

# Grupo de Trabajo para el análisis de las Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España

**INFORME FINAL**  
Septiembre de 2013

			SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA	SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS	SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS	SECRETARÍA GENERAL DEL TRANSPORTE
			SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS Y TRANSPORTE	DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS	DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES	DIVISIÓN DE PROSPECTIVA Y TECNOLOGÍA DEL TRANSPORTE



SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD, EVALUACIÓN AMBIENTAL Y MEDIO NATURAL



European Environment Agency





## ÍNDICE

<b>1. ANTECEDENTES Y ALCANCE DE ESTE DOCUMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL GRUPO DE TRABAJO.....</b>	<b>1</b>
<b>3. LA RED DE TRANSPORTE OBJETO DE ANÁLISIS .....</b>	<b>3</b>
3.1. RED VIAL.....	3
3.2. RED FERROVIARIA .....	4
3.3. RED PORTUARIA.....	5
3.4. RED AEROPORTUARIA.....	6
<b>4. PREVISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERADAS .....</b>	<b>7</b>
4.1. VARIABLES CLIMÁTICAS RELEVANTES.....	7
4.2. DISPONIBILIDAD DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA.....	8
4.3. PREVISIONES CLIMÁTICAS PARA ESPAÑA.....	10
<b>5. PRINCIPALES IMPACTOS ESPERADOS .....</b>	<b>15</b>
5.1. IMPACTOS EN LA FASE DE PLANIFICACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS .....	16
5.2. IMPACTOS QUE PUEDEN REPERCUTIR SOBRE EL DISEÑO DE NUEVAS INFRAESTRUCTURAS .....	17
5.3. IMPACTOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN .....	19
5.4. IMPACTOS QUE PUEDEN INCIDIR EN LA OPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE .....	20
<b>6. PROPUESTA DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN.....</b>	<b>24</b>
6.1. MEDIDAS A CORTO PLAZO .....	24
6.2. MEDIDAS A MEDIO PLAZO .....	28
<b>7. REFLEXIONES FINALES .....</b>	<b>29</b>
<b>Anejo I. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED TRONCAL ESPAÑOLA.....</b>	<b>31</b>
I.1. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED DE CARRETERAS .....	31
I.2. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED FERROVIARIA.....	35
I.3. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED PORTUARIA .....	39
I.4. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED AEROPORTUARIA .....	43
<b>Anejo II. SISTEMAS ACTUALES DE ALERTA METEOROLÓGICA.....</b>	<b>47</b>
II.1. EL PLAN DE AVISOS METEOALERTA DE LA AEMET .....	47
II.2. ALERTAS ESPECÍFICAS PARA LA RED TRONCAL DE CARRETERAS.....	47
II.3. SISTEMAS DE ALERTA EN LA RED FERROVIARIA .....	48
II.4. SISTEMAS DE ALERTA POR FENÓMENOS MARINOS.....	49
II.5. SISTEMAS DE ALERTA EN AEROPUERTOS .....	51
II.6. ALERTAS POR RIESGO DE INUNDACIÓN .....	52
<b>Anejo III. RELACIÓN DE PARTICIPANTES.....</b>	<b>53</b>
III.1. GRUPO DE TRABAJO .....	53
III.2. GRUPOS DE EXPERTOS POR MODO DE TRANSPORTE .....	54



## 1. ANTECEDENTES Y ALCANCE DE ESTE DOCUMENTO

La consideración del cambio climático tiene dos dimensiones: la *mitigación*, que actúa sobre las causas del calentamiento global, y la *adaptación*, que trata de prevenir y luchar contra sus posibles efectos. La adaptación del transporte al cambio climático es una cuestión que está cobrando una atención creciente a nivel internacional. A nivel español, no obstante, apenas se ha reflexionado sobre el tema hasta la fecha, a pesar de que el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático ya propusiera en 2006 iniciar la evaluación de la vulnerabilidad y posibilidades de adaptación del sector y del sistema de transporte.

Una de las organizaciones internacionales que ha incorporado recientemente la adaptación del transporte al cambio climático en su agenda es la Agencia Europea de Medio Ambiente (*European Environment Agency*, EEA). La EEA tiene interés por cómo los distintos impactos del cambio climático, según el contexto geográfico, pueden afectar a los diferentes modos de transporte y al sistema de transporte en su conjunto, y cómo los distintos afectados consideran esos riesgos y las posibles opciones de adaptación.

En este contexto, se concretó en septiembre de 2012 una iniciativa en el ámbito del Grupo Fomento y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para llevar a cabo un análisis preliminar sobre cuáles pueden ser las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España; una iniciativa cuyos resultados alimenten la reflexión impulsada por la EEA y, al mismo tiempo, contribuyan a que la administración española tenga una mejor comprensión del tema y pueda promover las iniciativas y tomar las decisiones oportunas llegado el momento.

Este documento presenta los resultados obtenidos por el Grupo de Trabajo que ha desarrollado dicha iniciativa. El Anejo III detalla las unidades directivas y organismos que se han integrado en este Grupo de Trabajo y sus representantes.

## 2. METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL GRUPO DE TRABAJO

La figura 1 resume la forma en la que el Grupo de Trabajo ha organizado su análisis sobre necesidades de adaptación. La primera etapa (de octubre de 2012 a marzo de 2013) se ha centrado en la identificación de los principales impactos y riesgos del cambio climático sobre la red troncal de infraestructuras y su categorización en función de la urgencia percibida de tomar alguna medida de adaptación. Durante la segunda etapa (de abril a julio de 2013) se ha reflexionado sobre cuáles pueden ser las medidas de adaptación a promover con prioridad. Para desarrollar cada una de estas dos etapas, el Grupo de Trabajo ha contado a su vez con el apoyo de cuatro grupos de expertos, uno por cada modo de transporte. El Anejo III relaciona la composición de cada uno de los grupos de expertos.

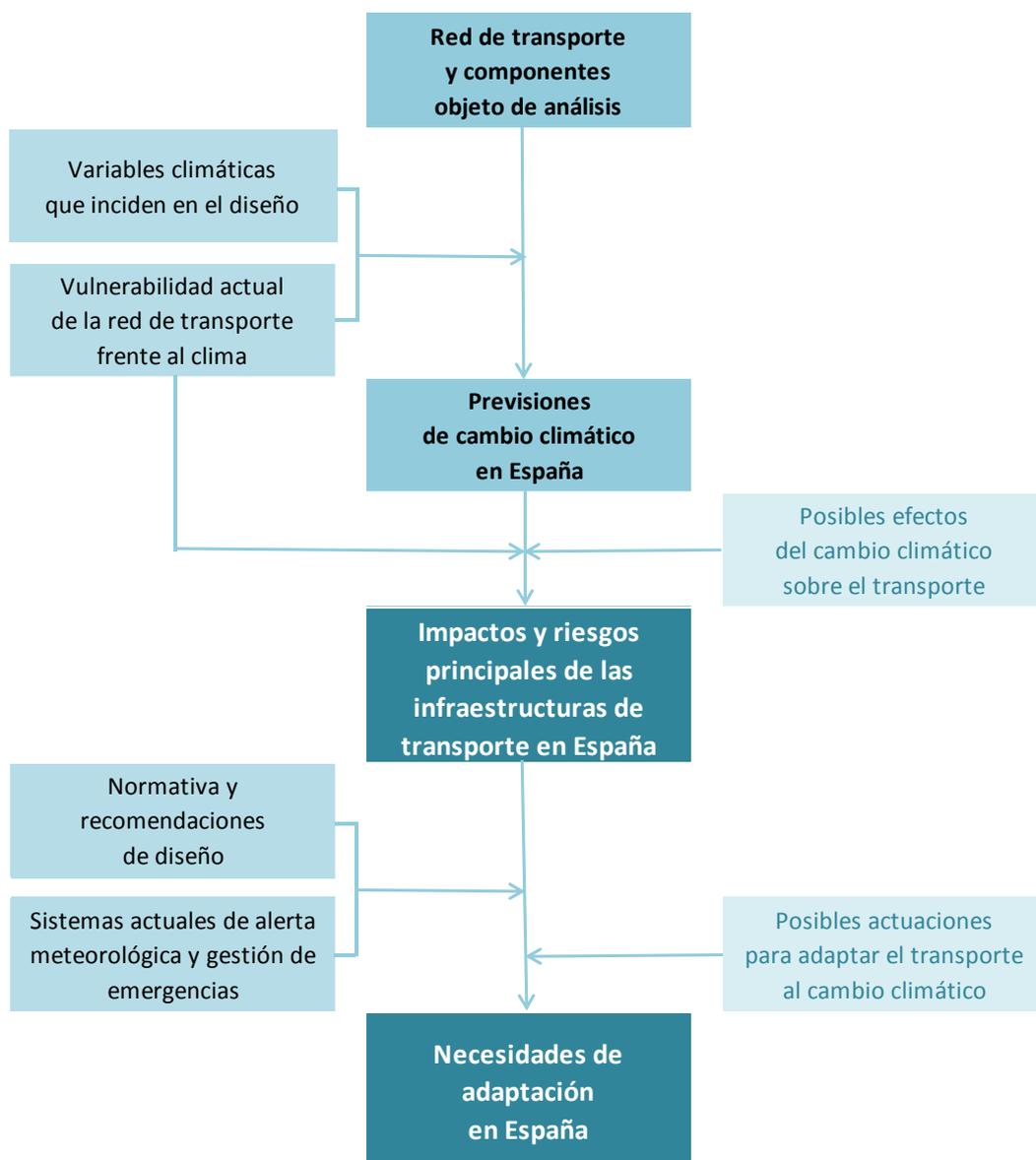
Al inicio de la primera etapa, cada grupo modal ha procedido a delimitar el alcance de la reflexión, definiendo para ello cuáles son las infraestructuras en España que tienen cabida bajo el concepto de *red troncal*, y cuáles son los componentes de esa red a integrar en el análisis. El apartado 3 de este documento resume el resultado de este ejercicio.

Para la identificación y categorización de posibles impactos y riesgos, ha sido preciso previamente solicitar a los climatólogos información acerca de las previsiones de cambio climático en España durante

las próximas décadas. El apartado 4 recoge la información aportada al respecto por la Agencia Española de Meteorología (AEMET) con carácter general, y por Puertos del Estado, por la Oficina Española de Cambio Climático y por el CEDEX para el caso específico del medio marino, de las costas españolas y del régimen hidrológico respectivamente. Con objeto de orientar la recopilación de tales previsiones y para facilitar el posterior ejercicio de identificación de impactos, los grupos de expertos modales han procedido con anterioridad a explicitar cuáles son las principales variables climáticas que inciden en el diseño de cada componente de la infraestructura y a examinar los datos disponibles sobre vulnerabilidad actual de la red troncal frente a eventos climáticos, un resumen de los cuales se incluye en el Anejo I.

Para la identificación de los principales impactos y riesgos del cambio climático, los grupos de expertos se han apoyado además en una revisión bibliográfica de los posibles efectos del cambio climático citados en otros países, por organismos internacionales sectoriales y por los investigadores.

**Figura 1**  
Esquema de la metodología de trabajo adoptada por el Grupo de Trabajo



Para abordar la segunda etapa del trabajo, los grupos de expertos modales han recopilado previamente información sobre la normativa y recomendaciones de diseño donde aparecen las variables susceptibles de verse alteradas significativamente por efecto del cambio climático, sobre los sistemas actuales de gestión de emergencias/incidencias causadas por eventos climáticos, y sobre las capacidades y limitaciones de los sistemas de alerta meteorológica, un resumen de los cuales se incluye en el Anejo II. Con ello y con una revisión bibliográfica de las actuaciones que actualmente proponen las administraciones e investigadores de otros países para adaptar el sistema de transporte al cambio climático, los grupos modales han realizado una propuesta preliminar de medidas de adaptación para el caso de España, que el Grupo de Trabajo ha consolidado para el conjunto de la red troncal.

