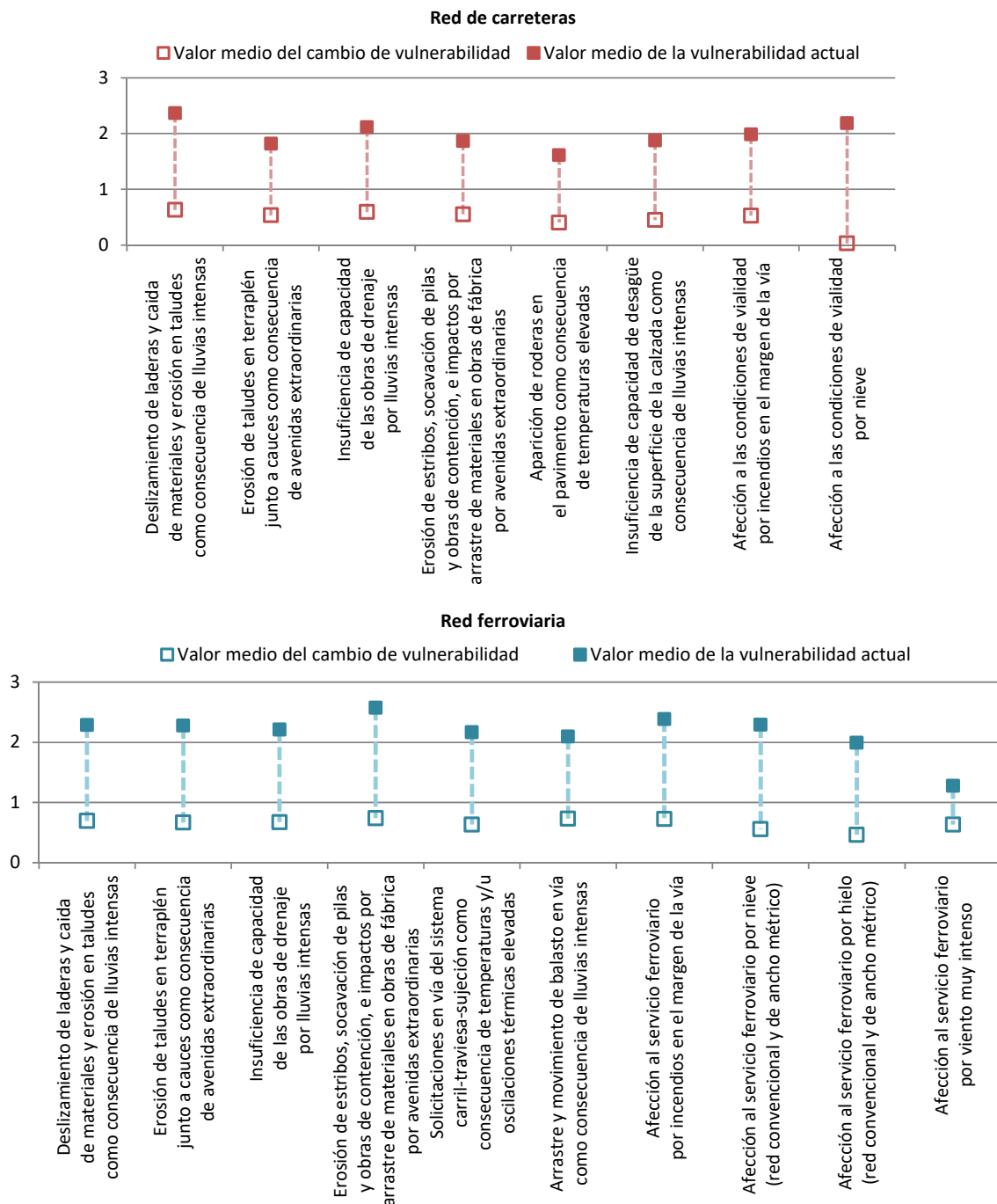


En la red de alta velocidad, el valor medio del cambio de afectación es algo más reducido (+0,6), salvo en el caso de impactos sobre el balasto en vía, por viento intenso y por incendios en el margen de la vía,

para los que el valor es de +0,9 puntos. La dispersión en la apreciación del cambio de afectación a la red de alta velocidad es asimismo más reducida que para la red convencional y de ancho métrico.

A la vista de los datos anteriores, se puede concluir que el efecto del cambio climático sobre la vulnerabilidad de la red de transporte terrestre puede ser algo mayor en el ferrocarril que en la carretera. Dicha apreciación parece consistente con los resultados obtenidos respecto de la vulnerabilidad actual de ambas redes.

Figura 18
Comparación de la entidad de los cambios de vulnerabilidad en la red estatal de transporte terrestre respecto de su vulnerabilidad actual, según tipo de impacto



Lo más llamativo de los datos anteriores es, con todo, que la entidad del cambio de vulnerabilidad a 30 años es en promedio – tanto para la red de carreteras como de ferrocarril - netamente inferior a la vulnerabilidad que ya tienen en la actualidad gran parte de sus secciones, como muestran los gráficos de la figura 18.

... o de completitud de los resultados obtenidos

Otra posible limitación del método utilizado para estimar el cambio de afección causado por el cambio climático es que se infravalore la *vulnerabilidad subyacente*, entendiendo como tal aquella que puede permanecer oculta debajo de una resiliencia aparente. Esta limitación ha sido suscitada por los propios técnicos que han participado en la evaluación de la vulnerabilidad, y parece difícilmente subsanable en un ejercicio a nivel de red como el planteado, sin recurrir a un análisis de riesgos de detalle a nivel de tramo. La sensación es que esta limitación no pone en cuestión la validez de este ejercicio, pero conviene asumir el hecho de que es factible que en algunas secciones de la red se puedan producir afectaciones que no hayan sido identificadas en el marco de este ejercicio, de la misma forma que ocurre en la red actual a pesar de tomar a priori las precauciones pertinentes.

Una de las afectaciones que se estima, en particular, que puede haber sido infravalorada en este ejercicio es el daño al pavimento de las carreteras por efecto de la precipitación. El mantenimiento de las condiciones del pavimento de una sección tiene la particularidad de que se realiza de forma periódica. La reducción del número de estas actuaciones periódicas de mantenimiento en los últimos años, coincidiendo con los peores años de la crisis, ha traído consigo un aumento de la presencia de fisuras en la superficie de los pavimentos que – combinadas con lluvias intensas - pueden estar acelerando la degradación del pavimento en bastantes tramos de la red.

El cambio de vulnerabilidad de cada sección es reducido, pero crece el número de secciones con afectación moderada o importante

En los gráficos siguientes se aprecia cómo se prevé que cambie la vulnerabilidad de la red de carreteras (gráficos 19 y 20) y de la red ferroviaria (gráficos 21 y 22) como consecuencia del cambio climático. Para obtener estos gráficos se ha respetado la apreciación de los técnicos acerca del cambio de vulnerabilidad, salvo en un número muy reducido de secciones donde las evaluaciones realizadas se alejaban manifiestamente de la apreciación general y se han revisado para aproximarlas a ella.

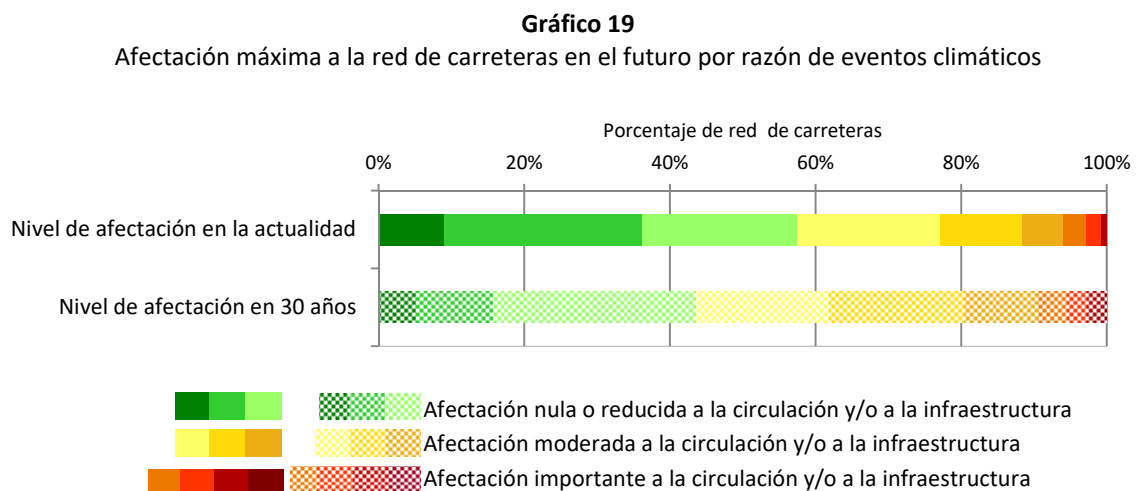
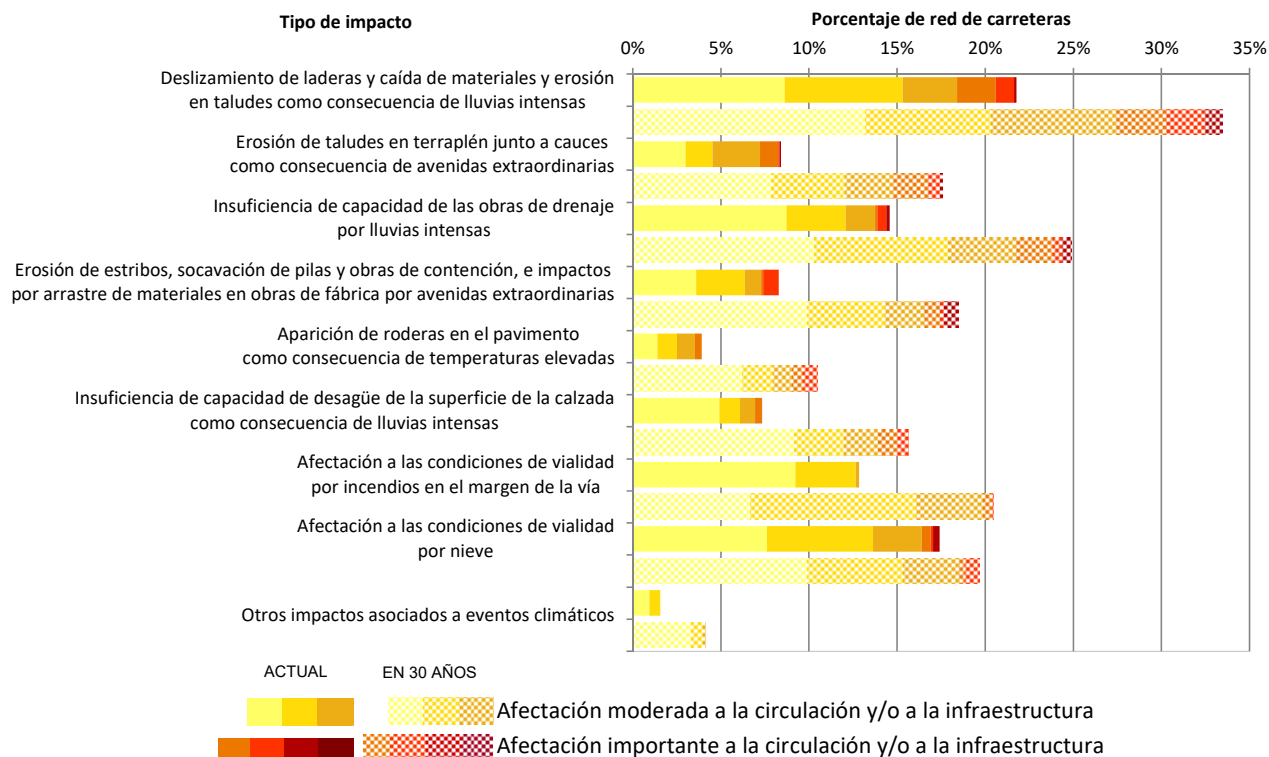


Gráfico 20
Cambios en la vulnerabilidad de la red de carreteras, según tipo de impacto



La longitud de las secciones de la **red de carreteras** que no se verán afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o que lo estarán de forma reducida, se reduce del 57% al 44%. La entidad de la reducción es semejante en la red de alta capacidad (del 66% al 52%) y en la red convencional (del 50% al 37%). La longitud de las secciones de carretera en las que se prevé alguna afectación moderada aumentará del 37% al 46%, y la de secciones con afectación importante del 6% al 10%. Con ayuda del GIS resulta sencillo localizar geográficamente las secciones de carretera según la previsión de su nivel de vulnerabilidad en el futuro (figura II.1 del Anejo II).

En carreteras, el aumento de la incidencia sobre las obras de tierra, las obras de fábrica y las obras de drenaje se prevé algo superior que para el resto de impactos considerados. En el caso de estos tres componentes, la longitud de las secciones con posible afectación moderada o importante crece en valor absoluto en torno al 10-11%, mientras que para el resto de impactos lo hace en un 7-8%.

Por lo que se refiere a la **red ferroviaria**, la longitud de las secciones que no se verán afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o que lo estarán de forma reducida, disminuye del 36% al 18%. En la red de alta velocidad, el porcentaje desciende del 20% al 14%, y en la red convencional del 44% al 21%.

El cambio de porcentaje de la red ferroviaria donde la afectación por algún evento climático puede pasar a ser importante es mayor que en la carretera. En alta velocidad, este porcentaje pasa de ser nulo a suponer el 9% de la red como consecuencia, básicamente, de la incidencia de las precipitaciones intensas sobre los taludes y de las avenidas sobre las obras de fábrica. En la red convencional se pasa del 8% a casi el 32% a causa, fundamentalmente, de la incidencia de las precipitaciones intensas y avenidas sobre desmontes y terraplenes, obras de drenaje, obras de fábrica y el arrastre y movimiento de balasto en vía. En la red de ancho métrico el porcentaje, ya muy elevado en la actualidad, pasa del 80% al 83%.