### 3. LA RED DE TRANSPORTE OBJETO DE ANÁLISIS

La red de infraestructuras que el Grupo de Trabajo ha tomado como referencia para su reflexión incluye carreteras, ferrocarril, puertos y aeropuertos. Bajo la noción de *red troncal* se ha integrado, de forma genérica, la red básica de puertos y aeropuertos españoles y las infraestructuras terrestres con marcado carácter estructurador y que facilitan la mayor parte de los recorridos interurbanos de media-larga distancia, el acceso a las principales ciudades y/o las comunicaciones internacionales. La incidencia del cambio climático sobre la navegación marítima y aérea en general, y el transporte urbano y algunas de sus infraestructuras más características (líneas de metro o tranvía, por ejemplo) han quedado fuera del ámbito de la reflexión realizada por el Grupo de Trabajo.

#### 3.1. RED VIAL

La red de carreteras de referencia incluye, de una parte, la totalidad de la red de titularidad estatal, esto es, unos 25.830 km, de un total de algo más de 165.000 km de red total de carreteras en España. De la red de titularidad estatal, alrededor de 2.535 km son autopistas de peaje, 8.830 km son autovías y vías de doble calzada, y 14.465 km son carreteras convencionales de calzada única.

A esta red se ha añadido todas las vías de gran capacidad o carreteras convencionales de titularidad autonómica o de Diputaciones y Cabildos comprendidas en la propuesta del Gobierno español de Red Transeuropea de Transporte. La longitud seleccionada de red de titularidad no estatal suma casi 1.500 km repartidos en seis Comunidades Autónomas (País Vasco, Navarra, Cataluña, Andalucía, Baleares y Canarias). De ésta, casi un 18% son autopistas de peaje, el 70% son autovías y algo más del 12% son carreteras convencionales.

La red total objeto de análisis supera consecuentemente los 27.300 km y comprende carreteras en todas las provincias peninsulares españolas, en los archipiélagos balear y canario, y en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla. A pesar de comprender únicamente el 16,5% de la longitud total de carreteras en España, esta red soporta más de la mitad del volumen de tráfico total y alrededor de dos tercios del tráfico de vehículos pesados. En gran medida, se trata de una red relativamente joven, especialmente en el caso de vías de gran capacidad. Prácticamente la totalidad de la red está pavimentada con materiales bituminosos; apenas el 0,7% de la red dispone de firme de hormigón. La red posee un número relativamente elevado de túneles, puentes y viaductos, como consecuencia de la orografía accidentada del país y de los estándares de diseño de dicha red. Sólo en la red de carreteras del Estado, por ejemplo, existen en la actualidad unos 365 túneles, con una longitud media de 425 m. A pesar de la elevada longitud de costa española, la longitud de carreteras de esta red que discurren muy cercanas al mar es muy pequeña.

Alrededor del 10,5% de la longitud de la red es gestionada por empresas concesionarias mediante cobro de peaje. Otro 3,6% son autopistas en servicio que se han concesionado en los últimos años al sector privado para su acondicionamiento, conservación y explotación por un plazo de 19 años.

En el alcance del análisis realizado por el Grupo de Trabajo se consideran incluidos la geometría del trazado y todos los componentes que conforman la infraestructura vial: taludes, rellenos, explanada, firmes, drenaje, obras de protección, puentes y estructuras, túneles, señalización fija y variable, balizamiento y defensas, iluminación y vegetación.

### 3.2. RED FERROVIARIA

La red ferroviaria que se ha tomado como referencia para el análisis comprende:

- toda la red de alta velocidad de ancho internacional y ancho ibérico (2.290 km<sup>1</sup>),
- la totalidad de la red gestionada por ADIF por la que discurren servicios de cercanías (2.152 km<sup>1</sup>), y
- el resto de red convencional de ancho ibérico gestionada por ADIF con alta intensidad de tráfico (líneas con niveles de utilización superiores a 50 circulaciones medias diarias) y mayores prestaciones (3.779 km<sup>1</sup>).

En total, esta red supone algo más de 8.220 km, esto es, alrededor del 54% de la longitud total de la red en servicio gestionada por ADIF y más del 51% del total de la red ferroviaria española. Se entiende que quedan recogidas de esta forma en la red troncal ferroviaria todas las líneas de carácter estratégico, sobre las que las eventuales afecciones derivadas del cambio climático pueden conllevar mayores efectos negativos para la operatividad del servicio.

La red comprende casi 1.400 túneles que suman una longitud de más de 700 km, y casi 400 subestaciones de tracción. Toda la red seleccionada discurre por territorio peninsular; de ésta, sólo algunos tramos de la red convencional en el este y noreste discurren junto a la costa. En cuanto a su antigüedad, cabe destacar una gran diferencia entre las líneas de red convencional 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 80% de esta red es inferior a siete años.

Se consideran incluidos en el ámbito del análisis:

- Los distintos componentes de la *línea ferroviaria* propiamente dicha:
  - Infraestructura: explanaciones y obras de tierra, estructuras (obras de paso transversal, puentes y viaductos), túneles y falsos túneles, obras de drenaje longitudinal y transversal, y otros elementos auxiliares (caminos de acceso, cerramiento, pantallas, canaletas, zonas de rescate).
  - Superestructura: vía (balasto, carril, traviesas, sujeciones, aparatos de vía), electrificación (catenaria, subestaciones de tracción), sistemas de seguridad y comunicaciones.
- Las *estaciones e instalaciones técnicas*, en particular:
  - La totalidad de las grandes estaciones gestionadas por la Dirección General de Servicios a Clientes y Patrimonio de ADIF, que suman un total de 95 ubicaciones.
  - Los centros de gestión del tráfico ferroviario, entre los que se incluyen 20 Centros de Regulación y Control - 16 de ellos en la red convencional y 4 en la de alta velocidad – más un Centro de Gestión de Red H24, que supervisa de forma permanente el estado de la infraestructura así como el desarrollo de la circulación ferroviaria.
- Los *trenes* para transporte de viajeros y mercancías.

<sup>1</sup> Dato del año 2012.

### 3.3. RED PORTUARIA

La red portuaria que el Grupo de Trabajo ha tomado como referencia está compuesta por la totalidad del sistema portuario de titularidad estatal, integrado por 45 puertos de interés general (gráfico 2), gestionados por 28 Autoridades Portuarias, coordinadas a su vez por el Organismo Público Puertos del Estado. El puerto de Sevilla es el único puerto marítimo español de interior; a sus instalaciones se accede a través de una esclusa, después de recorrer 90 km desde el océano Atlántico por un canal de navegación en el río Guadalquivir.

El sistema portuario de referencia mueve en su conjunto más de 458 millones de toneladas al año, lo que equivale a cerca del 60% de las exportaciones y del 85% de las importaciones españolas. En ellos embarcan y desembarcan además cerca de 19,3 millones de pasajeros al año en régimen de transporte, más 8 millones de pasajeros de crucero.

**Gráfico 2**  
Sistema portuario de referencia



El alcance del análisis incluye:

- La *zona marítima* o zona de flotación, destinada al barco, en la que se disponen:
  - Las obras de abrigo, que protegen la zona de atraques del oleaje exterior, constituidas fundamentalmente por los diques.
  - Las obras de acceso, que facilitan el acceso del barco al puerto en condiciones de seguridad, garantizando su maniobrabilidad, anchura y calado adecuados (incluye los diques de encauzamiento, los canales dragados, las esclusas y la señalización).
  - Los espacios de fondeo (radas), con la función de mantener el barco en aguas tranquilas, sin obstruir el tráfico, a la espera de su turno de atraque en los muelles.

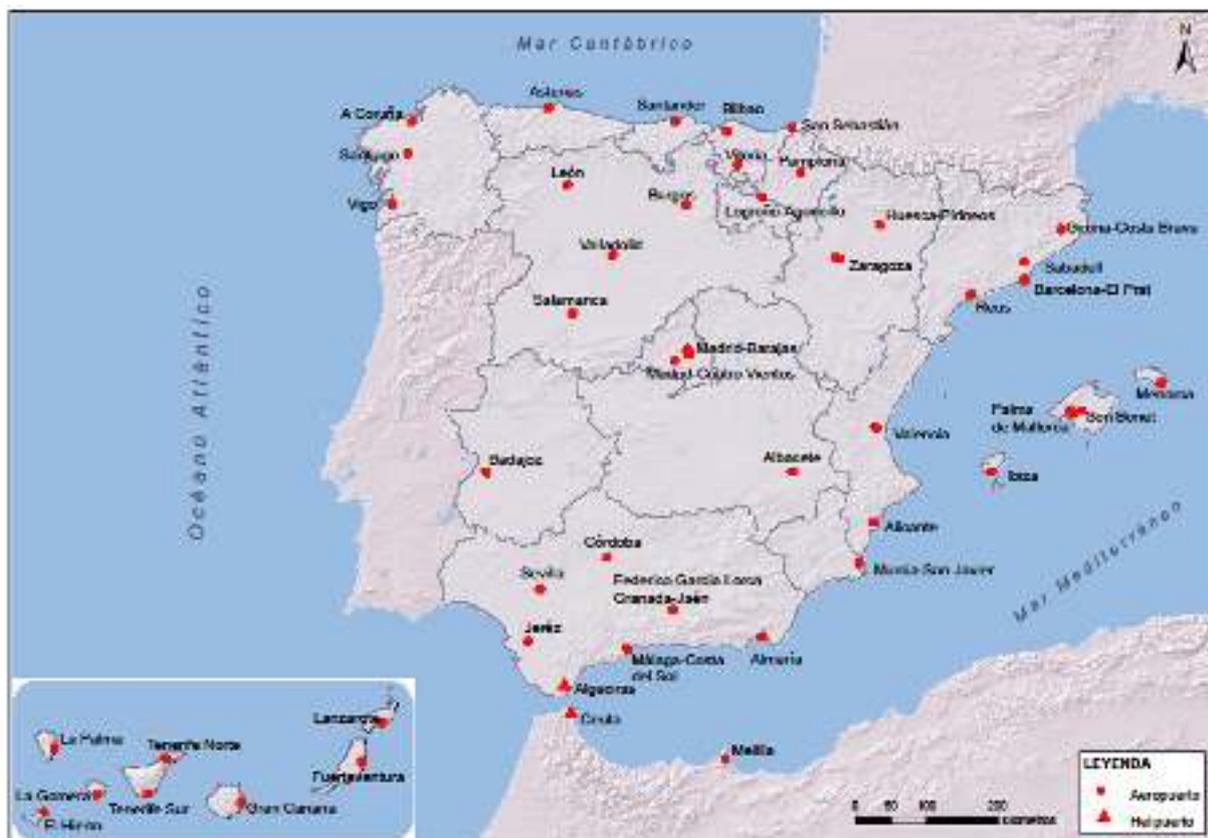
- Las dársenas comerciales y pesqueras, que constituyen la superficie de aguas abrigadas aptas para la permanencia y operación de los barcos.
- La *zona terrestre*, que comprende:
  - Los muelles, que además de facilitar el atraque y amarre de los barcos, sirven de soporte al utillaje y de acopio provisional de mercancías
  - Las áreas de depósito y almacenes, que además de adecuar un espacio a las mercancías, sirven de regulación de los flujos marítimo-terrestres.
  - Los edificios e instalaciones para servicios.
- Las *vías de acceso terrestre*, que incluye vías de acceso al puerto desde la red general de carreteras y ferrocarril, viales de circunvalación y reparto dentro del recinto portuario, y áreas de maniobra y estacionamiento.

### 3.4. RED AEROPORTUARIA

Como referencia de la red aeroportuaria se ha tomado los 46 aeropuertos y 2 helipuertos en España gestionados actualmente por Aena Aeropuertos (gráfico 3). En el año 2012, estos aeropuertos registraron más de 194,3 millones de pasajeros, operaron más de 1,9 millones de vuelos y transportaron casi 650.000 toneladas de mercancías, lo que corresponde a casi la totalidad del tráfico aéreo comercial en España.

La antigüedad media de los principales aeropuertos de la red es de unos 50 años aproximadamente, aunque Aena ha acometido planes de ampliación en la mayoría de sus principales aeropuertos (Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Málaga-Costa del Sol, Alicante, etc.) en las últimas décadas.

**Gráfico 3**  
Sistema aeroportuario de referencia



El análisis realizado se refiere al conjunto de sistemas, subsistemas y componentes infraestructurales que conforman la zona de servicio de un aeropuerto y sus accesos por superficie. La zona de servicio se estructura en tres grandes áreas homogéneas, en función de las actividades asignadas y su grado de relación directa o complementaria con la propia funcionalidad aeroportuaria:

- El *subsistema de movimiento de aeronaves*, que contiene los espacios y superficies utilizados por las aeronaves en sus movimientos de aterrizaje, despegue y circulación en rodadura y estacionamiento. Está constituido por el campo de vuelos, la plataforma de estacionamiento de aeronaves y las instalaciones auxiliares.
- El *subsistema de actividades aeroportuarias*, que contiene las infraestructuras, instalaciones y edificaciones que completan, dentro del ámbito aeroportuario, el proceso de intercambio modal entre el transporte aéreo y el sistema terrestre, garantizando su eficacia funcional y calidad de servicio. Se distribuye en las siguientes zonas funcionales:
  - Zona de pasajeros: edificio terminal y aparcamientos.
  - Zona de carga: edificio y plataforma de carga.
  - Zona de apoyo a la aeronave: edificios de asistencia en tierra, estacionamientos handling, plataformas de deshielo, hangares y almacenes).
  - Zona de servicios: bloque técnico, TWR, centro de emisores, edificio SEI/bomberos, servicio de control de fauna.
  - Zona de aviación general: edificios, plataforma y hangares para aviación general.
  - Zona de abastecimiento: central eléctrica, abastecimiento de agua, tratamiento de residuos y aguas residuales, abastecimiento de combustibles y lubricantes, entre otros.
  - Zona de actividades complementarias: camino y vallado perimetrales.
- La *zona de reserva aeroportuaria*, que contiene los espacios necesarios para posibilitar el desarrollo de nuevas instalaciones y servicios aeroportuarios, así como las ampliaciones de cualquiera de las zonas anteriormente mencionadas.

## 4. PREVISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERADAS

### 4.1. VARIABLES CLIMÁTICAS RELEVANTES

Las variables climáticas relevantes para las infraestructuras de transporte son, en general, conocidas. Con todo, el Grupo de Trabajo ha creído conveniente llevar a cabo un análisis previo que contribuya a explicitar las razones por las que las variables climáticas son relevantes y a categorizar dicha relevancia.

Para ello, se ha identificado qué variables climáticas son significativas, sea desde la perspectiva del diseño de la infraestructura, sea desde la perspectiva de su operación. La relevancia para el diseño se ha obtenido a partir de una revisión sistemática de la normativa y recomendaciones de diseño que aplica a cada tipo de infraestructura. La relevancia para la operación ha sido valorada a partir de una recopilación de datos sobre la vulnerabilidad actual de la red española frente a eventos climáticos, de los que el Anejo I ofrece un resumen. El resultado del análisis se ha organizado, en ambos casos, por componente de la infraestructura.

Como resultado de este análisis preliminar, se ha concluido que las variables climáticas sobre las que conviene disponer de previsiones de evolución a futuro son las indicadas en la tabla 4.

**Tabla 4**  
Variables climáticas relevantes para el transporte

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

## 4.2. DISPONIBILIDAD DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA

Para realizar su análisis, el Grupo de Trabajo ha contado con las estimaciones de cambio climático que ha proporcionado la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), aprobado en 2006, identifica a la AEMET como la institución responsable de generar los escenarios de cambio climático regionalizados para el territorio español. La AEMET tiene el mandato de coordinar a los grupos de investigación españoles más activos en este campo para sumar esfuerzos y ofrecer un paquete unificado de escenarios de cambio climático para España, convenientemente ordenado y documentado, y de ponerlos a disposición de los distintos agentes sectoriales, públicos y privados, para facilitar su uso en evaluaciones de los impactos del cambio climático.

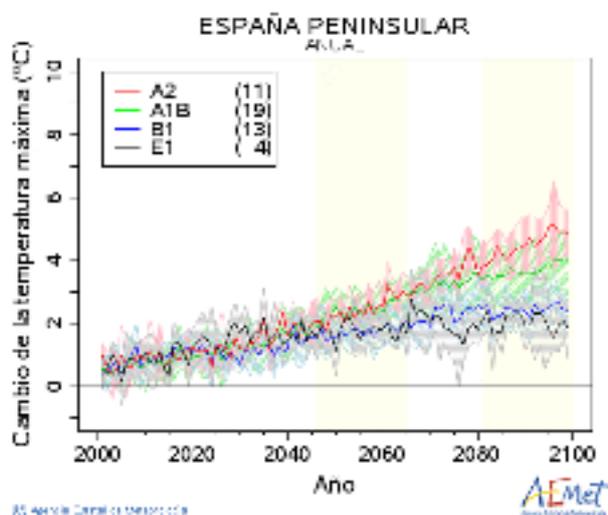
La fase inicial de este trabajo se materializó en una primera colección de escenarios, puesta a disposición de los usuarios a través de la página web de la AEMET y de la publicación *“Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España”*, que vio la luz en el año 2008. Esta primera colección de escenarios, basada en los modelos del Tercer Informe de Evaluación del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), tiene en cuenta dos de los posibles escenarios de emisiones globales de gases de efecto invernadero del IPCC (el escenario de emisiones medio-alto SRES-A2 y el escenario de emisiones medio-bajo SRES-B2) y ha alimentado, por ejemplo, las evaluaciones sectoriales de impactos

realizadas por la Administración General del Estado en sectores como las costas, los recursos hídricos, el turismo o la biodiversidad.

Con posterioridad, la AEMET ha generado y puesto a disposición de los usuarios, a través de su página web, una nueva colección de escenarios basada en los modelos del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC y del proyecto *ENSEMBLES* del 6º Programa Marco de I+D de la UE, teniendo en cuenta tres escenarios de emisiones (SRES-A2, SRES-A1B y SRES-B1<sup>2</sup>) y un escenario de mitigación (E1). La información se proporciona tanto en formato numérico con dato diario como de forma agregada estacional y anualmente para la España peninsular y a nivel de Comunidad Autónoma como gráfico de evolución (figura 5) y mapa de proyecciones (figura 6).

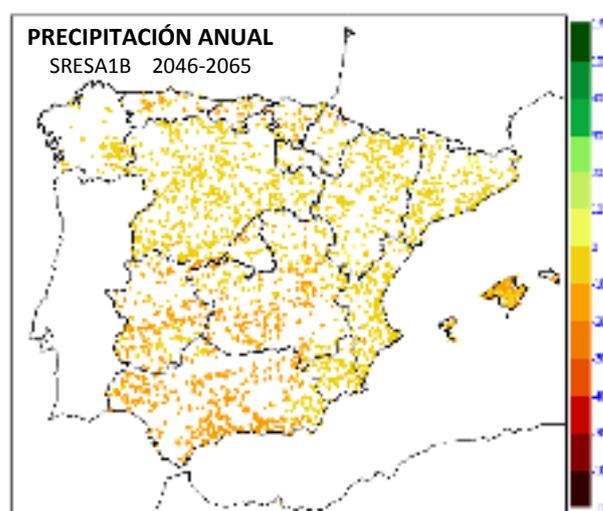
**Figura 5**

Ejemplo de gráfico de evolución que la AEMET pone a disposición a través de su página web



**Figura 6**

Ejemplo de mapa de proyecciones que la AEMET pone a disposición a través de su página web



En la actualidad, la AEMET está finalizando el desarrollo de una nueva colección de escenarios climáticos regionalizados de cambio climático que se ha denominado *Escenarios-PNACC Datos mensuales*. Esta colección de escenarios integra la información generada por la AEMET y los proyectos de investigación nacionales *ESTCENA* y *ESCENA*. Los datos de *Escenarios-PNACC Datos mensuales* amplía la relación de variables e índices puestos a disposición con anterioridad. Las proyecciones corresponden a tres escenarios de emisiones (SRES-A2, SRES-A1B y SRES-B1) y los horizontes temporales cubiertos son hasta 2050 o 2100, según el modelo.

Para el caso específico del medio marino, el Grupo de Trabajo ha contado con los datos proporcionados por Puertos del Estado y el Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, quienes – en colaboración con la AEMET – han realizado hasta la fecha una serie de simulaciones con las que se han reproducido las características climáticas del mar Mediterráneo y del sector del océano Atlántico que baña las costas españolas durante la segunda mitad del siglo XX y han obtenido proyecciones de su evolución a lo largo del siglo XXI bajo distintos escenarios de cambio climático<sup>3</sup>. Para el oleaje en la costa, se ha dispuesto

<sup>2</sup> El escenario A1B es un escenario de no mitigación con emisiones intermedias, para el que se han calculado un mayor número de proyecciones globales. El escenario B1 (más optimista) corresponde a emisiones bajas sin mitigación y el escenario A2 (más pesimista) corresponde a emisiones altas sin mitigación.

<sup>3</sup> Estos trabajos se han desarrollado en el marco del proyecto ESCENARIOS, financiado por la AEMET, y de los proyectos de investigación Vanimedat I y II, financiados por el Plan Nacional de I+D+i.

además de las predicciones realizadas en el marco del proyecto *Cambio Climático en la Costa Española*, desarrollado en el periodo 2009-2012 por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria para la Oficina Española de Cambio Climático. Por lo que se refiere a las predicciones hidrológicas se han utilizado las previsiones formuladas por el CEDEX.

### 4.3. PREVISIONES CLIMÁTICAS PARA ESPAÑA

A continuación se recopilan las previsiones climáticas más significativas para el transporte obtenidas para España para este siglo. Los resultados de las diversas simulaciones realizadas suelen mostrar discordancias sobre la magnitud de los cambios proyectados, y están lógicamente condicionados al escenario de cambio climático considerado. Sin embargo, a efectos de la reflexión realizada por el Grupo de Trabajo, se considera suficiente trabajar con un escenario climático medio y retener las notables coincidencias cualitativas observadas entre las distintas simulaciones.

#### 4.3.1. Temperatura del aire

Las proyecciones estimadas de la **temperatura media** a lo largo del siglo XXI indican que en todas las regiones españolas se proyecta un incremento progresivo de la temperatura media superficial a lo largo del siglo. El calentamiento medio será más notable en verano que en invierno. La tendencia media se sitúa en torno a +2°C en verano y +1,2°C en invierno por cada tercio de siglo, si bien el incremento tenderá a ser más acusado a partir de mediados del siglo XXI.

No todas las regiones experimentarán el mismo grado de calentamiento medio. Mientras que el incremento térmico proyectado en invierno sería bastante similar en todas las regiones, las diferencias territoriales se acrecientan un tanto en verano, siendo los aumentos de temperatura media más altos en las regiones del interior y sur peninsular que en las áreas costeras.

En todas las regiones las **temperaturas máximas diarias** tienden a incrementarse algo más que las temperaturas medias. Las **temperaturas mínimas diarias** también aumentarán, aunque algo menos que las temperaturas medias.

En consecuencia, se reducirá el promedio de **días de helada** anual (esto es, días con temperatura mínima inferior a 0°C). También habrá una tendencia a que la **oscilación térmica diaria** (diferencia entre temperatura máxima y mínima) se acreciente ligeramente; esta tendencia será más acusada en verano en el interior. En el Archipiélago Canario se predice una subida más moderada de las temperaturas máximas, al estar claramente atemperadas por la influencia oceánica.

Todas las proyecciones indican además que, en todas las regiones de España, habrá un sensible incremento en la intensidad y frecuencia de eventos extremos relacionados con la temperatura. A título de ejemplo, se prevé que a mediados de este siglo la duración de las **olas de calor**<sup>4</sup> en un año se duplique. En el último tercio de siglo, en un escenario de emisiones medias-altas, en más de la mitad de los días del periodo estival se podrían alcanzar temperaturas máximas diarias en el interior de la Península por encima de las que actualmente se consideran excepcionalmente altas.

#### 4.3.2. La humedad relativa

La **humedad relativa** tenderá a reducirse ligeramente (5%) de forma generalizada, de manera consistente con el aumento en las temperaturas.

<sup>4</sup> Número máximo de días consecutivos, superior a cinco, con temperatura máxima superior al percentil 90 de la temperatura máxima diaria del periodo de referencia.