Se prevé asimismo que la extensión de la afectación a la vía por efecto de la temperatura y sobre las condiciones del servicio ferroviario por riesgo de incendio y viento muy intenso crezca de manera significativa, aunque el nivel del impacto tenderá a mantenerse moderado.

Al igual que para la carretera, con ayuda del GIS resulta sencillo ubicar geográficamente las secciones de la red ferroviaria según sea la previsión de su vulnerabilidad en el futuro (figura II.2 del Anejo II).

Gráfico 21

Afectación máxima a la red ferroviaria en el futuro por razón de eventos climáticos

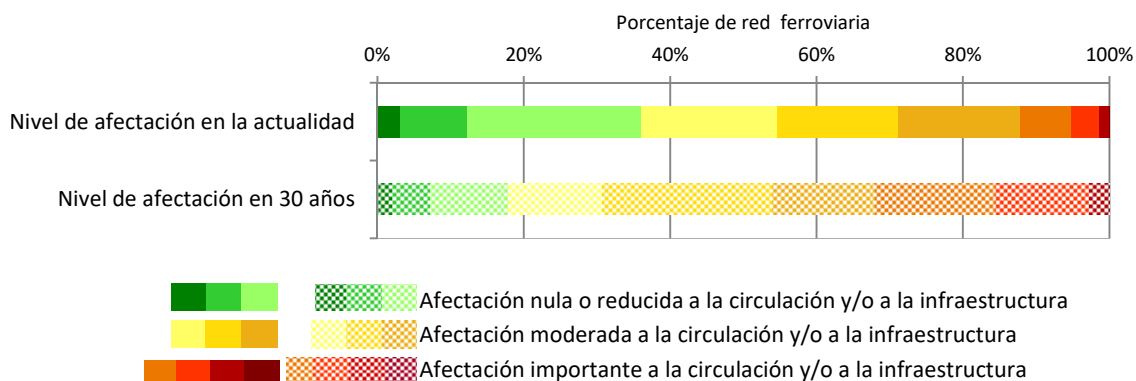
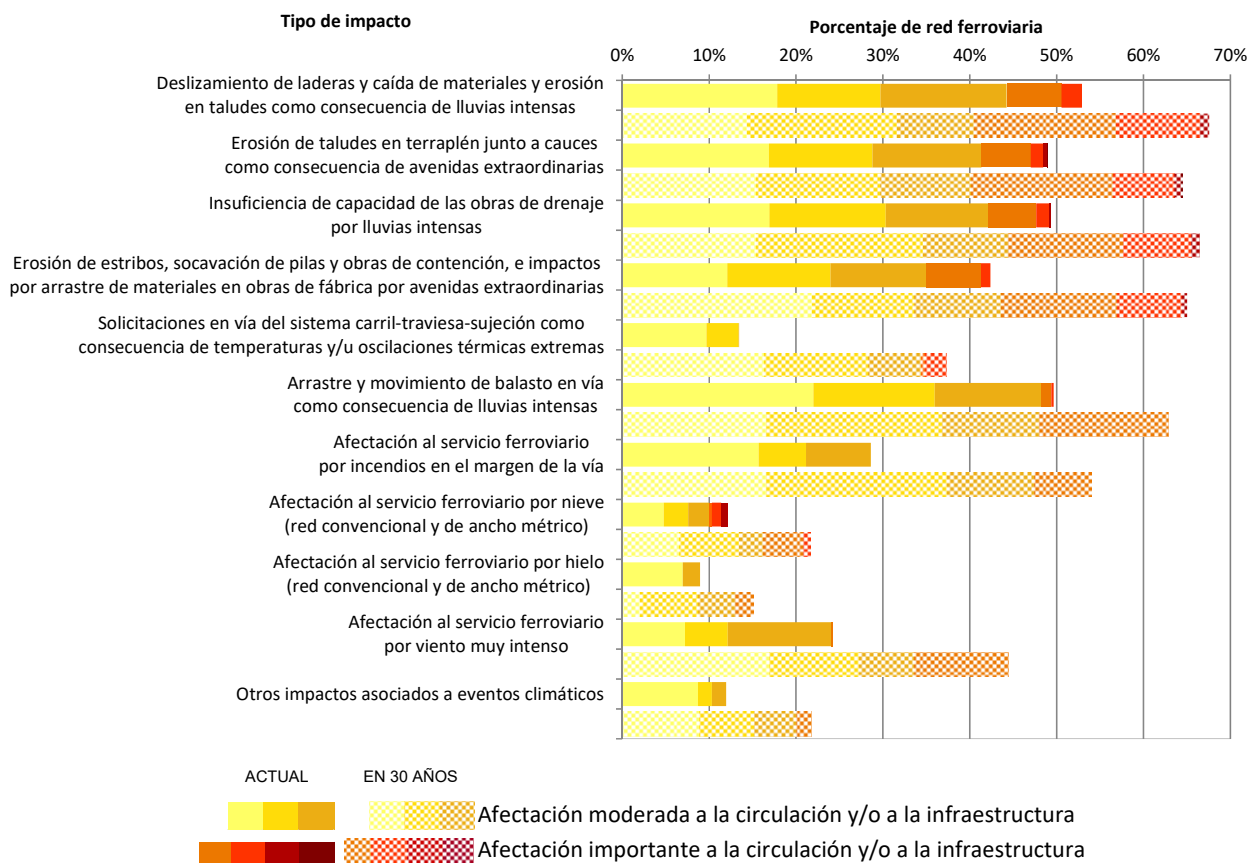


Gráfico 22

Cambios en la vulnerabilidad de la red ferroviaria, según tipo de impacto



7. DIFERENCIACIÓN DE NIVELES DE CRITICIDAD EN LAS SECCIONES DE LA RED

Metodología empleada para diferenciar niveles de criticidad

La consideración de distintos niveles de criticidad en las secciones de la red constituye un instrumento esencial para identificar cuáles son las secciones a las que hay prestar atención prioritaria por razón de su vulnerabilidad, pues permite diferenciar el grado de vulnerabilidad que resulta aceptable en cada sección según sea la posible repercusión de los eventos climáticos sobre su funcionalidad y/o integridad.

La clasificación de las secciones de la red en varios niveles de criticidad que se describe a continuación se ha realizado únicamente con este objetivo. La noción de *criticidad* empleada en este ejercicio es, pues, únicamente instrumental, y no se corresponde necesariamente con ninguna clasificación en uso en ninguno de los gestores de la infraestructura, ni guarda relación tampoco con la que pueda derivarse del proceso de identificación de las infraestructuras críticas europeas del sector transporte establecido por la Directiva 2008/114/CE a los efectos de evaluar la necesidad de mejorar su protección. Se trata de una clasificación *ad hoc*, obtenida a partir de las recomendaciones que la literatura científica suele proponer bajo una perspectiva académica para fines como el planteado.

En este ejercicio, para diferenciar niveles de criticidad en las secciones de la RCE y de la RFIG se ha acudido a un criterio mixto en el que, aunque prevalece la consideración de la funcionalidad de la infraestructura, también se toma en cuenta la integridad de la inversión realizada.

Para caracterizar la **funcionalidad de la infraestructura** se ha tomado como base el uso que se hace de la infraestructura. En carreteras se ha asimilado este uso a la intensidad media diaria de la circulación (IMD), sin diferenciar tráfico de vehículos ligeros y pesados. El dato de la IMD se ha tomado del Mapa de Tráfico publicado por la Dirección General de Carreteras. En la red ferroviaria se ha asimilado el uso de cada sección al número medio de trenes que circulan por ella, incluido trenes de viajeros de larga y media distancia, servicios de cercanías y trenes de mercancías. Este dato ha sido facilitado por ADIF. El uso del SIG facilita que las secciones de la red definidas para incorporar los datos sobre uso de la infraestructura no tengan por qué coincidir con las secciones consideradas al evaluar su vulnerabilidad. ADIF, por ejemplo, ha facilitado los datos de tráfico según una red clasificada en algo más de 1.000 secciones.

Tras analizar los rangos de tráfico por tramo con ayuda de histogramas de frecuencia, se han establecido finalmente cinco categorías de uso en cada red, asimilando cada una de ellas a un nivel de criticidad: criticidad alta, media-alta, media, media-baja y baja. Al establecer los rangos de tráfico se ha tenido en cuenta que la RCE supone el 16% de la red de carreteras en España, mientras que la RFIG comprende el 96% de la red ferroviaria española. Por ello, en el caso de la carretera se ha privilegiado el nivel de criticidad bajo, y se han definido rangos de tráfico de manera que se obtengan por encima de éste escalones sucesivos con longitud de red decreciente. Para la red ferroviaria, en cambio, los rangos se han elegido de manera que se pivote sobre la categoría media y se signifique las secciones que de forma más clara pueden ser consideradas como de criticidad alta o baja.

La vocación de la red estatal de transporte no es solo, sin embargo, facilitar la demanda de movilidad de los usuarios, sino también servir de instrumento para impulsar el desarrollo económico, la cohesión territorial y social, y la integración con Europa. Por ello se ha estimado conveniente matizar la

caracterización de la funcionalidad de cada sección de la red obtenida a través de la consideración del tráfico que la utiliza, mediante otros criterios funcionales adicionales.

En el caso de la carretera, la clasificación obtenida en función de la IMD se ha matizado según que una sección pertenezca o no a la red en servicio asimilable a la definida como Red Transeuropea de Transporte (RTE-T), según la información que la Dirección General de Carreteras comunica a la Conferencia Europea de Directores de Carreteras. Conforman esta red algo más de 10.500 km de carreteras estatales, de los que prácticamente 9.100 km son de alta capacidad. Dentro de esta red se ha tomado en cuenta, además, la distinta función socioeconómica que desempeñan unas secciones frente a otras, caracterizada por medio de la accesibilidad que proporcionan a los principales centros de actividad y servicios. En el recuadro incluido como figura 23 se describe la metodología empleada para diferenciar estos niveles de accesibilidad. Finalmente, se ha asegurado que la aplicación de dicha metodología no penalizara en ningún caso las secciones situadas en conexiones transfronterizas y se ha verificado que la funcionalidad final obtenida para las secciones de carreteras de acceso a la red de aeropuertos y puertos de interés general fuera consistente con la importancia que tiene cada uno de estos nodos en términos de tráfico aéreo y marítimo respectivamente.

En el caso del ferrocarril, la clasificación obtenida en función del tráfico se ha matizado también según que una sección pertenezca o no a la RTE-T (o desempeñe actualmente la función de una sección incluida en esa Red), de acuerdo con la información proporcionada por la Subdirección General de Planificación de Infraestructuras y Transporte del Ministerio de Fomento. Al igual que en la carretera, dentro de esta red también se ha dado mayor importancia a aquellas secciones que proporcionan mayor accesibilidad, aunque la forma de diferenciar entre niveles de accesibilidad en la red ferroviaria ha sido ligeramente distinta a la forma de hacerlo en la red de carreteras, como se explica en la figura 23. Finalmente, se ha asegurado que en ningún caso las secciones fronterizas que permiten la conexión con Francia o Portugal, o que forman parte de la RTE-T ferroviaria de mercancías (incluido el acceso a los puertos de interés general) tuvieran el nivel inferior de criticidad de los cinco niveles considerados. De esta forma se trata de incorporar a la noción de criticidad la voluntad de disponer de una red ferroviaria que garantice unas condiciones de servicio mínimas para poder atender los tráficos transfronterizos y de mercancías, independientemente de que en la actualidad éstos sean en ocasiones muy reducidos. Por último, se ha asegurado también que la criticidad de las secciones que corresponden a cambiadores de ancho de vía de ancho internacional a ancho ibérico, que dan acceso a un CTT (Centro de Tratamiento de Trenes) o que aseguran el movimiento de trenes entre dos líneas ferroviarias sea la misma que la de las secciones adyacentes.

Para caracterizar la **inversión realizada** se ha tomado como referencia la diferencia relativa de coste medio de construcción entre secciones de infraestructura. En carreteras se ha diferenciado entre sección de alta capacidad y convencional, y en ferrocarril entre sección de alta velocidad, convencional y ancho métrico. En ambas infraestructuras se ha distinguido según el trazado discorra mayoritariamente por orografía llana, ondulada o accidentada. La asignación de uno u otro tipo de terreno a cada sección se ha realizado con ayuda del SIG, calculando la pendiente media del terreno por el que discurre la traza de la infraestructura a partir de un Modelo Digital de Elevaciones. Para estimar la diferencia relativa de coste medio de construcción se ha tomado como principal referencia los costes de ejecución recogidos en la Orden FOM/3317/2010⁸.

⁸ Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre, por la que se aprueba la Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento.

Figura 23

Metodología empleada para diferenciar el nivel de accesibilidad a los principales centros de actividad y servicios que proporciona cada sección

El cálculo del indicador de accesibilidad se ha realizado a partir de un grafo en el que se han incluido: (i) los centroides de los principales centros de actividad socioeconómica, habiendo considerado como tales los municipios peninsulares que superan los 50.000 habitantes; (ii) todas las secciones de carreteras en servicio que son asimilables a la Red Transeuropea de Carreteras, independientemente de que su titularidad sea estatal o autonómica; (iii) todas las secciones ferroviarias en servicio que son asimilables a la Red Transeuropea de Ferrocarril para viajeros; (iv) las principales estaciones ferroviarias de viajeros, clasificadas en función del tipo de servicio que ofrecen (convencional, alta velocidad o ambos); (v) las carreteras auxiliares que dan acceso desde los nodos de población a las principales estaciones ferroviarias; y (vi) las conexiones que dan acceso desde los nodos de población a los puntos de intersección de tramos de la Red Transeuropea de Carreteras más próximos. Los arcos del grafo tienen como atributos el tipo de carretera (alta capacidad, convencional) o línea ferroviaria (alta velocidad, convencional), su longitud y una velocidad de recorrido en función de su tipología. En carreteras se ha considerado que esta velocidad es la máxima permitida conforme a su tipología; en el ferrocarril, la velocidad considerada se corresponde con la máxima según la información proporcionada por ADIF; en las carreteras auxiliares la velocidad se ha reducido a 2/3 de la velocidad máxima permitida. Se han asignado además impedancias en las estaciones ferroviarias por razón de cambio de modo de transporte y frecuencia de paso de los trenes.