### 4.3.3. La nubosidad

La tendencia a la reducción de la **nubosidad** será también general para todas las regiones y épocas del año, con la excepción del noroeste de la Península y solamente en los meses invernales. La desviación típica de la nubosidad es claramente mayor en los meses estivales, posiblemente debido al origen convectivo de la nubosidad y a las mayores discrepancias intermodelo para este tipo de procesos.

### 4.3.4. Precipitación, tormentas, inundaciones, avenidas y sequías

Los resultados relativos a la precipitación presentan mayor incertidumbre que los obtenidos para las temperaturas, consecuencia, por una parte, del error que introducen los métodos de regionalización cuando se aplican a la precipitación y, por otra, de 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.

Por lo general, en la mayor parte de las regiones se proyecta una tendencia progresiva a la disminución de la **precipitación acumulada anual**, que será más acusada a partir de mitad de siglo. En el período 2011-2040 se proyectan disminuciones del total anual de precipitación con valores en torno al 5% en la mitad norte y Levante, cercanos al 10% en el suroeste peninsular, y un descenso algo más acentuado en Canarias. En el último tercio del siglo las reducciones serán aún mayores.

Por lo que se refiere a las **precipitaciones extremas** de muy corta duración y a las **tormentas**<sup>5</sup>, se prevé una disminución con carácter general de su frecuencia, aunque su intensidad puede aumentar en el caso de los fenómenos convectivos que tienen lugar en verano-otoño, especialmente en el norte y levante peninsular, con lo que podría aumentar el riesgo de **inundaciones localizadas**<sup>6</sup>.

Respecto del régimen hidrológico, se prevé que su variabilidad anual aumente en las cuencas atlánticas en el futuro, lo que puede hacer que la frecuencia de **avenidas** disminuya, aunque no su magnitud. En las cuencas mediterráneas y del interior 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.

Por lo que concierne a las **sequías**, cualquier conclusión sobre su caracterización debe contemplarse también con precaución debido a la acumulación de incertidumbres. En principio, se prevé que los períodos de sequía aumenten, especialmente en verano.

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> El riesgo de inundaciones afecta en la actualidad a prácticamente toda la geografía española, aunque el territorio más castigado se centra en las costas mediterráneas y cantábricas y en los espacios fluviales de los grandes ríos peninsulares. A raíz de las graves inundaciones en el Levante y País Vasco en 1982-83, la Comisión Nacional de Protección Civil elaboró un mapa con las zonas de mayor riesgo potencial. En la actualidad, se están desarrollando los trabajos fijados en el R.D. 903/2010 de Evaluación y gestión de riesgo de inundación para la identificación de las zonas inundables con criterios históricos, geomorfológicos e hidrológicos-hidráulicos, y la representación cartográfica de la peligrosidad y el riesgo. Las zonas identificadas formarán parte de una base de datos de zonas inundables y los mapas que resulten en el año 2013 habrán de incorporarse a los planes de protección civil ante el riesgo de inundaciones.

#### 4.3.5. Nieve

En relación con las **nevadas**, se prevé un descenso generalizado de su frecuencia como consecuencia del descenso de precipitaciones y aumento de la temperatura. Tampoco se prevé que aumenten en intensidad, puesto que el mayor riesgo de aumento de intensidad de las precipitaciones ocurrirá en verano-otoño.

#### 4.3.6. La niebla

No se tiene constancia de que el fenómeno de la evolución de la **niebla** durante las últimas décadas se haya estudiado todavía en España. Diversas investigaciones realizadas en Europa señalan sin embargo – a partir de los valores de visibilidad horizontal registrados en los aeropuertos – que el número de periodos con brumas y nieblas en áreas metropolitanas tiende a disminuir desde los años 70 del siglo pasado. Una hipótesis de dicha disminución residiría en el abandono progresivo del carbón para la calefacción, lo cual supone una reducción de las emisiones de dióxido de azufre. La presencia de dióxido de azufre causa la aparición de partículas de sulfatos, que se convierten en núcleos de condensación alrededor del cual se forman las gotitas de agua...es decir, la niebla.

#### 4.3.7. El viento

De manera general, no se proyectan cambios significativos en la intensidad del **viento** en superficie hasta final de siglo. Del análisis de los datos regionalizados disponibles se desprende que – en el promedio de toda la península Ibérica - existe una tendencia de los vientos a ser menos del oeste y más del este, a ser más del sur y menos del norte, y – en general - a la disminución de la velocidad del viento y de la racha máxima, excepto en verano (en el que la tendencia es al aumento, aunque de forma moderada, especialmente en zonas de Galicia y valle del Ebro) y durante episodios intensos de tipo convectivo. El análisis de tendencias medias y extremas del viento en el litoral durante la segunda mitad del siglo XX es coherente con estas predicciones.

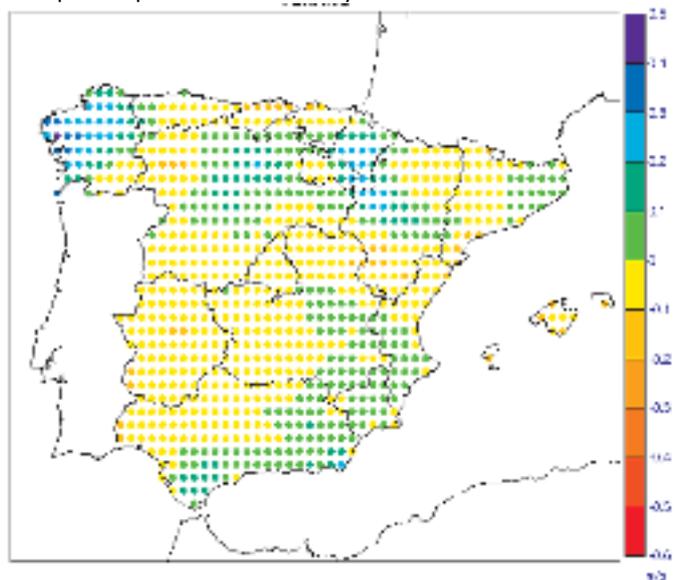
#### 4.3.8. El oleaje

Todas las simulaciones de oleaje en las costas españolas para distintos escenarios relativos al siglo XXI muestran variaciones moderadas de altura significativa<sup>7</sup>, tanto para las costas del Mediterráneo como del Atlántico, con tendencia general a un ligero descenso, aunque en el umbral de ser estadísticamente significativas.

Simulaciones realizadas con el modelo de generación y propagación de oleaje WAM forzado con vientos procedentes de cuatro modelos atmosféricos distintos (tabla 9), muestran que las mayores variaciones

**Figura 8**

Distribución espacial del cambio en la velocidad del viento a 10 m de la superficie en verano, promediado anualmente para el periodo 2081-2098 y el escenario SRES-A1B



<sup>7</sup> La altura significativa equivale aproximadamente a la altura media del tercio de olas más altas.

de oleaje en la costa se producirán en la cornisa cantábrica, con tendencias ligeramente negativas tanto en valor medio como en extremos. En el Mediterráneo, las diferencias entre los modelos que mayores y menores cambios muestran en la costa son del mismo orden de magnitud que los valores absolutos de dichos cambios.

**Tabla 9**

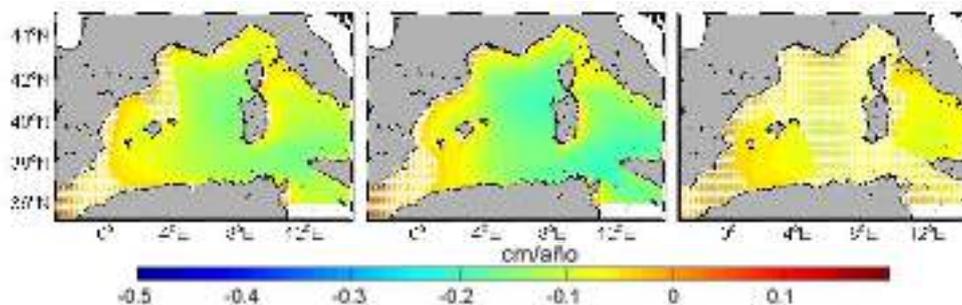
Estimaciones por zona costera de las variaciones (en cm) del oleaje medio y extremo del siglo XXI con respecto al siglo XX para el escenario A1B y cuatro forzamientos atmosféricos diferentes

	<i>Mar Cantábrico</i>	<i>Fachada atlántica</i>	<i>Golfo de Cádiz</i>	<i>Islas Canarias</i>	<i>Mar de Alborán</i>	<i>Costa de Almería y Blanca</i>	<i>Mar Catalano-Balear (Península)</i>	<i>Islas Baleares</i>
<b>Variación de valor medio</b>	Max: -7,3 Min: -2,2	Max: -7,3 Min: -3,6	Max: -3,3 Min: -0,4	Max: -3,6 Min: -0,7	Max: +3,7 Min: -1,1	Max: -3,7 Min: +1,5	Max: -3,0 Min: -0,7	Max: -6,9 Min: -3,6
<b>Variación de percentil 95</b>	Max: -23,3 Min: -0,3	Max: -11,4 Min: -2,4	Max: -11,7 Min: +0,9	Max: -5,4 Min: +0,6	Max: +8,1 Min: -0,7	Max: -11,4 Min: +2,4	Max: -8,7 Min: +0,1	Max: -11,6 Min: -5,1

Resultados de otras simulaciones numéricas, forzadas con vientos del modelo atmosférico Arpege y bajo tres escenarios diferentes (B1, A1B y A2), ofrecen resultados similares para la evolución del oleaje en el Mediterráneo (figura 10). La variación del régimen medio de la altura de ola significativa muestra valores cercanos a cero en la franja costera. La variación del régimen extremo ofrece también valores muy próximos a cero en la costa peninsular y ligeramente negativos en las islas Baleares (2 cm por década).

**Figura 10**

Tendencias del régimen medio de la altura de ola significativa (cm/año) en el Mediterráneo en el siglo XXI para los escenarios B1, A1B y A2



De acuerdo con las previsiones formuladas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, la variación del régimen medio de la altura de ola significativa en la costa española será también cercana a cero. Las mismas previsiones indican no obstante cambios significativos (entre 10 y 30° a final de siglo) en la dirección del oleaje en puntos concretos de la costa balear y del sureste peninsular.

#### 4.3.9. El nivel del mar

Los cambios del **nivel medio del mar** en una zona costera se calculan como suma de tres contribuciones distintas:

- La componente estérica: variación de volumen debida a cambios en la temperatura (dilatación) y en la salinidad (aumento de masa) de la columna de agua.
- La componente barótrópica: cambios debidos a las modificaciones en el régimen medio de vientos y presiones atmosféricas en una zona.

- Y la componente eustática: aumento debido a las variaciones de la masa total de agua en los océanos, inducido principalmente por el deshielo de los glaciares y de las masas polares continentales, y sobre el que pesan incertidumbres importantes.

Las proyecciones futuras prevén una subida generalizada del nivel medio del mar en toda la costa española, aunque no existe unanimidad acerca de la intensidad de dicha elevación.

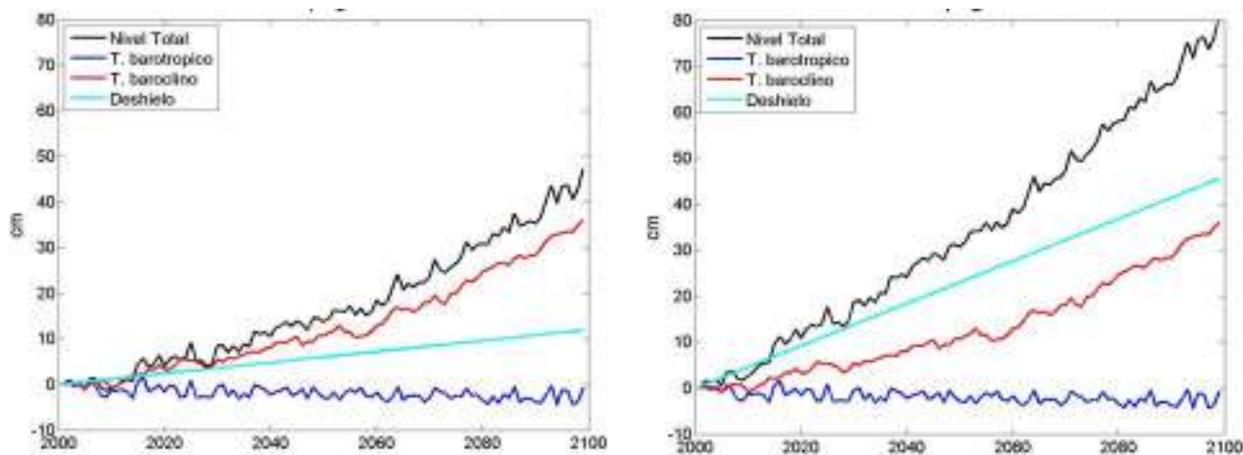
Algunas cifras que se barajan para el horizonte del año 2050 son las de una elevación mínima del nivel medio del mar de 15 cm, en consonancia con los órdenes de magnitud señalados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.

Las simulaciones efectuadas por Puertos del Estado para las costas españolas muestran un aumento de la componente eustática a 50 años de 6-9 cm en el escenario A1B, tanto para la costa del Mediterráneo como del Atlántico. Para este mismo escenario, la componente barotropa resulta despreciable. Teniendo en cuenta la horquilla de valores que los modelos globales asocian a la componente eustática, el nivel medio total para el escenario A1B registraría, a mitad del siglo XXI, un incremento en las costas españolas entre 17 y 35 cm con respecto al año 2000.

Los resultados anteriores son coherentes con los de otro estudio realizado con el modelo Arpege para el Mediterráneo en el escenario A2 y cubriendo todo el siglo XXI (figura 11). Para el año 2100, el valor de la componente eustática aumenta hasta 35 cm, puesto que su evolución es progresivamente acelerada durante la segunda mitad del siglo XXI. Si se añade la componente eustática derivada de las estimaciones del IPCC, las proyecciones de aumento de nivel del mar a finales del siglo XXI, para este escenario, van desde 47 a 81 cm de media en la costa mediterránea.

**Figura 11**

Evolución anual del nivel medio del mar en la costa mediterránea (total y por componente) durante el siglo XXI bajo el escenario A2, considerando una tasa lineal por deshielo de 1.2 mm/año (izquierda) y 4.6 mm/año (derecha)



Por lo que se refiere a **variaciones por temporal del nivel del mar**<sup>8</sup>, las predicciones – aunque no son significativas - apuntan por lo general a una leve disminución del fenómeno.

<sup>8</sup> Tanto el viento, por medio del arrastre de las masas de agua, como la presión atmosférica, a través del efecto de barómetro invertido, provocan cambios en el nivel del mar que pueden durar de unas pocas horas a unos días. La magnitud máxima del fenómeno en las costas españolas puede variar entre +60/70 cm y -40/50 cm.

#### 4.3.10. Otras variables marinas

Los escenarios obtenidos por medio de simulaciones baroclínicas tridimensionales muestran un considerable incremento de la **temperatura superficial del mar** a lo largo del siglo XXI. Hasta 2050, se espera que el mar registre en superficie un aumento en torno a  $+0.02$  °C/año, tanto en aguas del Mediterráneo cercanas a la Península como del Atlántico, desde el golfo de Vizcaya hasta las Islas Canarias. Esta tendencia positiva se mantiene al analizar los resultados más cercanos a la costa, salvo en la fachada atlántica peninsular, donde las simulaciones de alta resolución muestran tendencias negativas hasta 2050 para algunos forzamientos.

El estudio de los posibles cambios en las **corrientes marinas** debidas al efecto del cambio climático se encuentra todavía en una fase embrionaria. El estado actual de conocimientos impide igualmente dar en la actualidad una estimación estadísticamente significativa de la evolución de la **salinidad en superficie** en las costas españolas.

## 5. PRINCIPALES IMPACTOS ESPERADOS

La identificación de los impactos previsibles del cambio climático sobre la red troncal española de transporte se ha realizado de forma eminentemente cualitativa, sobre la base de un juicio experto. Durante la reflexión se ha valorado los posibles impactos tanto en la fase de planificación de las infraestructuras de transporte como en la de su diseño, construcción y operación.

Para diferenciar entre niveles de impacto, se ha tenido en cuenta la probabilidad del impacto y las consecuencias del impacto en términos de coste para el responsable de la infraestructura y de nivel de servicio/seguridad para el usuario.

La reflexión del Grupo de Trabajo se ha dirigido principalmente hacia la identificación de aquellos impactos que van a exigir una adecuación de las prácticas actuales si no se desea comprometer los niveles actuales de servicio en la red troncal española y los activos que la conforman. Por esta razón, el Grupo de Trabajo ha centrado su atención sobre los impactos adversos del cambio climático, aunque es evidente que éste puede conllevar también **impactos positivos**.

Por ejemplo, la disminución de nevadas y heladas diarias comportará considerables efectos positivos en la operación de carreteras y líneas ferroviarias, al disminuir las necesidades de mantenimiento invernal y mejorar las condiciones de explotación de la red. Conviene tener presente que, en la actualidad, siete de cada diez incidencias directamente asociadas a variables climáticas que



Dos quitanieves limpiando la calzada tras una nevada en Guipúzcoa

suponen restricciones de circulación en la red troncal de carreteras son debidas a nieve, y que alrededor de una cuarta parte de las incidencias por razón climatológica que afectan a la circulación de los trenes de Renfe Operadora son atribuibles a la nieve y al hielo. Aunque en menor medida, la reducción de nevadas/heladas también incidirá positivamente sobre el transporte aéreo, puesto que éstas están en el origen de un 8% de las incidencias que afectan de forma significativa a la operación aeroportuaria.

En el transporte marítimo, el factor que puede tener mayor efecto positivo es, sin lugar a dudas, la elevación del nivel del mar, al mejorar las condiciones de operación de algunos puertos que en la actualidad experimentan ciertas restricciones de acceso por falta de calado en situación de bajamar o limitaciones de atraque de algunos buques en muelles con calados ajustados.

En casos concretos, el efecto positivo del cambio climático puede incidir incluso en los requisitos de diseño de parte de la infraestructura. En aeropuertos, por ejemplo, el descenso en la precipitación puede suponer un menor volumen de aguas a tratar en la planta de tratamiento, en el supuesto de que las aguas de escorrentía y de superficie vayan a ella junto con el resto de aguas residuales del aeropuerto.

### 5.1. IMPACTOS EN LA FASE DE PLANIFICACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS

Con carácter general, se considera que la incidencia que puede tener el cambio climático en las tareas de planificación de infraestructuras es limitada si se compara con la posible incidencia en su diseño u operación. Las dos facetas de la planificación que podrían verse a priori más comprometidas por el cambio climático son los estudios de demanda y la evaluación de alternativas de emplazamiento para la construcción de nuevas infraestructuras.

En el análisis de las **alternativas de emplazamiento**, convendrá tener presente, fundamentalmente,



Viento en pista en el aeropuerto de Bilbao

posibles cambios en zonas costeras (básicamente la subida del nivel del mar) y el riesgo de alteración de las condiciones climáticas locales que puedan restar eficiencia y regularidad a las operaciones en infraestructuras nodales. Los aeropuertos, por ejemplo, han de planificarse de forma que permitan que las aeronaves operen, la mayor parte del tiempo, en condiciones normales de viento.

La afección del cambio climático sobre la **demanda de transporte** y sobre el comportamiento de la

movilidad de viajeros y mercancías y sus patrones de encaminamiento y elección modal, resulta difícil de predecir. Diversos estudios realizados en España señalan posibles cambios en los patrones de distribución territorial de la población y de los hábitos turísticos como consecuencia del cambio climático. Por regla general, se prevé una mejora de la idoneidad climática en poblaciones con latitudes y altitudes más elevadas, una mayor dispersión espacial de núcleos turísticos importantes como consecuencia del descenso de recursos hídricos y un descenso de la idoneidad climática del interior peninsular como destino turístico por el aumento de las temperaturas. Sin embargo, a juicio del Grupo de Trabajo, la certidumbre de los resultados que se obtendrían en los estudios de demanda que justifican la planificación de nuevas infraestructuras apenas cambiaría si se incorporaran estas previsiones de cambio.

## 5.2. IMPACTOS QUE PUEDEN REPERCUTIR SOBRE EL DISEÑO DE NUEVAS INFRAESTRUCTURAS

Los impactos con mayor repercusión sobre el diseño de nuevas **carreteras** en la red troncal conciernen sobre todo a taludes y firmes.

En el caso de los taludes, se prevé un aumento de daños localizados, que puede ser más frecuente en el norte y sureste peninsular. El principal desencadenante será el aumento de intensidad de las precipitaciones extremas de corta duración. Ello puede afectar a la estabilidad de los taludes por efecto del agua de escorrentía. El

aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas, combinado con un incremento de las condiciones de aridez, puede afectar también a la erosión de los taludes. Asimismo, puede dar lugar a avenidas extraordinarias más severas que afecten a la estabilidad de los taludes en terraplenes que discurren paralelos a cauces de río.

En el caso de los firmes el impacto se prevé más generalizado. El aumento de las temperaturas máximas puede provocar un aumento del riesgo de aparición de roderas y fisuras no estructurales por oxidación prematura del ligante. Un descenso de la precipitación media anual puede desaconsejar el empleo de mezclas drenantes en una mayor superficie del territorio.



Desprendimiento de tierra en la carretera N-121-A (Pamplona/Iruña-Behobia) en las proximidades del túnel de Belate, con corte de la calzada al tráfico de vehículos durante varias semanas.



Socavón en la carretera N-330, cerca de la localidad oscense de Castiello de Jaca, provocado por la crecida del río Aragón después de lluvias intensas.

Otros componentes de la infraestructura vial que pueden verse igualmente afectados por el cambio climático, aunque con un alcance más reducido, son las plantaciones, los puentes y obras de protección, la geometría de la carretera, o la señalización y las defensas. El aumento de las temperaturas y de la sequía puede obligar – sobre todo en el centro y sur peninsular - a una selección de especies vegetales más resistentes, tanto para plantaciones de estabilización de taludes como en medianas. Avenidas extraordinarias más severas pueden afectar a la estabilidad de los taludes en estribos de puentes y socavar el cimiento de sus pilas y de las obras de protección. Respecto de la geometría de la carretera, un aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas puede incrementar el número de localizaciones donde la capacidad de desagüe de la superficie de la calzada sea insuficiente, aconsejando la revisión del diseño de las condiciones de desagüe de la plataforma (bombeo en recta, desvanecimiento del bombeo y transición de peralte). El aumento generalizado de las temperaturas

máximas y las olas de calor supone un incremento del soleamiento, que puede afectar a la durabilidad de determinados elementos de señalización, por afección de los rayos ultravioletas. El aumento de las temperaturas puede también acelerar el envejecimiento de las marcas viales o provocar la rotura de los elementos de unión por dilatación excesiva en tramos muy largos de barrera de seguridad metálica.

Aunque el aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas pueda producir localmente mayores exigencias sobre el drenaje, el Grupo de Trabajo considera que el impacto del cambio climático sobre este componente en nuevas carreteras no será a priori relevante, como consecuencia de los criterios básicos de diseño que incorpora el borrador de la nueva *Norma 5.2-IC sobre drenaje superficial*.

En **líneas ferroviarias de la red convencional**, se prevé que los mayores impactos estén relacionados con componentes de la infraestructura, cuyos criterios de diseño son más antiguos y no responden a las mismas exigencias que actualmente cumplen las líneas de alta velocidad. Las obras de tierra, las estructuras y las obras de drenaje son a priori los componentes más vulnerables. En la mayoría de casos, los impactos guardan relación con el aumento de los episodios de lluvias intensas.



Suspensión del tráfico ferroviario entre Lorca y Águilas (Murcia) tras el paso de un temporal, provocando el colapso de las obras de desagüe, descalce de la vía y arrastre de taludes de terraplén.