Con ayuda del grafo se ha calculado la accesibilidad potencial por carretera de cada nodo i al resto de nodos de población j de acuerdo con la expresión siguiente:

$$Acc\ potencial_i = \sum_j \frac{P_j}{t_{ij}}$$

y se han agregado los resultados para todos los nodos i en un único valor de accesibilidad global de la red de carreteras según la expresión:

$$Acc\ global = \frac{P_i * Acc\ potencial_i}{\sum_i P_i}$$

siendo P_i la población del nodo i , P_j la población del nodo j , y t_{ij} el tiempo de recorrido mínimo por carretera entre el nodo i y el nodo j .

Esta accesibilidad global se ha calculado para una situación de referencia ($Acc\ global_{Referencia}$) y en tantos k escenarios ($Acc\ global_{Escenario\ k}$) como secciones de carretera tiene el grafo ($k \approx 400$), estando cada escenario definido por la eliminación sucesiva de cada una de las secciones de la red (esta eliminación se equipara a un supuesto de colapso de la sección k). El indicador empleado para diferenciar el nivel de accesibilidad a los principales centros de actividad y servicios que proporciona cada sección k ha sido calculado finalmente como:

$$Indicador\ de\ Accesibilidad_{Sección\ k} = \frac{Acc\ global_{Referencia} - Acc\ global_{Escenario\ k}}{Acc\ global_{Referencia}} * 100$$

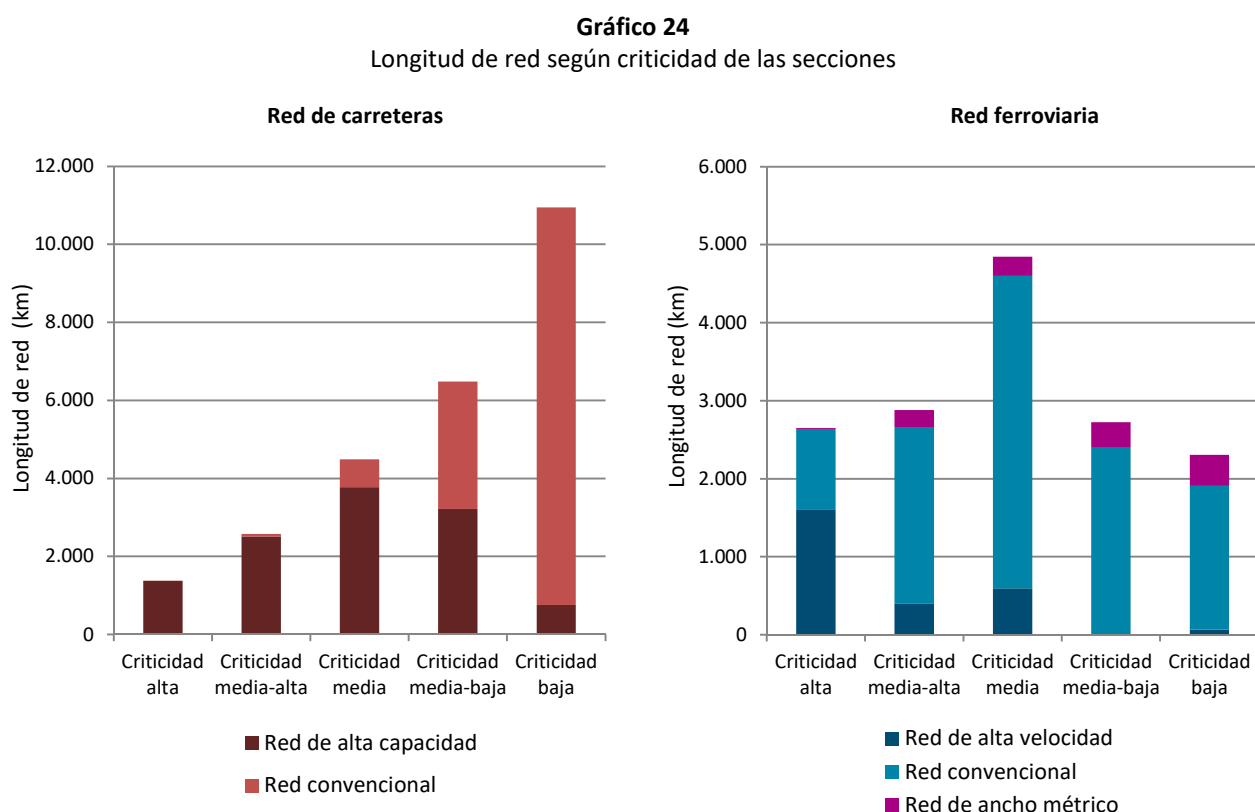
Para las secciones de la red ferroviaria se ha procedido de forma similar, con la diferencia de que el número de escenarios considerados ha sido inferior ($k \approx 190$) y que el encaminamiento se ha apoyado en el grafo completo de carreteras y ferrocarril. En este caso, el tiempo de viaje t_{ij} es el menor de los dos siguientes: (i) tiempos de acceso por carretera desde los nodos origen y destino a la estación ferroviaria más cercana a cada uno de ellos, más tiempo de viaje por la red de ferrocarril, y (ii) tiempo de viaje por la red de carreteras, en el supuesto de que las velocidades se reduzcan a 2/3 de las velocidades máximas permitidas.

¿Hasta qué punto son creíbles las diferencias de criticidad obtenidas?

En el gráfico 24 se muestra cuál es la longitud total de red de carreteras o ferroviaria obtenida según nivel de criticidad. Con ayuda del SIG es sencillo elaborar mapas como los incluidos en el Anejo III donde se indique el nivel de criticidad obtenido para cada sección.

En la **red de carreteras**, la mayoría de vías de criticidad media a alta son vías de alta capacidad. Las secciones más críticas se encuentran próximas a las principales ciudades. También se aprecia una densidad notable de secciones críticas en las radiales (especialmente las que salen de Madrid hacia la costa de Levante y Andalucía) y en otros corredores, como el Mediterráneo.

En la **red ferroviaria**, casi la totalidad de líneas de alta velocidad tienen criticidad media a alta. Aparecen también con frecuencia secciones de la red convencional con criticidad elevada, incluso algunas de la red de ancho métrico.



Es importante señalar que las clasificaciones en niveles de criticidad de una y otra red no son comparables entre sí puesto que, aunque la metodología empleada para la diferenciación de niveles es similar en la red de carreteras y de ferrocarril, ni los criterios para fijar los umbrales de tráfico ni los valores de dichos umbrales en uno y otro caso son equiparables.

Para contrastar la bondad de la clasificación realizada, se ha preguntado a los técnicos que han participado en la evaluación de la vulnerabilidad de la red acerca de posibles incoherencias que pudieran observar en la diferenciación en niveles de criticidad, no habiéndose detectado incoherencias apreciables en los resultados obtenidos. Asimismo, se ha procedido a verificar cual es el porcentaje de red, dentro de cada nivel de criticidad, que se ve afectado en la actualidad de forma moderada o

importante por razón de eventos climáticos. A priori, cabe esperar que este porcentaje sea de forma global algo menor cuanto más críticas considere el gestor las secciones de su red, dada la estrecha relación que existe entre el grado de vulnerabilidad aceptable y el nivel de servicio que se pretende garantizar. En los gráficos 25 y 26 se aprecia, en efecto, dicha tendencia en las secciones con criticidad alta y media-alta (en el gráfico 26 se ha obviado la afección moderada de menor entidad a la vista de la extensión que ésta tiene sobre las líneas de alta velocidad por efecto – como ya se ha visto - de las lluvias intensas sobre los taludes y sobre el balasto en vía).

Gráfico 25

Afectación máxima actual a la red de carreteras por razón de eventos climáticos, según criticidad de las secciones

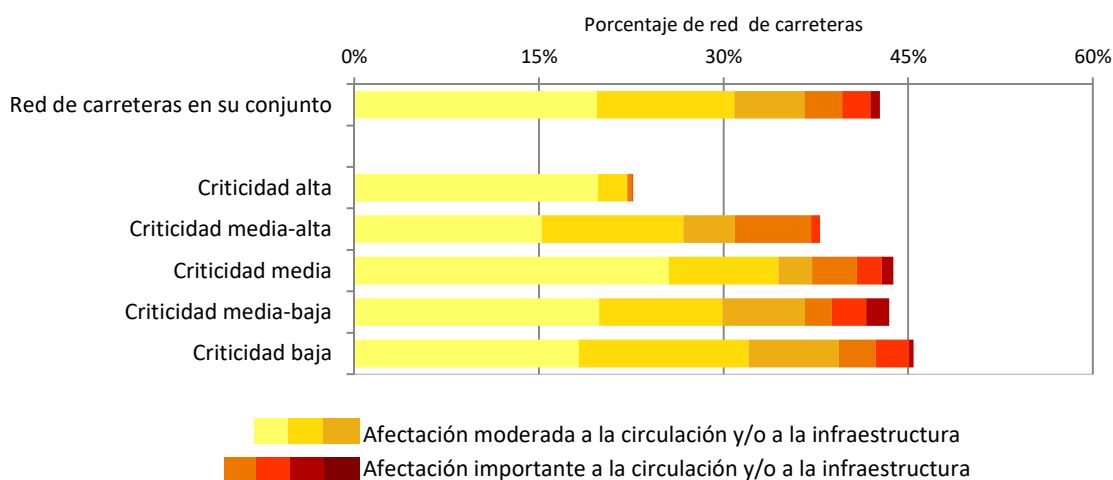
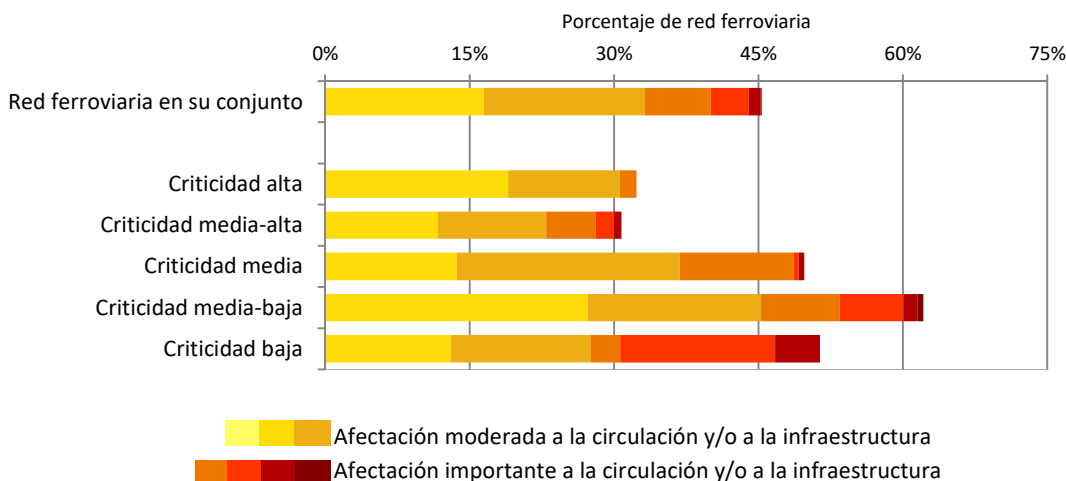


Gráfico 26

Afectación máxima actual a la red ferroviaria por razón de eventos climáticos, según criticidad de las secciones



8. SECCIONES DE LA RED A LAS QUE PRESTAR UNA ATENCIÓN PREFERENTE POR RAZÓN DE LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICOS

Para completar el ejercicio solo falta diferenciar niveles de preferencia en la atención a prestar a las secciones de la red por motivo de su vulnerabilidad frente a eventos climáticos, combinando:

- la gradación en distintos niveles de criticidad de las secciones obtenida en el capítulo anterior, con
- el distinto grado de vulnerabilidad que se ha estimado que tendrá cada sección tras haber tomado en cuenta el efecto del cambio climático.

El cuadro 27 explicita el criterio empleado para hacerlo. El nivel de preferencia se ha graduado en cuatro niveles sobre la base de la afectación máxima a la sección. No se han diferenciado, por tanto, criterios de ordenación en función de los impactos, ni se ha dado tampoco un peso diferente a un impacto frente a otro (por razón, por ejemplo, del grado de certidumbre de las proyecciones de una variable climática frente a otra), aunque podría hacerse.

En las secciones donde la afectación es reducida se ha distinguido según sea el nivel de la misma 1-2 o 3, para tratar de tomar en cuenta el alto nivel de exigencia que la sociedad demanda en la actualidad en relación con las condiciones de circulación en la infraestructura (patente, por ejemplo, en grandes áreas metropolitanas, o para carreteras de pago y servicios ferroviarios de alta velocidad). Hay que reconocer, sin embargo, que la metodología empleada para evaluar la vulnerabilidad de las secciones no facilita un análisis preciso de estas situaciones dado que el criterio que se ha empleado para calificar una sección en ese rango de afectación no es suficientemente fino y estricto para ello.