Respecto de los componentes de la superestructura, en líneas de la red convencional se identifican impactos relacionados sobre todo con el

aumento generalizado de temperatura y de las oscilaciones térmicas, así como con la ocurrencia de tormentas más intensas y, eventualmente, un aumento de la intensidad máxima en las rachas de viento. Destacan a este respecto los impactos debidos a la temperatura sobre el carril y las sujeciones, así como la previsión de aumento del riesgo de daños a la catenaria por sobretensiones por tormentas eléctricas y por caída de objetos por efecto de rachas de viento.

En **líneas ferroviarias de alta velocidad** de nueva construcción, los principales impactos se producirán previsiblemente sobre los componentes de vía, la catenaria y determinados elementos auxiliares de la infraestructura, como las pantallas y las plantaciones. El aumento generalizado de las temperaturas máximas y de las oscilaciones térmicas aumentará la dilatación de los carriles y sus tensiones internas, afectando a las sollicitaciones del sistema carril-travesía-sujeción, en mayor medida incluso que en el caso de líneas convencionales, al estar las líneas de alta velocidad sujetas a mayores requerimientos. También es notable el posible impacto sobre la catenaria por aumento de intensidad de las ráfagas de viento, a tener en cuenta en su diseño.

Conviene prestar atención asimismo al impacto potencial del factor viento en el diseño de las pantallas acústicas y de protección para la red de alta velocidad. Las previsiones actuales de cambio en el régimen e intensidad del viento no son a priori significativas, pero son todavía bastante inciertas. Dada la elevada incidencia que en la actualidad tiene este aspecto en la operación de las líneas de alta velocidad, parece conveniente mantener la atención sobre este potencial impacto mientras se está a la espera de disponer de previsiones más afinadas.

Tanto en **estaciones y edificios técnicos ferroviarios** como en **trenes** de nueva construcción, el mayor impacto proviene del aumento de necesidades de climatización debido al aumento de temperatura.

De las previsiones de cambio climático se desprende que, a efectos del diseño de nuevas **infraestructuras portuarias**, el fenómeno con mayor incidencia en las próximas décadas será la subida prevista del nivel medio del mar. La subida del nivel del mar reducirá la altura de la cota de coronación de los diques y sus espaldones, y producirá mayor calado en los diques. Ello originará un mayor riesgo de fallo del dique, al quedar desprotegido para los máximos oleajes previstos al calcular su dimensionamiento, y al tiempo aumentar los esfuerzos sobre los elementos del mismo (los esfuerzos soportados por el dique aumentan con el cuadrado del calado). Al mismo tiempo, es previsible un aumento del oleaje incidente, aunque las proyecciones no muestren variaciones importantes en el oleaje en alta mar: al llegar con un mayor calado, el oleaje incidente tendrá menos refracción en relación al oleaje en alta mar y, por consiguiente, tendrá mayor altura de ola que la utilizada para el cálculo de diques y estructuras, lo que equivaldrá de nuevo a incrementar el riesgo de rotura del dique.

En el caso de ampliación o construcción de nuevas **infraestructuras aeroportuarias**, convendrá prestar especial atención al aumento de las temperaturas. En el diseño de los edificios aeroportuarios, el incremento de temperatura irá asociado a un incremento de la demanda energética para climatización en edificios terminales, así como para el mantenimiento de equipos en torres de control y centros de emisores. El aumento de la temperatura podría suponer, además, mayores requerimientos de longitud de pista, dado que las temperaturas elevadas se traducen en densidades menores del aire, factor que reduce el empuje producido y la sustentación de la aeronave<sup>9</sup>. El aumento de las temperaturas llevará aparejado también un incremento en la sensación de calor en el interior de los vehículos, tanto para el servicio del aeropuerto como de los pasajeros, lo que se traducirá en un menor grado de confort de aquellos usuarios que se vean obligados a estacionar sus vehículos en zonas desprovistas de elementos (marquesinas) que proyecten algún tipo de sombra sobre los mismos.

Al margen de los efectos del aumento de la temperatura, habrá que tener en cuenta el impacto que pueda tener el aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas sobre el diseño de sistemas de desagüe, para evitar la inundación del campo de vuelos.

Por último, convendrá prestar atención al impacto potencial del factor viento en el diseño del campo de vuelo, dado que las previsiones actuales de cambios en el régimen de los vientos – aunque a priori no se prevén significativos – son todavía inciertos, especialmente a nivel local.

### 5.3. IMPACTOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN

En relación con la construcción de infraestructuras, se prevé que el cambio climático incida sobre todo en algunos aspectos de seguridad y salud y de prevención de riesgos durante la obra. El aumento de las temperaturas máximas y de las olas de calor puede afectar a las condiciones y/o periodos de trabajo y a los requerimientos de funcionamiento y confort de la maquinaria de obra. También puede incrementar el riesgo de incendios fortuitos durante la ejecución de las obras. El aumento de la intensidad de lluvias ocasionales extremas en algunas zonas puede hacer aconsejable reforzar los sistemas de drenaje y de protección, especialmente durante la construcción de explanadas y obras de tierra.

<sup>9</sup> Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la longitud de la pista debe aumentar a razón del 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia del aeródromo exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aeródromo. Además, si la corrección total por elevación y temperatura fuera superior al 35%, las correcciones necesarias deberían obtenerse mediante un estudio aeronáutico realizado al efecto.

Como consecuencia del cambio climático, también puede ser necesario prestar más atención a ciertos procesos constructivos (por ejemplo, al fraguado y curado del hormigón, como consecuencia del aumento de la insolación) o incluso recurrir a procesos alternativos que supongan menor consumo de agua, debido a la carestía de recursos hídricos.

#### 5.4. IMPACTOS QUE PUEDEN INCIDIR EN LA OPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Desde la perspectiva de su operación, los componentes de la **carretera** afectados en mayor medida serán las obras de tierra y el drenaje. Las afecciones a las obras de tierra se prevén similares a las descritas al referirse a su diseño. Respecto de los elementos de drenaje, el aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas puede producir localmente mayores exigencias en su disposición, agravar al efecto embalse de ciertos taludes en terraplén o - junto al efecto concentrador que tienen muchos elementos del drenaje transversal de las carreteras - incrementar la erosión de cauces aguas debajo de la carretera, afectando a propiedades de terceros.



Hundimiento y derrumbe de parte de la calzada como consecuencia de la caída de un paso inferior en la carretera N-420 a la altura de Fuenaliente (Ciudad Real), debido a las fuertes lluvias.

El cambio climático puede traer consigo también un aumento de impactos localizados que pueden poner en riesgo la seguridad de circulación de los vehículos, impactos que posiblemente se den con mayor frecuencia en el norte y sureste peninsular. A modo de ejemplo, el aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas puede incrementar el número de localizaciones donde la capacidad de desagüe de la superficie de la calzada o de los sumideros en puentes sea insuficiente y provocar problemas de aqua-planning, o arrastrar piedras de las laderas y taludes de desmonte que caigan sobre la calzada.



Colapso al vencer las pilas de un viaducto en la autovía A-7 entre las localidades murcianas de Lorca y Puerto Lumbreras, como consecuencia de las fuertes lluvias.

El nivel de afección a otros componentes de la carretera se prevé en general menor. Las precipitaciones extremas y las avenidas extraordinarias son el principal riesgo en puentes, obras de fábrica y obras de protección; el aumento de la intensidad de las lluvias puede aumentar los episodios localizados de

erosión de pilas, estribos y muros de contención, y de impacto en pilas por arrastre de materiales. La combinación de fuertes lluvias y rachas de viento intensas puede reducir la estabilidad de un mayor número de paneles señalizadores. El aumento de la intensidad de las tormentas puede elevar el riesgo de daños puntuales en instalaciones de iluminación, ventilación y gestión del tráfico en túneles, y de otras instalaciones de gestión. Y el incremento de las temperaturas, de las olas de calor y de las sequías aumentará el riesgo de incendio en los márgenes de la carretera y las necesidades de riego y replantación de vegetación en el entorno de la carretera.

Los mayores riesgos en la **red ferroviaria convencional** existente se concentran sobre todo en la vulnerabilidad de su infraestructura – fundamentalmente obras de tierra, estructuras y drenaje – y sobre las condiciones del servicio ferroviario. Los impactos sobre la infraestructura guardan relación, en gran medida, con el aumento de las lluvias intensas. En obras de tierra, preocupa especialmente la erosión en taludes de desmonte por aguas de escorrentía y posibles deslizamientos de laderas. En el caso concreto de puentes, preocupa el aumento de la erosión en cimientos de pilas y estribos y el riesgo de colapso, así como el posible agotamiento del resguardo entre la lámina de agua y el tablero del puente, como consecuencia del aumento del caudal de avenidas.

En la red convencional se prevé igualmente un incremento del número de incidencias en el servicio



Suspensión del tráfico entre Sariñena y Zaragoza por un incendio entre los municipios de Grañén y Torralba.

ferroviario como consecuencia de la presencia de obstáculos en la plataforma e inundaciones y daños localizados debido a lluvias intensas. Se prevé también un aumento del número de los incendios que afectarán al tráfico ferroviario, debido al aumento de las olas de calor y de los periodos de sequía. Los incendios directamente imputables a la explotación ferroviaria – causados por regla general por los sistemas de frenado de vagones de mercancías - seguirán siendo sin embargo una minoría.

La repercusión del cambio climático sobre los servicios ferroviarios de **alta velocidad** se prevé mayor, debido a una previsible mayor proporción de uso a largo plazo de este tipo de líneas frente a las de la red convencional.

Los impactos sobre la red de alta velocidad existente se prevén similares a los que hay que tener en cuenta para el diseño de nuevas líneas, aunque –junto con la afección a los componentes de vía, catenaria, pantallas y plantaciones- se agravan algunos impactos en otros componentes de la infraestructura, principalmente en líneas del sur de España. En general, son impactos debidos a precipitaciones extremas, con niveles de incidencia más altos que los previstos en líneas de nueva construcción. En particular, se estima mayor riesgo de erosión en taludes de desmonte y terraplén por efecto de las lluvias intensas, un aumento de la erosión de las pilas, estribos y obras de protección en puentes y viaductos como consecuencia del caudal de avenidas, inundaciones y arrastres por agua de escorrentía en túneles y falsos túneles, y un aumento del riesgo de caída del vallado de cerramiento por efecto combinado de fuertes lluvias y rachas de viento intenso.

En alta velocidad se contempla asimismo que puedan agravarse, de forma localizada, algunos impactos sobre la superestructura: por ejemplo, la intensidad de las lluvias puede aumentar el arrastre y movimiento de balasto; el aumento de la intensidad de las tormentas y de las temperaturas máximas puede elevar el riesgo de incendio en las subestaciones de tracción; y el incremento en la intensidad máxima de las ráfagas de viento, caso de darse, aumentaría el riesgo de daños y de rotura en elementos de los sistemas de seguridad y comunicaciones.

La incidencia de los incendios directamente imputables a la explotación ferroviaria es despreciable, debido a la escasez actual de los tráficos de mercancías en la red de alta velocidad. Con todo, este riesgo podría verse alterado si se abre en el futuro las líneas de ancho UIC al tráfico mixto.

En cuanto a las **estaciones y edificios técnicos ferroviarios**, se ha identificado un impacto alto relacionado con el aumento de necesidades de climatización debido al aumento de temperatura, un impacto que será algo más moderado en el caso de los coches de viajeros de los **trenes**.

Los efectos del cambio climático sobre los **puertos** existentes dependerán en gran medida de su diseño, de las características de su tráfico y de las condiciones climáticas locales. Con todo, se prevé que la subida del nivel del mar sea, con carácter general, el fenómeno con mayor incidencia sobre la operativa portuaria en las próximas décadas. Dicha subida del nivel del mar puede producir los siguientes efectos adversos:

- Mayor frecuencia e intensidad en los fenómenos de rebase de los diques de cierre, con las consecuencias negativas sobre las ocupaciones e instalaciones al trasdós del dique y, en su caso, aumento de número de días de cierre del dique.
- Menor altura de la cota de coronación de los diques y sus espaldones, y mayor calado en los diques. Ello originará un mayor riesgo de fallo del dique, al quedar desprotegido para los máximos oleajes previstos al calcular su dimensionamiento, y al tiempo aumentar los esfuerzos sobre los elementos del mismo (además de que los esfuerzos soportados por el dique aumentan con el cuadrado del calado, el oleaje incidente – al llegar con un mayor calado - tendrá menos refracción en relación al oleaje en alta mar, y, por consiguiente, tendrá mayor altura de ola que la utilizada para el cálculo de diques y estructuras).
- Posible aumento de la agitación interior, al llegar con mayor calado el oleaje incidente.
- Subida del nivel freático en muelles y explanadas, lo que puede afectar al funcionamiento de redes de servicios subterráneas y tuberías de diversos tipos, a la calidad de los terrenos portuarios y a su consistencia, al aumento sustancial de las subpresiones sobre obras e instalaciones y a las condiciones higiénico-sanitarias del entorno.
- Afectación a desagües de pluviales a dársena por disminución de la pendiente disponible.



Dique del puerto exterior de A Coruña durante un temporal

El incremento de la temperatura del agua, especialmente en la costa mediterránea, puede dar lugar asimismo a un empeoramiento de su calidad (al aumentar los meses con fuerte estratificación de la columna de agua) y a elevar el riesgo de ocurrencia de blooms de fitoplancton.

Desafortunadamente, no se dispone de predicciones climáticas para la niebla. Este fenómeno puede ser trascendente para la operativa portuaria, al aumentar el riesgo para el tráfico marítimo de alcance entre buques y de colisión con diques o estructuras, en especial en puertos con gran recorrido interior.

La evolución prevista de otros parámetros como la temperatura del aire, las precipitaciones o el oleaje (salvo cuando éste se combina con la subida del nivel del mar), no se prevé que tenga una incidencia destacable sobre los puertos españoles de forma generalizada, aunque conviene señalar que la incidencia de algunos de estos fenómenos (precipitación, oleaje) sobre la operativa portuaria dependerá sobremanera de las condiciones locales y del diseño concreto de cada puerto.

La incidencia del cambio climático sobre la red actual de **aeropuertos** es especialmente difícil de pronosticar. Al igual que sucede con los puertos, la incidencia del cambio climático variará según sea su diseño, las características del tráfico aeroportuario y las condiciones meteorológicas locales. A ello se suma que las incidencias que afectan con mayor frecuencia e intensidad a la operación aeroportuaria en la actualidad son debidas a escasez de visibilidad y al viento, fenómenos para los que apenas hay predicciones.



Operación con niebla en el aeropuerto de Tenerife Norte

La niebla puede ralentizar las operaciones de despegue/aterrizaje del aeropuerto, provocar el desvío de tráfico aéreo y aumentar el riesgo de choque debido a la reducción del margen de tiempo de maniobra evasiva por parte de aeronaves y vehículos. Bajo condiciones de niebla intensa, los vehículos y operarios pueden des-

orientarse e invadir pistas o calles de rodaje activas, aumentando considerablemente la posibilidad de que se produzcan accidentes.

El viento, por su parte, es de especial relevancia para la explotación del campo de vuelo. El grado de utilización de las pistas viene determinado por la distribución de los vientos, de modo que, hasta donde lo permitan otros factores, las pistas deben estar orientadas en la dirección del viento predominante. La configuración de uso de pistas también tiene un efecto sobre la exposición al ruido de la población localizada en las proximidades de los aeropuertos, con la consiguiente repercusión sobre el planeamiento y uso del suelo.

El aumento de las temperaturas máximas y de las olas de calor supondrá, sobre todo, una mayor demanda energética para acondicionamiento térmico tanto en edificios aeroportuarios como en aeronaves, reducirá las condiciones de confort del personal que trabaja en pistas, calles y plataforma, y tenderá a acelerar el deterioro de materiales bituminosos en el campo de vuelos. El aumento del número de días con temperatura elevada puede degradar la calidad del aire y poner en riesgo el cumplimiento de la legislación ambiental. Además, se incrementará el riesgo de incendio tanto en la zona de reserva aeroportuaria como durante las operaciones de repostaje de combustible a aeronaves (puesto que el punto de inflamación del queroseno Jet A-1 es de 38°C). En casos concretos, podría llegar a aplicarse restricciones de operación a los aviones más pesados por escasez de longitud de pista (al aumentar la temperatura, la potencia de empuje se reduce, aumentando la longitud de pista que requiere el avión para despegar).

La afección por el cambio en el patrón de las precipitaciones se prevé menor. Los episodios de precipitación intensa, combinados con periodos de sequía prolongados, llevará aparejada en general la necesidad de incrementar las tareas de mantenimiento de los desagües del campo de vuelos para mantener su efectividad. La prolongación de los periodos de sequía puede causar algunos problemas de abastecimiento en aeropuertos donde el suministro de agua se haga mediante pozos. En aeropuertos donde haya estanques, balsas u otros recursos hídricos que favorecen la presencia de avifauna, la disminución de precipitación puede llevar asociado un cambio en los patrones de colonización de aves. A su vez, el aumento de la intensidad de las lluvias extremas puede provocar en ciertos aeropuertos inundaciones en pistas, dañar o deshabilitar los sistemas de ayuda a la navegación aérea o instalaciones perimetrales y auxiliares, y provocar daños por inundación y saturación de los sistemas de drenaje, con el correspondiente aumento de retrasos y riesgo de corte de los servicios.

## 6. PROPUESTA DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

A continuación se relacionan las medidas de adaptación propuestas por el Grupo de Trabajo para la red troncal española de infraestructuras de transporte, a la vista de los principales impactos y riesgos que se prevén sobre dicha red y la consideración de las capacidades y limitaciones de los sistemas actuales de alerta y de gestión de incidencias por fenómenos climatológicos adversos.

La revisión de los sistemas actuales de alerta meteorológica y de gestión de incidencias/emergencias se justifica en tanto en cuanto el cambio climático conllevará previsiblemente mayor intensidad de ciertos fenómenos extremos (como lluvias de corta duración, avenidas, rachas máximas de viento) y, en algunos casos, también mayor frecuencia (caso de las sequías y olas de calor). Ello puede traer consigo la necesidad de reforzar dichos sistemas.

Para elegir y priorizar en el tiempo las actuaciones de adaptación, se ha considerado implícitamente tanto las incertidumbres que rodean a las proyecciones climáticas y a los efectos del clima sobre la red de transporte, como la urgencia de poner en marcha la medida de adaptación y el coste de su implantación.

Las actuaciones de adaptación que se proponen se dirigen a las necesidades de adecuación tanto en el diseño de nuevas infraestructuras como de las infraestructuras existentes. Se recomienda que, cuando se revisen y actualicen criterios de diseño de la infraestructura, se sopesen diferentes alternativas para diferentes niveles de riesgo, puesto que la adopción de criterios de diseño cuyo primer objetivo es evitar el riesgo suele encarecer el coste de construcción de la infraestructura y costar más dinero que la implantación de medidas encaminadas primordialmente a mejorar la gestión del riesgo.

### 6.1. MEDIDAS A CORTO PLAZO

- ✓ Aunque la situación es diferente en cada modo de transporte, se constata con **carácter general** cierta carencia de fuentes sistemáticas de información que permitan valorar cuál es la vulnerabilidad actual de las infraestructuras frente al clima, pese a que tales fuentes de información constituyen un excelente punto de partida para valorar cuál puede ser la vulnerabilidad de la red a medio-largo plazo. Convendría potenciar los sistemas actuales de registro de incidencias producidas como consecuencia de fenómenos climáticos adversos y de seguimiento de sus consecuencias, con objeto de facilitar 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, los prestadores de servicios de

transporte y el propio gestor de la infraestructura. En el caso de las infraestructuras lineales, la explotación de estos registros permitiría además identificar y caracterizar adecuadamente los tramos más vulnerables de la red.

Ante la previsión de que varíe la frecuencia y/o intensidad de ciertos fenómenos climáticos extremos, se aconseja igualmente - con carácter general – evaluar periódicamente la idoneidad y efectividad de los planes de contingencias y los procedimientos de actuación ante las emergencias climáticas actuales, al objetivo de proceder – si fuera necesario – a su adecuación y/o actualización. Por regla general, la gestión de las incidencias/emergencias causadas por eventos climáticos se encuentra englobada en la gestión integral de riesgos y emergencias de las entidades que administran u operan la red, que se basa a su vez en un conjunto de planes y procedimientos sustentados, en la mayoría de sus componentes, en requerimientos de tipo legal. Ello conlleva que únicamente en lo relativo a algunos aspectos concretos (como en el caso de los sistemas de alerta, o los planes de actuación y protocolos de coordinación en caso de inclemencias invernales o de incendios) se disponga de procedimientos de actuación específicos frente a eventos climáticos adversos, y que la consideración de las incidencias/emergencias desencadenadas por tales fenómenos climáticos no sea a menudo exhaustiva, especialmente en los planes de contingencias.

- ✓ En materia de **carreteras**, se recomienda a corto plazo revisar la normativa y recomendaciones de diseño de las obras de tierra, con objeto de reducir la vulnerabilidad de los taludes en desmonte y terraplén frente a fenómenos combinados de sequía y precipitaciones más intensas y de avenidas extraordinarias más severas. Para ello, puede ser aconsejable reforzar determinados elementos de drenaje (cunetas de coronación, bordillos, bajantes), construir taludes más tendidos, aumentar las medidas de protección frente a la erosión mediante plantaciones específicas, prever bermas más amplias a pie de talud, o reforzar las obras de protección a pie de terraplén en cauces de río.

Por lo que se refiere a revisión de la normativa y recomendaciones de diseño, se considera que, con las modificaciones que incorpora el actual borrador de revisión de la Instrucción 5.2-IC sobre drenaje superficial de carreteras – instrucción vigente desde 1990 –, se cubriría las necesidades de adaptación a corto plazo que puedan estar asociadas al cambio climático. Dicho borrador incorpora, para el cálculo del caudal de proyecto, el uso de mapas de caudales máximos actualizados con datos históricos sobre grandes avenidas. También introduce correcciones al alza para el cálculo de las máximas precipitaciones diarias en el Levante y sur peninsular. Además, aumenta el periodo de retorno mínimo para el proyecto de obras de drenaje transversal y para el cálculo de las avenidas extremas que intervienen en el diseño de taludes que transcurren paralelos al cauce de ríos.

En carreteras existentes, será particularmente importante no descuidar aquellas tareas de vigilancia y mantenimiento preventivo que permiten garantizar unas condiciones adecuadas de vialidad y seguridad vial y preservar la integridad de determinados componentes de la carretera frente a los fenómenos climáticos adversos previstos. En este sentido, se recomienda de forma especial revisar periódicamente las condiciones del drenaje de la carretera, intensificar las labores de limpieza de sus elementos si es preciso y verificar la bondad de su diseño frente a precipitaciones extremas y avenidas. También será conveniente, por ejemplo, valorar la realización de acciones preventivas en taludes existentes que presentan un riesgo elevado de erosión o inestabilidad por lluvias intensas, mantener el control de la vegetación en los márgenes de la carretera para reducir el riesgo de incendios en periodos de sequía, o revisar periódicamente el estado de erosión de pilas, estribos y obras de defensa en estructuras situadas en cauces de ríos en los que se produzcan fuertes avenidas.

A la vez que se pone una especial atención a dichas tareas de mantenimiento preventivo, se recomienda que los gestores de las carreteras se esfuercen por mejorar sus sistemas de alerta meteorológica. Esta mejora debería estar encaminada a corto plazo tanto a la definición de unos

niveles de alerta apropiados a las necesidades del gestor de la red en caso de lluvias, tormentas o viento, como a una mejor identificación de los tramos previsiblemente afectados en caso de eventos extremos.

- ✓ En el **ámbito ferroviario**, se recomienda a corto plazo revisar la normativa y recomendaciones de diseño de las infraestructuras para reducir su vulnerabilidad frente a precipitaciones extremas de mayor intensidad. En particular, conviene prestar especial atención a las condiciones de diseño de puentes y viaductos frente al caudal de avenidas (por erosión en cimientos, estribos y obras de defensa) y de túneles, para evitar infiltraciones de agua e inundaciones de la plataforma. También se aconseja revisar las recomendaciones para el proyecto y la realización de taludes con el fin de mejorar su estabilidad en caso de avenidas. En cambio, al igual que sucede en carreteras, se considera que, con las modificaciones que incorpora el actual borrador de revisión de la Instrucción 5.2-IC sobre drenaje superficial de carreteras – instrucción que es utilizada como referencia en el ámbito ferroviario–, se cubren ya las necesidades de adaptación a corto plazo del diseño del drenaje superficial en ferrocarriles.