Cuadro 27

Preferencia de la atención a prestar en la red estatal de transporte terrestre por razón de la variabilidad y cambio climáticos

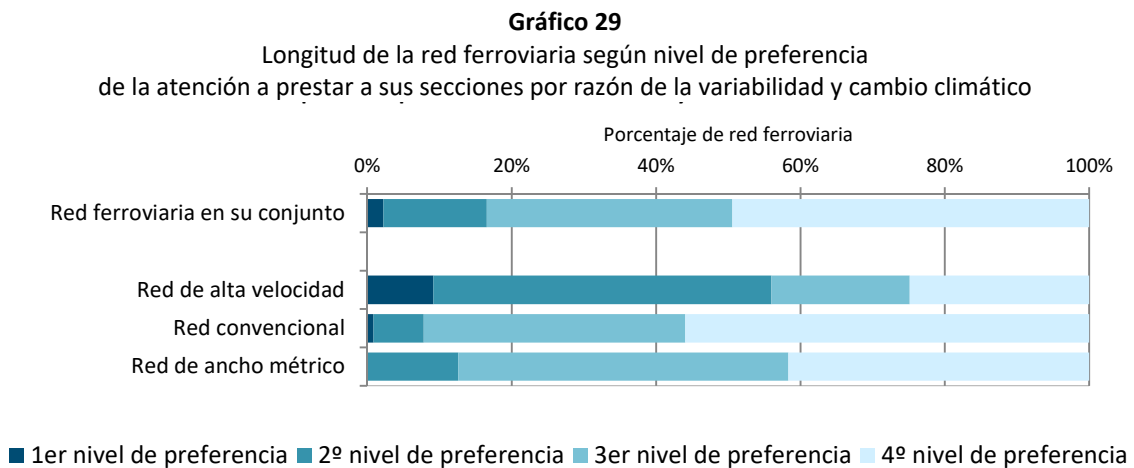
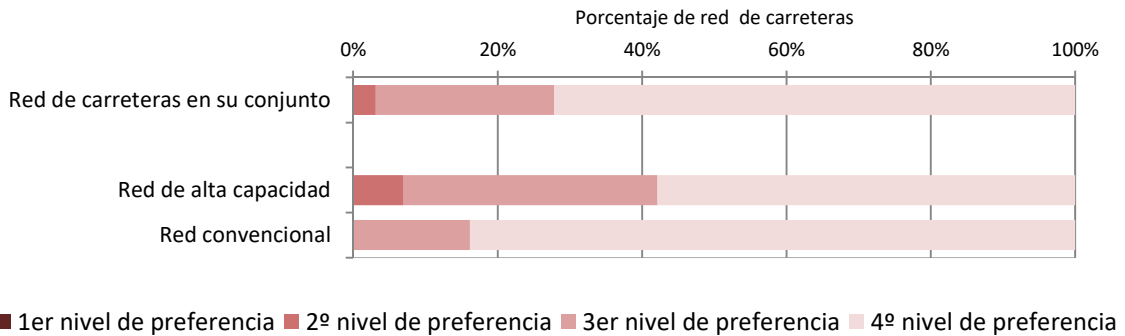
Sección de carretera			Criticidad					
			Alta	Media-alta	Media	Media-baja	Baja	
Afectación máxima	Importante		●●●●	●●●	●●	●●	●●	
	Moderada		●●●	●●	●●	●	●	
	Reducida	3		●●	●	●	●	●
		1-2		●	●	●	●	●

Sección ferroviaria			Criticidad					
			Alta	Media-alta	Media	Media-baja	Baja	
Afectación máxima	Importante		●●●●	●●●	●●	●●	●	
	Moderada		●●●	●●	●	●	●	
	Reducida	3		●●	●	●	●	●
		1-2		●	●	●	●	●

●●●● 1er nivel de preferencia ●●● 2º nivel de preferencia ●● 3er nivel de preferencia ● 4º nivel de preferencia

Los gráficos 28 y 29 muestran la longitud de red que representan las secciones una vez agrupadas por nivel de preferencia. Los mapas incluidos en el Anejo IV ubican geográficamente las secciones de las redes de carreteras y ferroviaria según el nivel de preferencia obtenido. En el nivel de preferencia superior aparecen apenas 6 km de autovía y seis secciones ferroviarias (dos de alta velocidad y cuatro de línea convencional). El segundo nivel de preferencia agrupa 66 secciones de la red de carreteras y 52 de la red ferroviaria, del total de 710 y 290 secciones establecidas respectivamente para una y otra red. Las secciones incluidas en este segundo nivel de preferencia suman algo más de 800 km de carretera (en su mayoría de la red de alta capacidad) y 2.200 km de línea ferroviaria (1.250 km en líneas de alta velocidad, 800 km en la red convencional y 150 km en la red de ancho métrico). Conviene puntualizar que el hecho de haber empleado tramificaciones distintas de la red para evaluar la vulnerabilidad de las secciones y para clasificar los tramos de la red según criticidad puede dar lugar a que las longitudes anteriores estén sobreestimadas.

Gráfico 28
Longitud de la red de carreteras según nivel de preferencia
de la atención a prestar a sus secciones por razón de la variabilidad y cambio climático



9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La atención a la vulnerabilidad de la red está actualmente bien priorizada

El escaso porcentaje obtenido en este ejercicio de red a la que hay que prestar atención con mayor nivel de preferencia sugiere, de entrada, que tanto la Dirección General de Carreteras como ADIF y ADIF Alta Velocidad priorizan con acierto la atención de los puntos de sus redes que son más vulnerables frente a eventos climáticos.

En todo caso, como cabía esperar, hay margen para mejorar la resiliencia al clima de ambas redes. El alcance de esta mejora vendrá lógicamente condicionado por los recursos presupuestarios que puedan destinarse a ello.

¿Cuáles son las secciones de la red más críticas y vulnerables?

Al mejorar la resiliencia de la red estatal de infraestructuras de transporte, se aconseja prestar especial atención a la vulnerabilidad de las secciones de carretera y ferroviarias que han sido agrupadas en el 1er y 2º niveles de preferencia.

¿Cuánto puede costar la mejora de la resiliencia de las secciones más críticas y vulnerables?

Para facilitar esta labor, se recomienda elaborar una propuesta de actuaciones para mejorar la resiliencia de esas secciones más críticas y vulnerables mediante un proceso de *scoping*, que permita caracterizar de forma rápida los problemas de vulnerabilidad que existen en cada una de estas secciones, plantear las alternativas apropiadas para reducir dichos problemas y estimar el coste aproximado que supondría su ejecución. Esta propuesta debería elaborarse en estrecha colaboración con el personal técnico de las correspondientes Demarcaciones de Carreteras y Subdirecciones de Operaciones de ADIF y ADIF Alta Velocidad. Ello garantizará, además, tomar en cuenta las alternativas y actuaciones que éstas ya hayan estudiado.

Se recomienda, en paralelo, elaborar diversos estudios de detalle para algunas de las secciones de las redes de carreteras y ferroviaria más críticas y vulnerables, que evalúen con mayor precisión la vulnerabilidad de la sección y definan a nivel de proyecto el alcance y el coste de las actuaciones que se propone realizar para mejorar su resiliencia. Esta tarea puede simplificarse si se seleccionan secciones para las que el gestor ya dispone de un estudio de detalle, en el que únicamente sea preciso incorporar la consideración de un posible cambio de vulnerabilidad como consecuencia del cambio climático.

Las dos acciones indicadas contribuirán, resultados al margen, a profundizar en las metodologías de aplicación en estudios de adaptación al cambio climático a nivel de proyecto y a la evaluación de alternativas de adaptación.

La realización de estas dos acciones debería ir acompañada, como sugería el informe realizado en 2013, de un esfuerzo por mejorar los sistemas de alerta meteorológica temprana y por reforzar su integración con aquellos procesos de toma de decisión encaminados a minimizar la afección a la circulación y/o a la infraestructura. El coste de implantación de estos sistemas suele verse compensado rápidamente por los beneficios socioeconómicos que reporta a la explotación de la infraestructura, especialmente cuando se emplean en las secciones de la red que son más críticas y vulnerables. Para fomentar su implantación en la red de carreteras – donde el margen de mejora es probablemente más amplio - bastaría

incorporarlos como requisito dentro de los pliegos de contratación de las operaciones de conservación y explotación que emplea en la actualidad la Dirección General de Carreteras, o valorarlos como posible mejora en la oferta presentada por los licitadores a dichos contratos.

Conviene prestar atención a la vulnerabilidad de determinados componentes de la infraestructura ...

Los resultados obtenidos en este ejercicio ponen de manifiesto una incidencia de las condiciones climáticas mayor sobre determinados elementos de la infraestructura, en particular sobre las obras de tierra, las obras de drenaje y - especialmente en la red ferroviaria - las obras de fábrica. Se recomienda por ello promover el análisis, durante la etapa de proyecto de la infraestructura, de las alternativas que cabe plantear para mejorar la resiliencia de estos elementos frente a la variabilidad y cambio climáticos.

En la propuesta de medidas de adaptación al cambio climático formulada en 2013 se recomendaba revisar a corto plazo la normativa y recomendaciones de diseño de las obras de tierra, y prestar especial atención en el ámbito ferroviario a las condiciones de diseño de puentes y viaductos frente al caudal de avenidas, por erosión en cimientos, estribos y obras de defensa. El proceso de revisión de la normativa y recomendaciones de diseño suele ser laborioso, y requiere por ello de plazos de tiempo prolongados. Por ello se recomienda suplir en este momento dicha revisión por la elaboración de unos criterios o directrices encaminadas a facilitar al proyectista el análisis de alternativas que reduzcan la vulnerabilidad del proyecto frente al cambio climático por lo que a estos componentes de la infraestructura se refiere. Estas directrices deberían precisar, en particular, los escenarios climáticos a considerar.

Aunque en el informe de 2013 se indicaba que, con la aprobación de la nueva Instrucción 5.2-IC sobre drenaje de carreteras – instrucción que es utilizada también en el ámbito ferroviario como referencia –, es previsible que queden cubiertas las necesidades de adaptación del diseño de las obras de drenaje superficial, no estaría de más incluir entre los criterios de apoyo al proyectista aquéllos que puedan considerarse convenientes para el análisis de alternativas que puedan mejorar la resiliencia de las obras de drenaje. Dichos criterios deberían extenderse también, en el caso de la infraestructura ferroviaria, a los problemas ocasionados por el movimiento y arrastre del balasto en vía como consecuencia de lluvias intensas.

... y facilitar una valoración más ajustada de la incidencia del cambio climático sobre la vulnerabilidad

Los resultados obtenidos en este ejercicio sugieren que la entidad del cambio de vulnerabilidad de la red estatal de transporte terrestre a 30 años por razón del cambio climático es, en promedio, inferior a la vulnerabilidad que ya tienen en la actualidad gran parte de sus secciones. Esta conclusión no debe ser un obstáculo para tratar de seguir mejorando la información sobre previsiones climáticas a las que puede verse enfrentada la red estatal de transporte terrestre por razón del cambio climático.

Como se ha visto, la explotación de la red estatal de transporte terrestre es particularmente sensible a las nevadas y a una posible afección por riesgo de incendio. Es por ello que no se debería renunciar a tratar de mejorar la información sobre la evolución prevista en la intensidad y frecuencia de las nevadas y del riesgo de incendio, sobre los que en este ejercicio no se ha podido disponer de mapas de previsiones.

Hay que tratar asimismo de mejorar la información sobre la evolución prevista en la intensidad y frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas. Como se ha indicado en este documento, aunque

para este ejercicio se ha elaborado un mapa con la previsión de cambio de intensidad de este parámetro, se albergan dudas acerca de su entera validez. A la disposición de proyecciones sobre precipitación máxima en 24 horas habría que añadir la disposición de otras proyecciones de precipitación u otras variables que sea deseable incorporar como parte de las directrices de apoyo al proyectista a las que se ha hecho referencia con anterioridad.

Reflexión final

En este ejercicio, el nivel de preferencia de la atención a prestar a una sección de la red se ha estimado en función de su nivel de vulnerabilidad frente a las condiciones climáticas y de su nivel de criticidad.

En esta estimación se ha tenido en cuenta únicamente cómo puede verse afectada dicha vulnerabilidad en el futuro por razón del cambio climático. Sin embargo, a lo largo de este documento se ha insistido en que la vulnerabilidad de una infraestructura depende también de su emplazamiento y de las condiciones de diseño, construcción y mantenimiento de la misma. Una parte de estos condicionantes permanecen inalterables en el tiempo pero otros, en cambio, pueden variar con el paso de los años. En este segundo grupo de condicionantes se incluye el modo en que se ha ido manteniendo y conservando la infraestructura o, incluso, las características del emplazamiento donde ésta se construyó. La vulnerabilidad de una infraestructura no es, pues, una característica estática de la misma, sino que debe ser considerada un atributo variable en el tiempo (aun en el supuesto de que no se alteraran las condiciones climáticas como consecuencia del cambio climático).

Tampoco el nivel de criticidad de una sección es un atributo que tenga por qué permanecer inalterado en el tiempo. Puede darse el caso, por ejemplo, de secciones ferroviarias donde el número de circulaciones varíe significativamente por la puesta en servicio de nuevas líneas o de nuevos servicios ferroviarios.

Ello trae consigo que los resultados de este ejercicio en cuanto a secciones a las que prestar atención con mayor preferencia por razón de las condiciones climáticas – aunque son válidos para orientar las acciones a promover en la actualidad para aumentar la resiliencia de la red frente a la variabilidad y cambio climáticos – deben actualizarse pasado cierto tiempo. Al hacerlo, convendrá valorar la oportunidad de actualizar la metodología de trabajo, de modo que se puedan soslayar algunas de las limitaciones observadas al realizar este ejercicio.

Para facilitar la actualización de los resultados de este ejercicio se sugiere – como ya se hiciera en 2013 – que los gestores de las redes de carreteras y ferroviaria potencien los sistemas actuales de registro de incidencias producidas como consecuencia de fenómenos climáticos adversos y de seguimiento de sus consecuencias. La explotación de estos registros facilitará el análisis a posteriori de cuáles son los eventos climáticos que afectan con mayor frecuencia a la red y que tienen mayor repercusión sobre los usuarios y la propia infraestructura, y permitirá además identificar y caracterizar adecuadamente los tramos más vulnerables de la red.

ANEJO I – VULNERABILIDAD ESTIMADA ACTUAL DE LA RED (GRÁFICOS)

Vulnerabilidad estimada actual de la red de carreteras según tipo de impacto

Gráfico I.1

Deslizamiento de laderas y caída de materiales y erosión en taludes como consecuencia de lluvias intensas

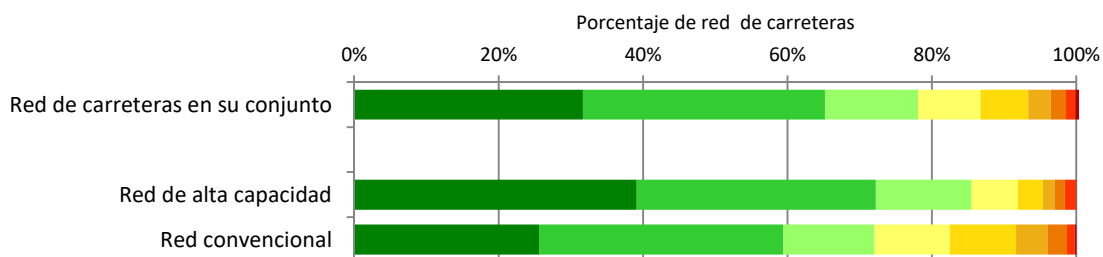


Gráfico I.2

Erosión de taludes en terraplén junto a cauces como consecuencia de avenidas extraordinarias

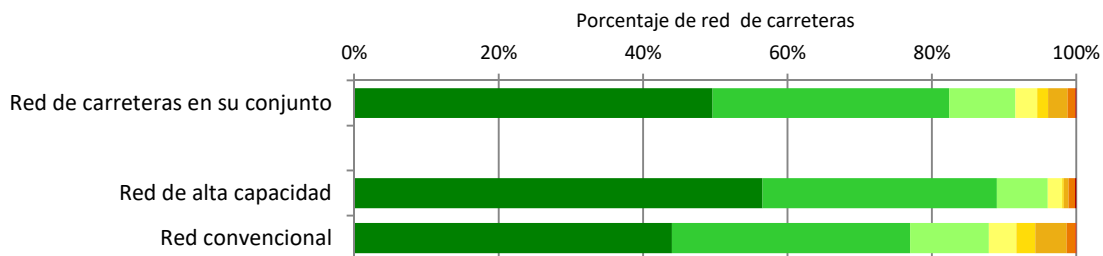


Gráfico I.3

Insuficiencia de capacidad de las obras de drenaje por lluvias intensas

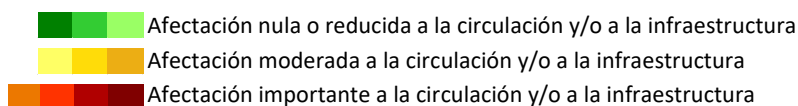
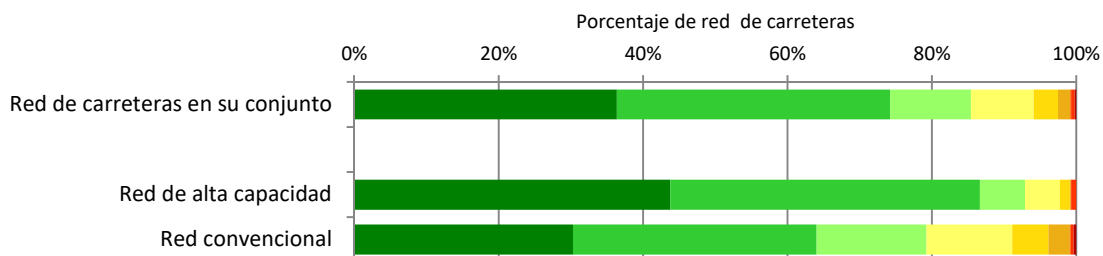


Gráfico I.4
Erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención, e impactos por arrastre de materiales en obras de fábrica por avenidas extraordinarias

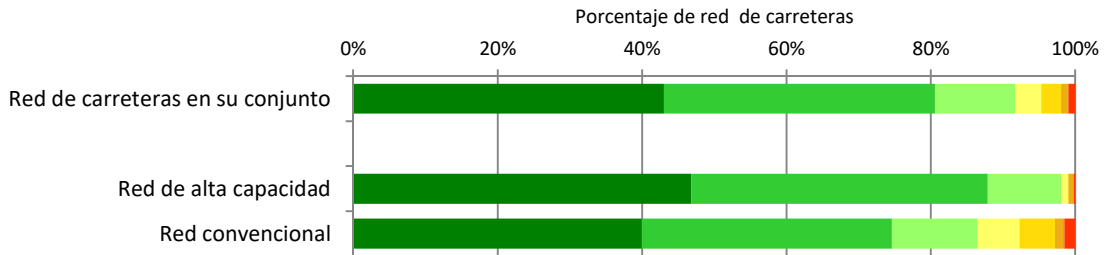


Gráfico I.5
Aparición de roderas en el pavimento como consecuencia de temperaturas elevadas

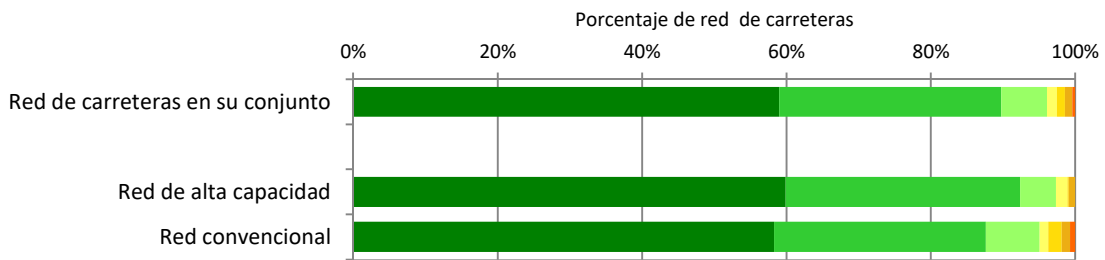


Gráfico I.6
Insuficiencia de capacidad de desagüe de la superficie de la calzada como consecuencia de lluvias intensas

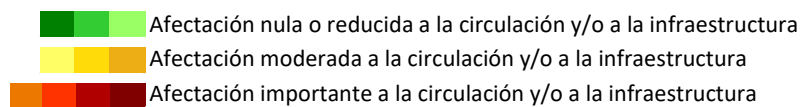
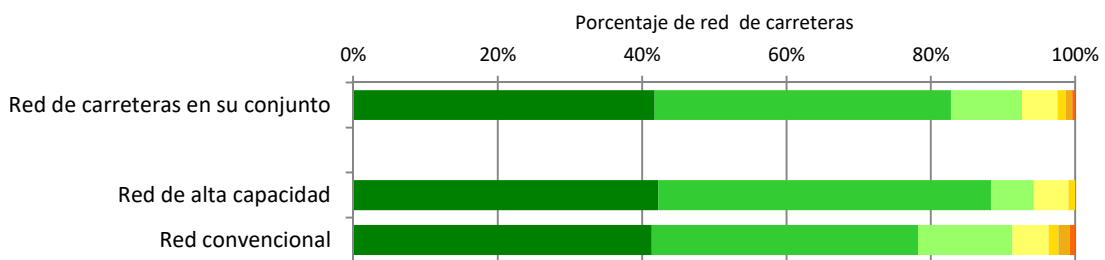


Gráfico I.7

Afectación a las condiciones de vialidad por incendios en el margen de la vía

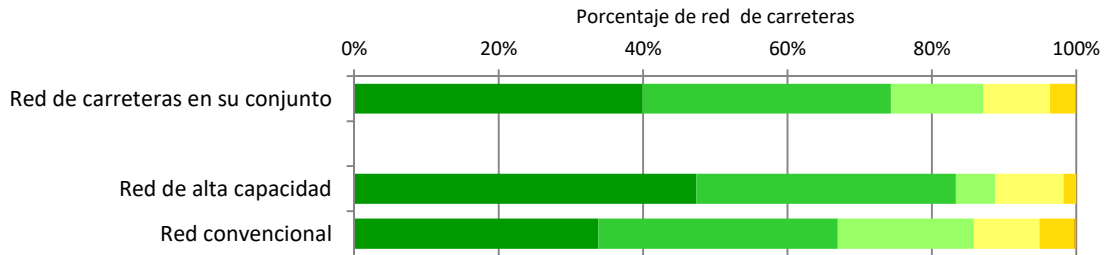
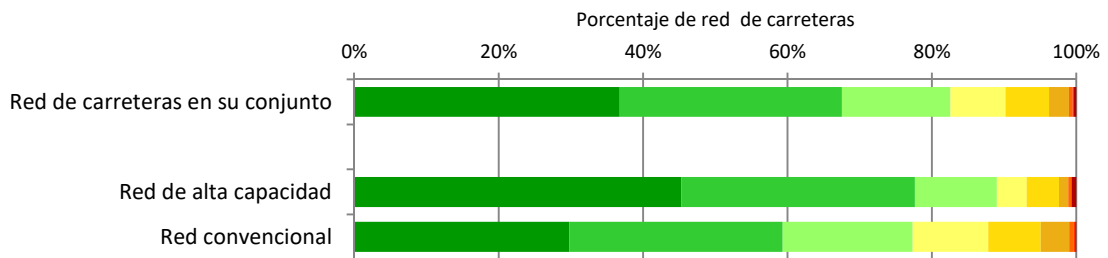


Gráfico I.8

Afectación a las condiciones de vialidad por nieve



Vulnerabilidad estimada actual de la red ferroviaria según tipo de impacto

Gráfico I.9

Deslizamiento de laderas y caída de materiales y erosión en taludes como consecuencia de lluvias intensas

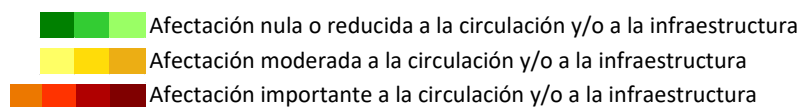
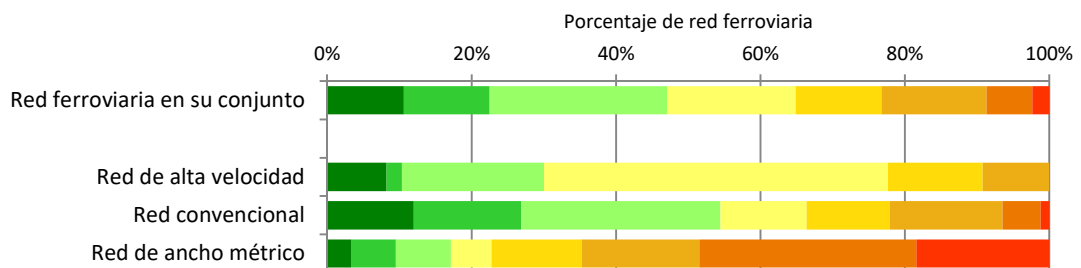


Gráfico I.10

Erosión de taludes en terraplén junto a cauces como consecuencia de avenidas extraordinarias

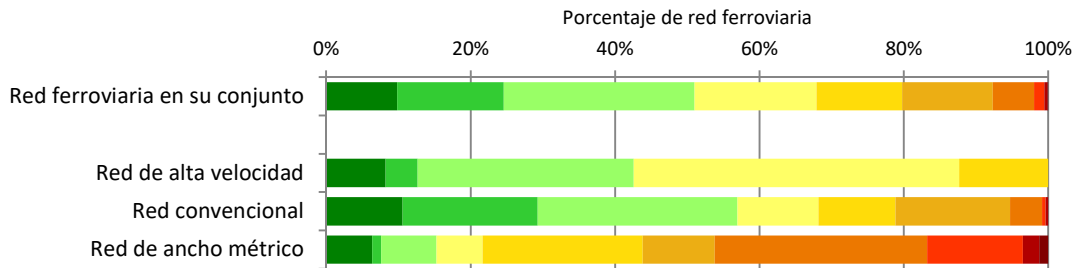


Gráfico I.11

Insuficiencia de capacidad de las obras de drenaje por lluvias intensas

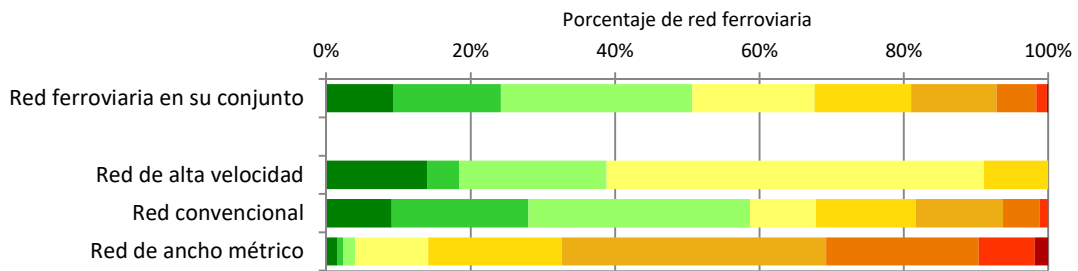


Gráfico I.12

Erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención, e impactos por arrastre de materiales en obras de fábrica por avenidas extraordinarias

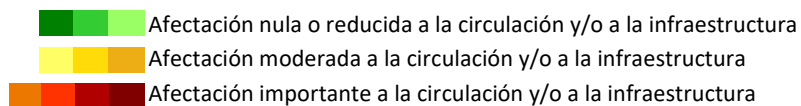
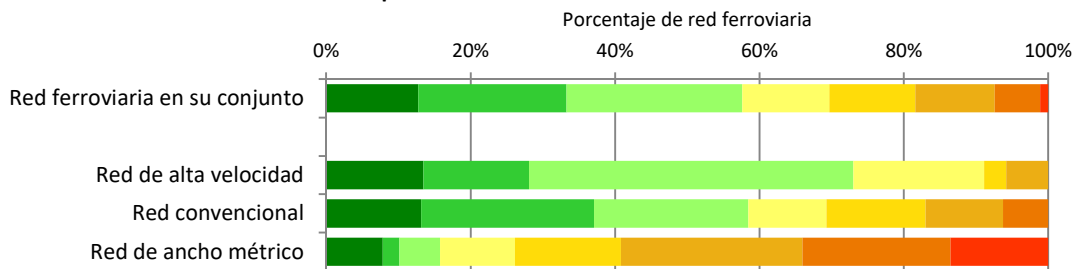


Gráfico I.13

Solicitaciones en vía del sistema carril-travesía-sujeción como consecuencia de temperaturas y/u oscilaciones térmicas elevadas

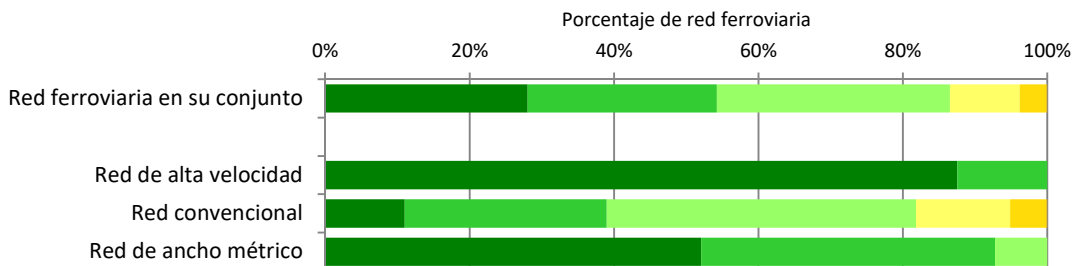


Gráfico I.14

Arrastre y movimiento de balasto en vía como consecuencia de lluvias intensas

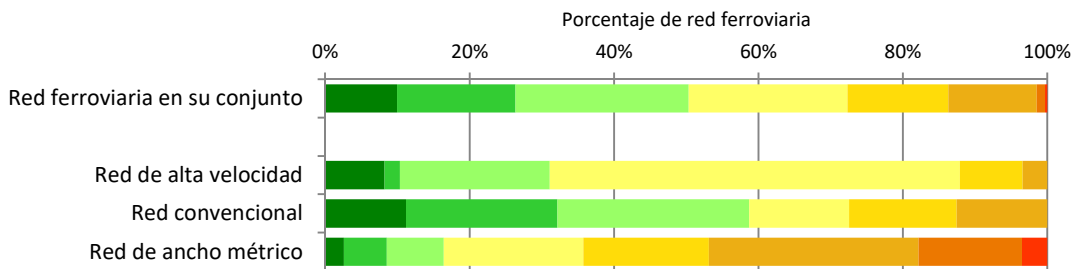


Gráfico I.15

Afectación al servicio ferroviario por incendios en el margen de la vía

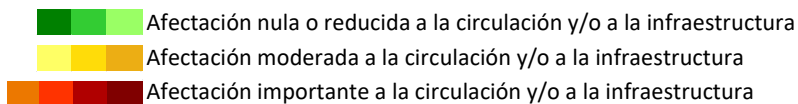
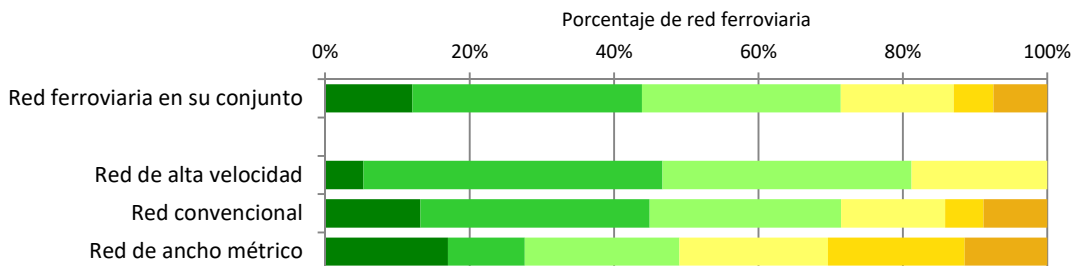


Gráfico I.16

**Afectación al servicio ferroviario por nieve
en la red convencional y de ancho métrico**

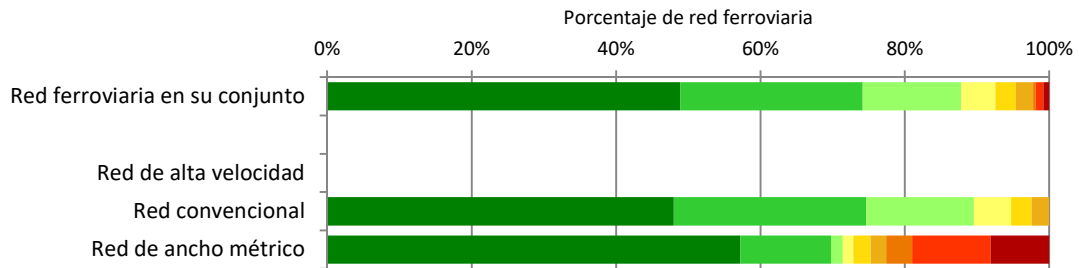


Gráfico I.17

**Afectación al servicio ferroviario por hielo
en la red convencional y de ancho métrico**

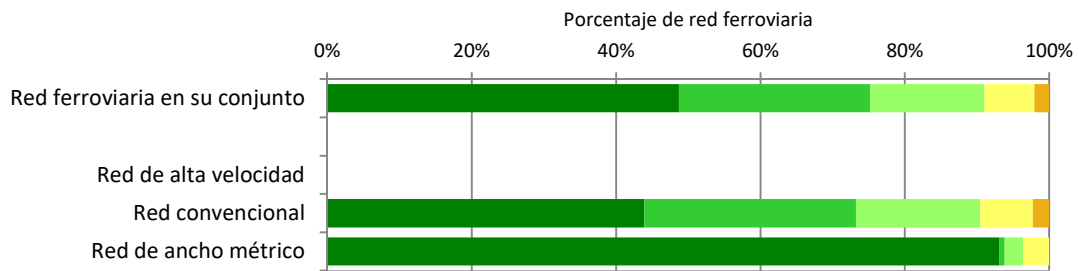
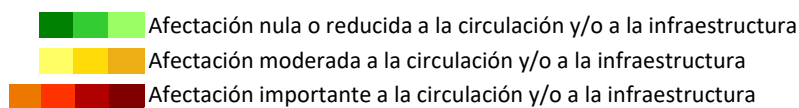
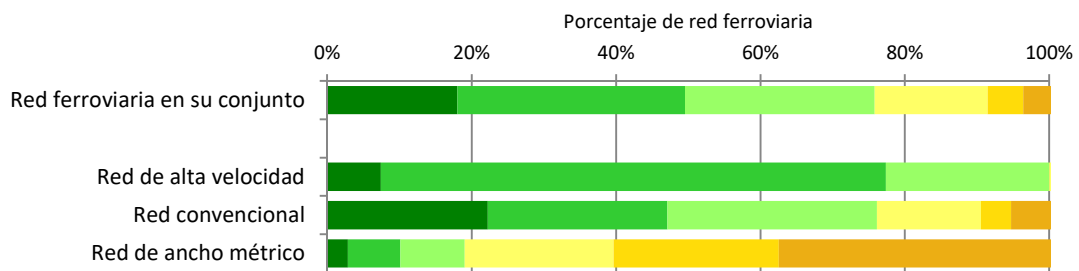


Gráfico I.18

**Afectación al servicio ferroviario
por viento muy intenso**



ANEJO II – VULNERABILIDAD ESTIMADA DE LA RED EN EL FUTURO (MAPAS)

Figura II.1

Estimación de la afectación máxima a las secciones de la red de carreteras a 30 años

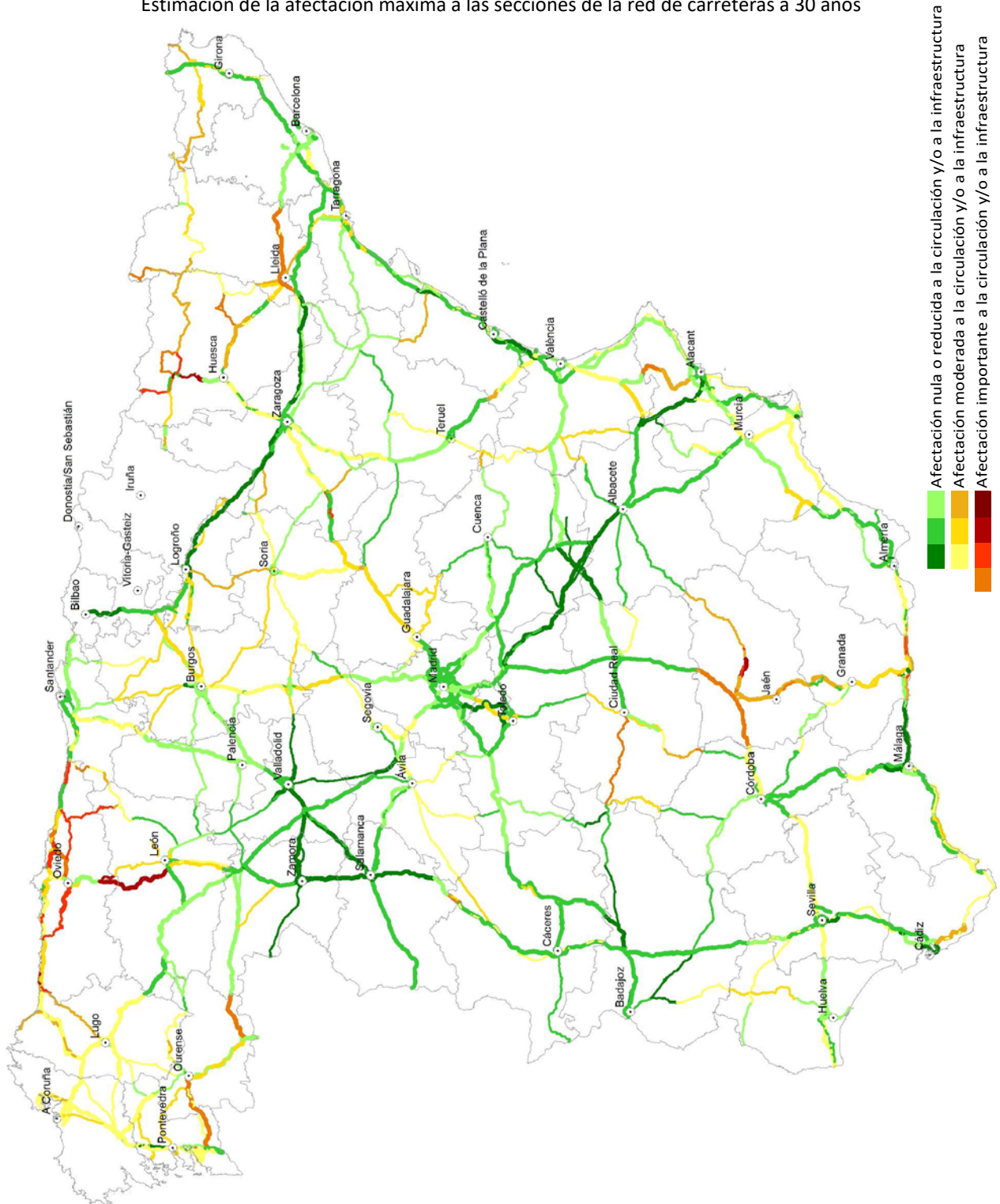
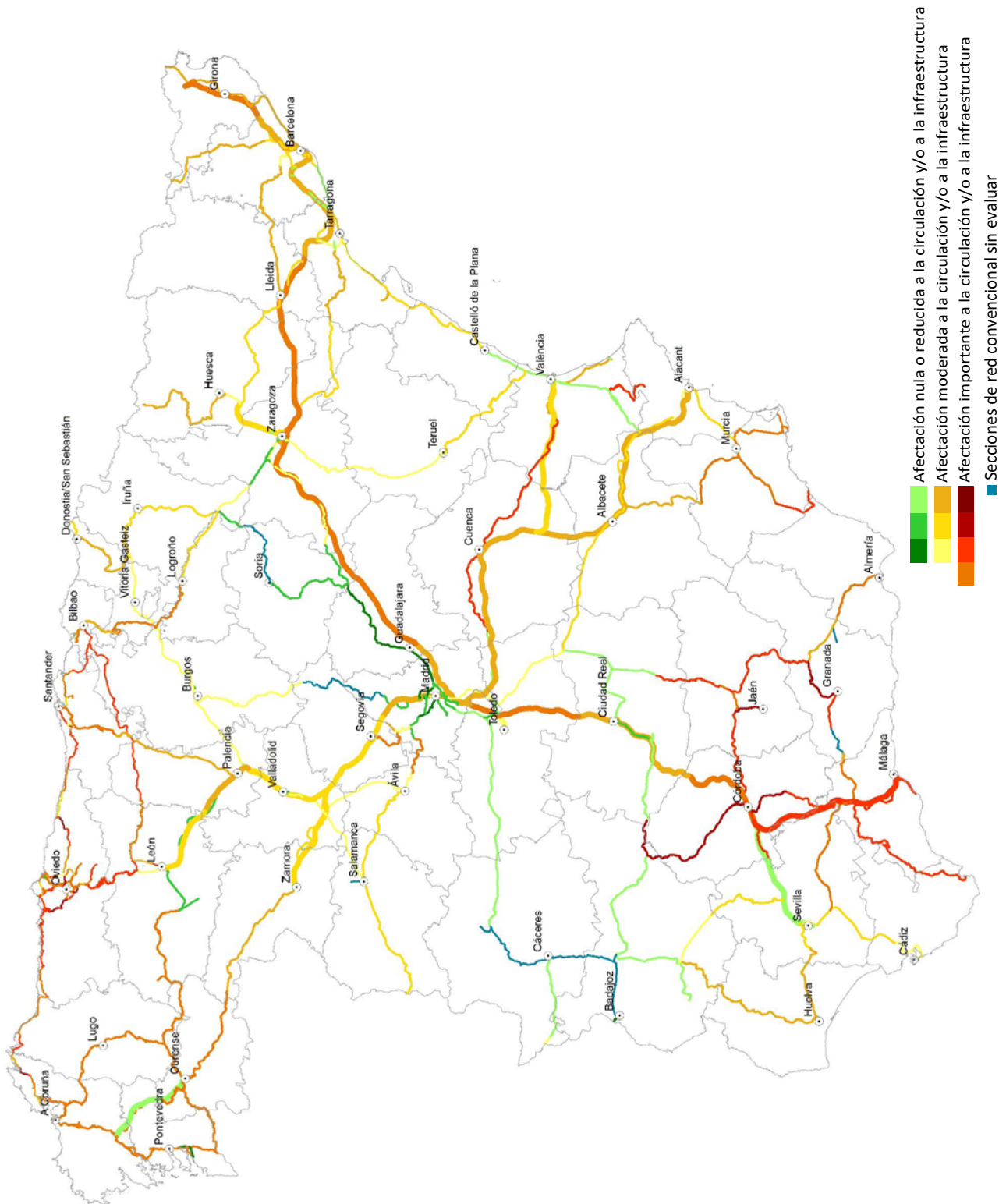


Figura II.2
Estimación de la afectación máxima a las secciones de la red ferroviaria a 30 años



ANEJO III – NIVEL DE CRITICIDAD DE LAS SECCIONES (MAPAS)

Figura III.1

Criticidad de las secciones de la red de carreteras según los criterios descritos en el capítulo 7

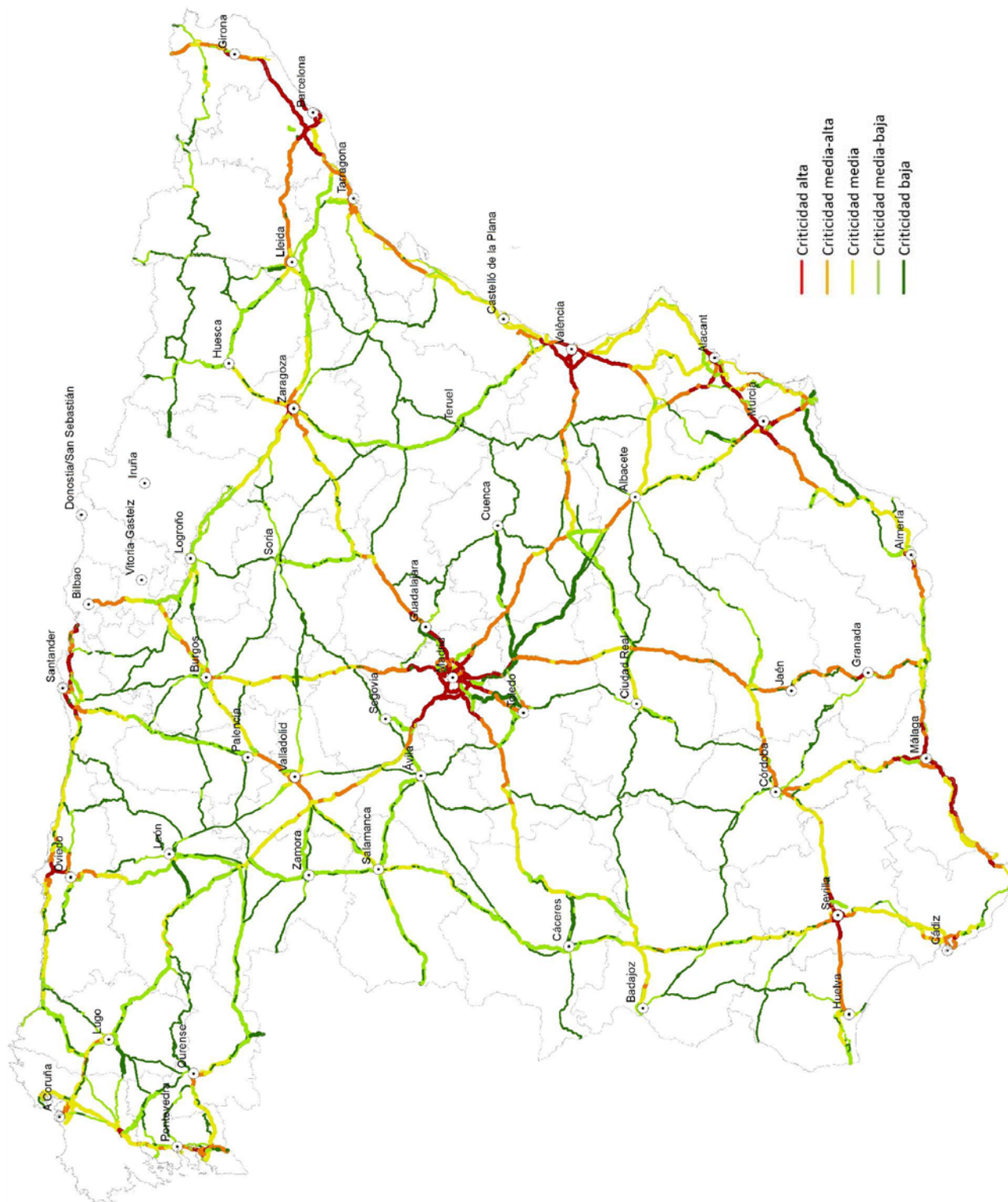
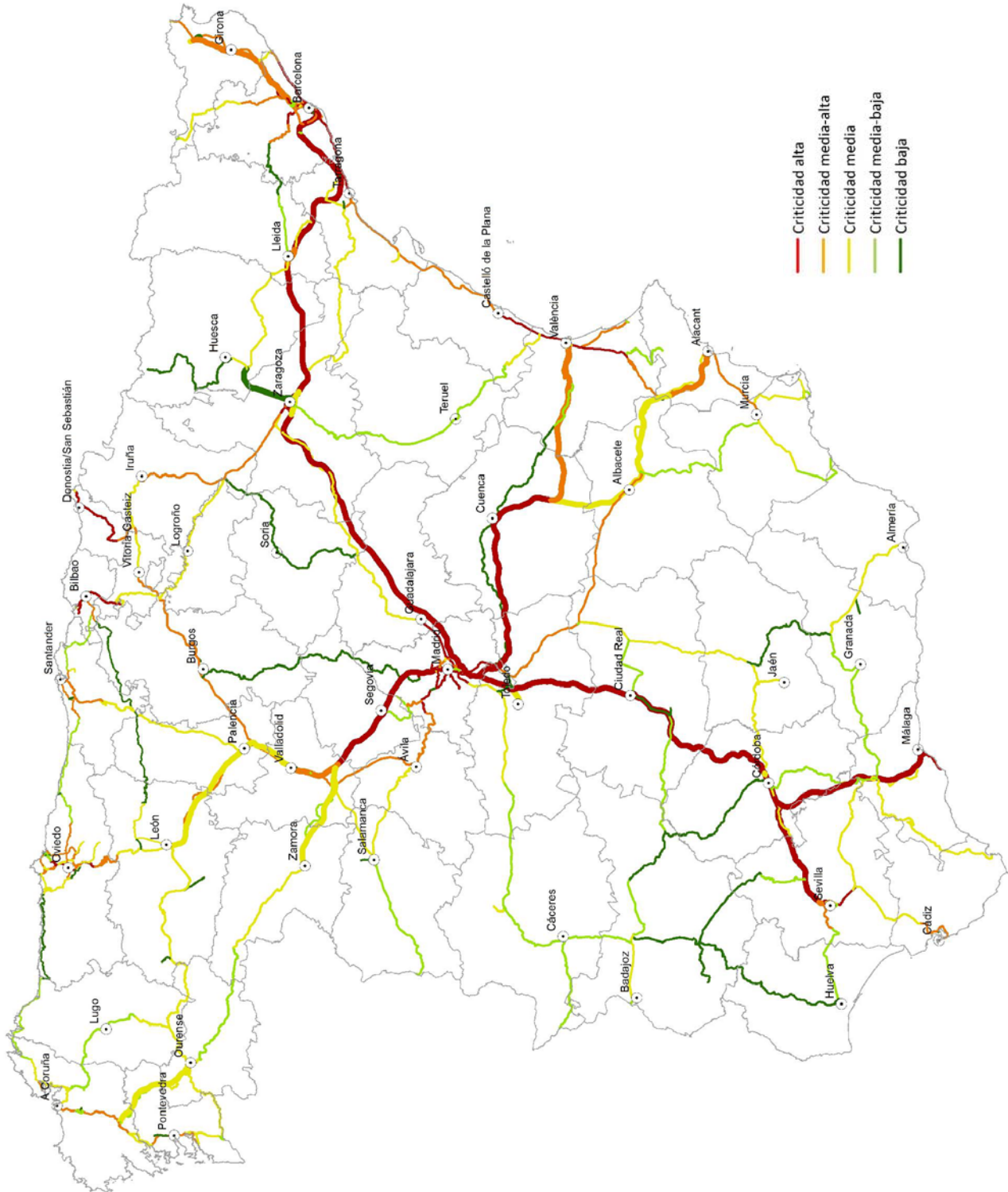


Figura III.2
Criticidad de las secciones de la red ferroviaria según los criterios descritos en el capítulo 7



ANEJO IV – SECCIONES A LAS QUE PRESTAR ATENCIÓN PREFERENTE (MAPAS)

Figura IV.1
Preferencia de la atención a prestar en la red de carreteras por razón de la variabilidad y cambio climáticos

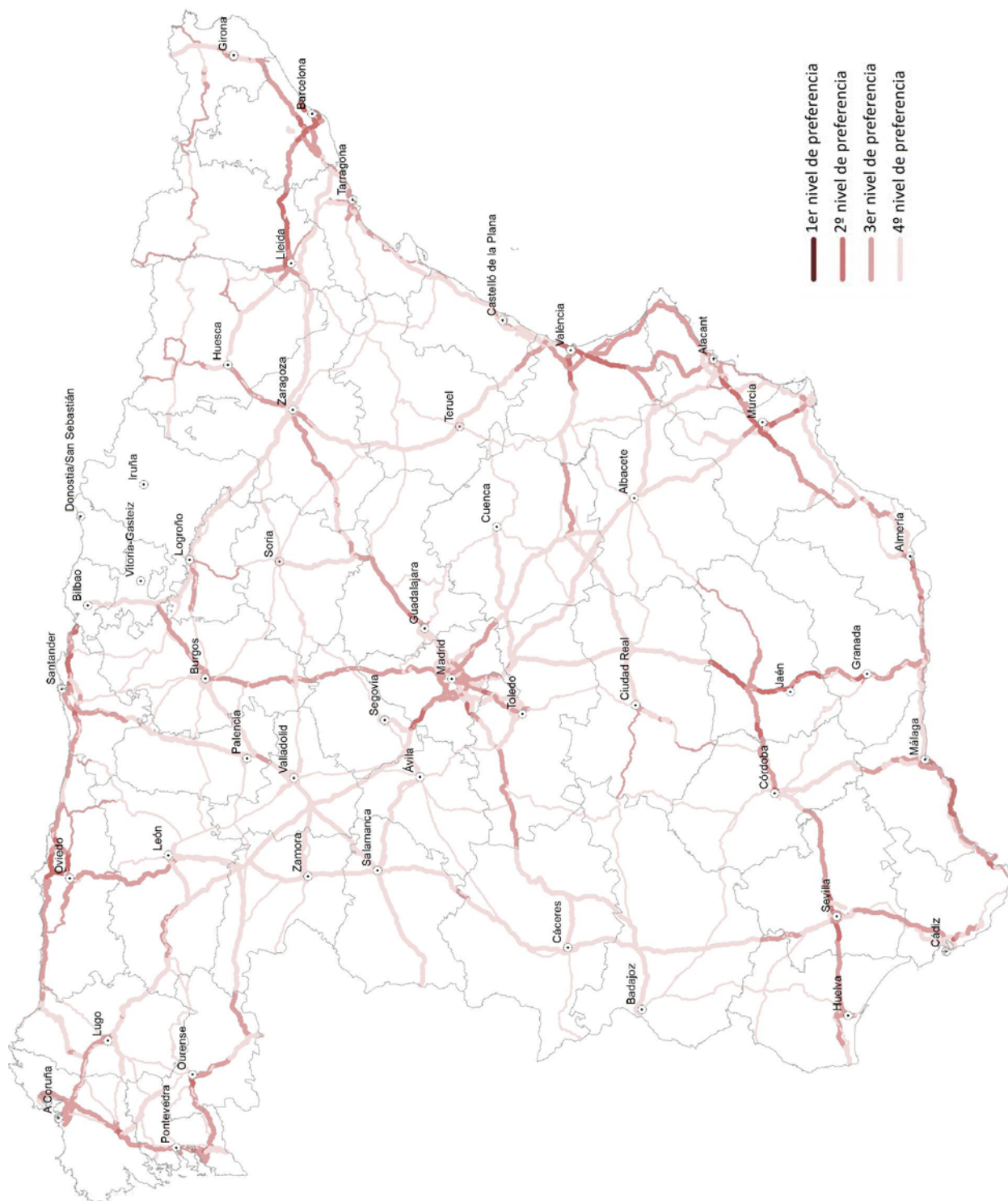
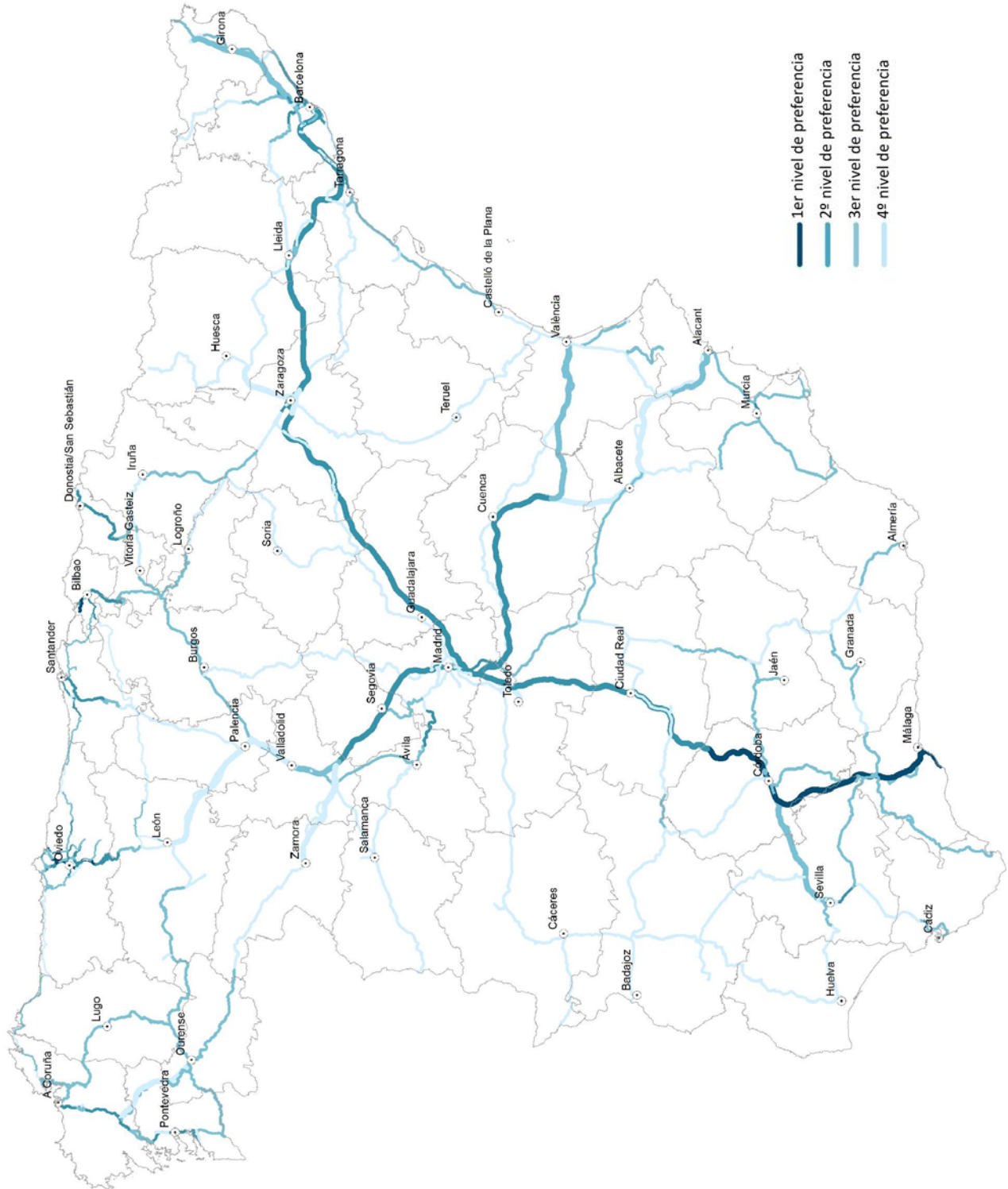


Figura IV.2
Preferencia de la atención a prestar en la red ferroviaria por razón de la variabilidad y cambio climáticos



ANEJO V – PERSONAS QUE HAN COLABORADO EN ESTE EJERCICIO

Este documento - elaborado por el **Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX** – ha podido ser realizado gracias a la colaboración de las siguientes personas, en representación de sus respectivos centros directivos y entidades:

- **Dirección General de Carreteras** del Ministerio de Fomento: Antonio J. Alonso Burgos / Agustín Sánchez Rey (*Subdirector General de Explotación y Gestión de Red*) y Manuel de Lucas Téllez de Meneses (*Jefe de Área de Planeamiento y Seguimiento de Planes*).
- **Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, ADIF**: Pedro Pérez del Campo (*Gerente de Área de Medio Ambiente, Dirección de Actuaciones Técnicas, Dirección General de Explotación y Construcción*).
- **Agencia Estatal de Meteorología, AEMET**: Ernesto Rodríguez Camino y M^a Jesús Casado Calle (*Área de Modelización y Evaluación del Clima*).

La realización del documento ha contado asimismo con el apoyo de la Subdirección General de Planificación de Infraestructuras y Transporte del Ministerio de Fomento, y del Ministerio para la Transición Ecológica a través de la Fundación Biodiversidad.

Demarcaciones de Carreteras del Estado

Para la caracterización de los niveles de impactos debidos a eventos climáticos en la Red de Carreteras del Estado se ha contado con la colaboración de las personas siguientes:

- **Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental**: Rodrigo Vázquez Orellana (*Jefe de Demarcación*), Emilio Asensio García (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Sevilla*), José María Padilla Jiménez (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Cádiz*), Tomás González Villa (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Córdoba*) y Joaquín Solís Gómez (*Jefe de Sección Técnica en Huelva*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental**: José del Cerro Grau (*Jefe de Demarcación*), Darío Rodríguez Pedrosa (*Jefe de Servicio de Conservación y Explotación en Granada*), Juan A. de Oña Esteban (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Almería*), Antonio Enrique Ortega Montoro (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Jaén*) y José Antonio Domingo Atencia (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Málaga*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón**: Rafael López Guarga (*Jefe de Demarcación*), Ignacio Rivera Blasco (*Jefe de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras en Zaragoza*), Albano Arnés García (*Jefe de Servicio de Planeamiento, Proyectos y Obras en Zaragoza*), Sandra de Francisco Méndez (*Jefa de Servicio de Planeamiento, Proyectos y Obras en Zaragoza*), Javier Andrés Pelegrina (*Jefe de Sección Técnica en Zaragoza*), Ignacio García Cavero (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Huesca*) y Carlos Casas Nagore (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Teruel*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias**: César Fernández-Nespral Pérez (*Jefe de Demarcación*) y Javier Uriarte Pombo (*Jefe de Área de Conservación y Explotación*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Cantabria**: Fernando Hernández Alastuey (*Jefe de Demarcación*), Juan Carlos Mas Bahillo (*Jefe de Área de Conservación y Explotación*), José

Francisco Sánchez Cimiano (*Jefe de Servicio de Planeamiento, Proyectos y Obras*) y Juan Antonio Ruiz De Villa (*Técnico Superior de Actividades Técnicas y Profesionales*).

- **Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla – La Mancha:** Francisco Javier González Cabezas (*Jefe de Demarcación*), Isidoro Picazo Varela (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Albacete*), Juan Antonio Mesones López (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Ciudad Real*), Carlos Celaya Escribano (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Cuenca*) y Rafael Moreno Ramírez (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Guadalajara*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Occidental:** José Vidal Corrales Díaz (*Jefe de Demarcación*), Javier Payán de Tejada González (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Valladolid*), Rosendo Martínez Fernández (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en León*), Javier Largo Maeso (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Palencia*), Alberto Buitrago Pérez (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Salamanca*) y Alejandro Ortegón Salas (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Zamora*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Oriental:** Ignacio Ormazábal Barriuso (*Jefe de Demarcación*), Javier Fernández Armiño (*Jefe de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras en Burgos*), Alberto Ciudad Murillo (*Jefe de Sección Técnica en Burgos*), Alberto del Río Alonso (*Jefe de Sección Técnica en Segovia*) y Ignacio Gil Jiménez (*Técnico en Ávila*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña:** Luis Bonet Linuesa (*Jefe de Demarcación*), José María Riu Grávalos (*Jefe de Servicio de Planeamiento, Proyectos y Obras en Barcelona*), Jorge Verdú Vázquez (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Gerona*) y Alberto Hernández Moreno (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Tarragona*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Comunidad Valenciana:** Ismael Ferrer Domingo (*Jefe de Demarcación*), Javier Soler Ribes (*Jefe de Servicio de Conservación y Explotación en Valencia*), Juan Carlos Yuste Cotanda (*Jefe de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras en Valencia*), Vicente Ferrer Pérez (*Jefe de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras Valencia Circunvalación*), Juan Antonio Moreno Soriano (*Jefe de Sección Técnica en Valencia*), Guillermo Llopis Serrano (*Técnico Superior en Valencia*) y Emilio Peiró Miret (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Alicante*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura:** José Manuel Blanco Segarra (*Jefe de Demarcación*), Antonio Ruiz-Roso Gómez (*Jefe de Servicio de Conservación y Explotación en Badajoz*), Juana Isabel González Rodríguez (*Jefa de Servicio de Planeamiento, Proyectos y Obras en Cáceres*), Esmeralda Samaniego de Peroy (*Jefa de Sección Técnica en Badajoz*) y Regino Díaz Cortés (*Jefe de Sección Técnica en Badajoz*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Galicia:** Ángel González del Río (*Jefe de Demarcación*), Marta Latas López (*Jefa de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras en A Coruña*), Eduardo Toba Blanco (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en A Coruña*), Álvaro Rodríguez Aguiar (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Ourense*), Pablo Domínguez Gómez (*Jefe de Área de Conservación y Explotación en Pontevedra*) y Francisco Prego Gómez (*Técnico Superior Facultativo Proyectos y Obras en Lugo*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid:** Juan José Jorquera Moya (*Jefe de Demarcación*) y José Ignacio Cuñado Arroyo (*Jefe de Área de Conservación y Explotación*).
- **Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia:** Ángel García Garay (*Jefe de Demarcación*), Antonio M. Martínez Menchón (*Jefe de Servicio de Conservación y Explotación*) y José F. Oña Navarrete (*Ineco*).

- **Demarcación de Carreteras del Estado en La Rioja:** Jesús Enrique García Garrido (*Jefe de Demarcación*), Miguel Ángel García Rodríguez (*Jefe de Área de Conservación y Explotación*) y Eva García-Casarrubios Berrocal (*Jefa de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras*).

Dirección de Mantenimiento de ADIF y ADIF Alta Velocidad

Para la caracterización de los niveles de impactos debidos a eventos climáticos en la Red Ferroviaria de Interés General se ha contado con la colaboración de las personas siguientes:

- **Subdirección de Operaciones Alta Velocidad:** Javier Movilla Sánchez (*Jefe de Área de Infraestructura AV*), Juan Cabello Álvarez (*Jefe de Área de Energía AV*), Angel Ladrón Martínez (*Jefe de Área de Vía AV*), Alicia Ortega Sánchez (*Técnico Especialista Eje AV Sur*), Yolanda Ruiz González (*Técnico Eje AV Este*) y Daniel Mulero Krambs (*Técnico Eje AV Norte*).
- **Subdirección de Operaciones Red Convencional Centro:** M^ª del Carmen Gómez Rodríguez (*Jefe de Coordinación, Seguimiento y Calidad*), Pedro Soto Ceballos (*Gerente de Área de Infraestructuras*), Abel Rajo Soto (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Madrid Sur*) y Enrique Fernández Mourelo (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Madrid Norte*).
- **Subdirección de Operaciones Red Convencional Noroeste:** Ignacio García Menéndez (*Jefe de Coordinación y Seguimiento*), Avelino González Álvarez (*Jefatura de Área de Mantenimiento de León*), José Manuel Serrano Teso (*Jefatura de Distrito de Salamanca*) y Álvaro Pérez Mansilla (*Técnico de Apoyo Gerencia Noroeste*).
- **Subdirección de Operaciones Red Convencional Sur:** Miguel Ángel Fuentes Romero (*Jefe de Coordinación y Seguimiento*), Francisco Javier Penco Ramos (*Facilitador de Calidad y Medio Ambiente*), José Guijarro Mata (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Sevilla*), Rafael Domínguez Prat (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Córdoba*), Antonio Rodríguez Vaquero (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Córdoba*), Juan Casado Filgueira (*Jefatura de Mantenimiento de Linares Baeza*), Juan Garrido Urbano (*Jefatura de Mantenimiento de Linares Baeza*), Antonio Duarte Jiménez (*Jefatura de Mantenimiento de Mérida*) y Francisco Gijón López (*Jefatura de Mantenimiento de Mérida*).
- **Subdirección de Operaciones Red Convencional Este:** Fernando Ugena Carrasco (*Subdirector de Operaciones Este*), Javier Peiró Bolós (*Jefe de Coordinación, Seguimiento y Calidad*), Ángel Contreras (*Gerente de Área de Infraestructuras Este*), Sebastián Ávila Medina (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Valencia*) y José Delicado Moreno (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Albacete*).
- **Subdirección de Operaciones Red Convencional Noreste:** Carlos Quingles Grange (*Subdirector de Operaciones Noreste*), Salvador Angosto Gavilán (*Gerente de Área de Infraestructuras Noreste*), Carlos Sarabia Vives (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Barcelona*), Juan Miguel Mata Morales (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Tarragona*) y Jacobo Villacampa Dourdil (*Jefatura de Área de Mantenimiento de Zaragoza*).
- **Subdirección de Operaciones Red Convencional Norte:** Daniel A. González Fernández (*Técnico de Coordinación y Seguimiento*), Juan Manuel Estradé Panadés (*Gerente de Área de Infraestructuras Norte*), Carlos Manzano Baró (*Jefatura de Coordinación, Seguimiento y Calidad*) y Jesús María Puente Guerra (*Jefatura de Coordinación, Seguimiento y Calidad*).
- **Subdirección de Operaciones Red de Ancho Métrico:** Juan Antonio González Peláez (*Jefatura de Coordinación, Seguimiento y Calidad*).