Respecto de la superestructura ferroviaria de nueva construcción, conviene valorar con detalle los riesgos asociados a la deformación del sistema carril-travesía-sujeciones por aumento de las temperaturas máximas y de las oscilaciones térmicas diarias, así como los daños que se puedan ocasionar en la catenaria por sobretensión en caso de tormentas eléctricas de mayor intensidad y, si es pertinente, actualizar la normativa y recomendaciones de diseño aplicables.

Aunque la construcción de estaciones y edificios técnicos ferroviarios se encuentra regulada en la actualidad por el Código Técnico de la Edificación, el sector también cuenta con recomendaciones específicas para su diseño. En base a registros históricos de mantenimiento, Adif ha constatado que - aun cumpliendo los reglamentos - existen problemas esporádicos con la evacuación de saneamiento, por lo que se recomienda realizar una revisión de sus capacidades ante la previsión de precipitaciones máximas más intensas. Asimismo, se sugiere que se considere la oportunidad de dimensionar los sistemas de climatización por encima de los mínimos que exige actualmente el reglamento en las cargas térmicas; dicho sobredimensionamiento encarecerá los equipos, pero en contrapartida se puede conseguir un aumento del rendimiento y fiabilidad de la instalación, y que se adapte al previsible aumento de las cargas térmicas por efecto del cambio climático.

En líneas ferroviarias existentes, se aconseja llevar a cabo una revisión general de los protocolos actuales de prevención, mantenimiento y vigilancia de la infraestructura. Durante la revisión, conviene prestar una atención particular: a los taludes y laderas con riesgo de erosión y deslizamiento a causa de lluvias intensas; a la erosión en puentes por efecto de los cauces; al estado de la cimentación de los postes de vallado y al posible descalce de las canaletas en la plataforma ferroviaria debido al agua de escorrentía; a la verificación del riesgo de inundación de la vía, túneles, obras de drenaje, caminos de acceso y canaletas, así como de colapso en puentes/viaductos situados en lugares donde se produzcan fuertes avenidas; al estado de la vía (balasto, travesía, carril y sujeciones), con el fin de detectar posibles arrastres y deformaciones ocasionados por lluvias extremas o por el incremento de las oscilaciones térmicas; al estado de la catenaria, con el fin de detectar daños causados por sobretensión en caso de tormenta eléctrica; al estado de las instalaciones en subestaciones eléctricas de tracción, con el fin de evitar posibles incendios causados por daños ocasionados por tormentas eléctricas y altas temperaturas; y al control de la vegetación en los márgenes de la vía, para reducir el riesgo de incendios en periodos de sequía.

Con objeto de reducir el riesgo de incendios causado por la explotación ferroviaria, convendría además fomentar la utilización en los sistemas de frenado de los vagones de mercancías de zapatas de material compuesto (tipo K o tipo LL) en lugar de las zapatas convencionales de fundición.

Para estaciones ferroviarias existentes, la revisión de los protocolos debería centrarse en el estado de las instalaciones de saneamiento, con el fin de evitar disfunciones por aumento del nivel freático como consecuencia de lluvias intensas. Además sería conveniente valorar el aumento de la potencia de climatización instalada conforme se llegue al final de la vida útil de sus equipos de climatización.

El sector ferroviario ha realizado en los últimos años un esfuerzo considerable por dotarse de sistemas sólidos de alerta meteorológica. No obstante, sería conveniente completar su desarrollo e implantación, y reforzar su integración con aquellos procesos de toma de decisión encaminados a minimizar la afección al servicio ferroviario y a la infraestructura, especialmente en el caso de inundaciones.

- ✓ La incidencia del cambio climático sobre la **operativa portuaria** depende en gran medida de las condiciones locales y del diseño concreto de cada puerto. Por esa razón, se recomienda a corto plazo profundizar – a partir de las previsiones climáticas disponibles - en la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo frente al cambio climático a nivel de cada puerto, dando prioridad a los estudios en puertos cuyo funcionamiento y/o integridad se prevea más sensible frente a fenómenos climáticos adversos. Por medio de estos estudios se podrá valorar, técnica y portuariamente, si la infraestructura puede continuar en servicio durante toda su vida útil prevista, con restricciones y normas de funcionamiento asumibles, o si es preciso prever actuaciones para adaptar su diseño antes del término de su vida útil. En los estudios de vulnerabilidad y riesgo convendrá prestar una atención especial a la efectividad e integridad de diques y contradiques, muelles, pantalanes, explanadas, instalaciones subterráneas, elementos de vertido al mar y sótanos y edificios singulares.

En paralelo, se recomienda valorar en detalle la conveniencia de adaptar a las previsiones de cambio climático algunas normas técnicas vigentes para proyecto de nuevas infraestructuras o modificación o reparación de las existentes, en particular, la ROM 1.0-09 (*Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*) y de la ROM 0.0-01 (*Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias*). Al efectuar dicha revisión, convendrá analizar la opción de ajustar la vida útil de diseño a las posibilidades de servicio, tratando de evitar en lo posible la utilización de plazos de vida útil que puedan acarrear variaciones excesivas en los parámetros de cálculo (y, por tanto, inseguridades y riesgos excesivos, o alternativamente costes de diseño demasiado altos).

- ✓ En **aeropuertos** existentes, convendrá con carácter general no descuidar aquellas prácticas habituales encaminadas a reducir los riesgos asociados a las altas temperaturas y olas de calor (caso de la poda y retirada de la vegetación seca en las inmediaciones del aeropuerto, o las campañas de prevención de incendios) y a la variabilidad del régimen pluviométrico e hidrológico (limpieza del drenaje en la pista de vuelos, por ejemplo).

Al igual que sucede con los puertos, la incidencia del cambio climático sobre las infraestructuras aeroportuarias existentes dependerá en buena parte de las condiciones locales y del diseño concreto de cada aeropuerto. Por ello se recomienda empezar a profundizar en la evaluación del riesgo frente al cambio climático a nivel de aeropuerto, a pesar de las limitaciones que existen en la actualidad para disponer de predicciones de evolución de ciertas variables climáticas. En particular, convendría valorar qué restricciones adicionales puede imponer la longitud de pista actual a la operación de aeronaves en condiciones de mayor temperatura y las mejores alternativas de explotación ante la imposibilidad de aumentar la longitud de pista, caso de resultar necesario. Conviene asimismo valorar los riesgos por aumento de la intensidad de las lluvias extremas de corta duración (falta de capacidad de evacuación hídrica del sistema de drenaje y del campo de vuelos, crecidas fluviales) y debido a la disminución de recursos hídricos (para el abastecimiento de agua al aeropuerto, por cambio de comportamiento de las colonias de aves ante variaciones en las reservas de agua en la zona de servicio y proximidades del aeropuerto), e identificar la necesidad de promover medidas

preventivas apropiadas (por ejemplo, construcción de nuevos drenajes, mejora de los sistemas de monitorización de inundaciones y crecidas fluviales en tiempo real).

## 6.2. MEDIDAS A MEDIO PLAZO

- ✓ A medio plazo, se recomienda para **carreteras** valorar en detalle la oportunidad de revisar las normas 6.1-IC y 6.3-IC de la Instrucción de Carreteras, con objeto de adaptar el diseño de las secciones y rehabilitación de los firmes bituminosos al aumento de temperaturas máximas y al descenso de la precipitación media previstos. El aumento de las temperaturas máximas puede provocar un aumento del riesgo de aparición de roderas y fisuras no estructurales por oxidación prematura del ligante, haciendo aconsejable revisar el mapa con la zona térmica estival incluido en las normas 6.1 IC y 6.3 IC, en función del cual se elige el tipo de ligante bituminoso, así como la relación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral. El descenso de la precipitación media anual puede desaconsejar el empleo de mezclas drenantes en una mayor superficie del territorio, haciendo aconsejable revisar el mapa con las zonas pluviométricas incluido en las normas 6.1 IC y 6.3 IC, en función del cual se prohíbe proyectar mezclas drenantes en zonas con una precipitación media anual inferior a 600 mm (aunque, en contrapartida, un aumento de las temperaturas puede permitir el empleo de mezclas drenantes en una mayor superficie del territorio, haciendo aconsejable revisar la limitación incluida en dichas normas de no proyectar pavimentos con mezcla drenante en altitudes superiores a los 1.200 metros por problemas de nieve o de formación de hielo).

Conviene asimismo tener presente que una parte de la red vial es operada y gestionada por el sector privado, y que sus inversiones responden a criterios de beneficio y rentabilidad económica empresarial, lo que puede dificultar la implantación de ciertas actuaciones de adecuación cuando éstas no produzcan retornos a corto plazo. En este contexto, puede ser conveniente a medio plazo plantear la revisión de los términos de referencia de los pliegos de concesión.

- ✓ En el caso de **infraestructuras ferroviarias**, especialmente para alta velocidad, en función de la actualización de las previsiones de cambio relacionadas con el régimen extremal de vientos, puede ser necesario revisar la normativa de diseño relacionada con la catenaria y con los apantallamientos (acústicos, antivandálicos, para protección de aves, etc.).
- ✓ Para el conjunto de las **infraestructuras lineales**, parece recomendable revisar las recomendaciones actuales para el proyecto y la realización de plantaciones, así como los catálogos de especies vegetales a utilizar en plantaciones, especialmente en el caso de protección de taludes, con objeto de que sean resistentes y adecuadas bajo condiciones de mayor sequía y de aumento de temperaturas. Conviene tener presente que, por ejemplo, las recomendaciones al respecto de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento fueron publicadas hace más de 20 años.

La explotación regular de los sistemas de registro de incidencias y de actuaciones de reparación/rehabilitación que se hayan implantado en el corto plazo contribuirá, en todo caso, a identificar la necesidad de actualizar otra normativa y recomendaciones para el diseño de las infraestructuras lineales. Del mismo modo, permitirá localizar tramos concretos de la red donde sea aconsejable llevar a cabo actuaciones de adecuación sin necesidad de recurrir a modificaciones en las prescripciones de diseño (por ejemplo, por insuficiencia de capacidad de desagüe de la superficie de la calzada, caída de arbolado en caso de rachas de viento muy intenso, etc.).

- ✓ Las medidas de adaptación a promover a medio plazo en **puertos y aeropuertos** existentes aflorarán básicamente como resultado de los estudios de análisis de riesgos realizados de manera específica para cada uno de ellos, y de la explotación de los registros de incidencias y de actuaciones de reparación/rehabilitación que se hayan implantado en el corto plazo.

En el caso de nuevas infraestructuras portuarias y aeroportuarias, se recomienda demandar a las unidades de planificación que incorporen - en el proceso de toma de decisión sobre su emplazamiento - la repercusión que pueda tener el cambio climático sobre las condiciones de explotación de la misma, puesto que la alteración de ciertas condiciones climáticas puede restar eficiencia a la operación de la infraestructura (por ejemplo, para decidir el emplazamiento de un nuevo aeropuerto es primordial tomar en cuenta la distribución de vientos, las condiciones de visibilidad y la formación de niebla y de fenómenos de turbulencia).

En materia de diseño aeroportuario sería conveniente valorar con mayor detalle la posible necesidad de incrementar la longitud de pista como consecuencia del aumento de las temperaturas en superficie. Las previsiones de aumento de temperaturas máximas, unido a la certidumbre de su predicción, aconsejan asimismo emprender líneas de investigación para el desarrollo de firmes asfálticos para las superficies horizontales del campo de vuelos que sean más resistentes al calor. También sería aconsejable promover análisis pormenorizados e iniciativas de I+D en modelos predictivos sobre los regímenes de vientos.

- ✓ Junto con las medidas indicadas con anterioridad para cada modo de transporte, se recomienda impulsar otras medidas con **carácter general** al conjunto de modos.

En particular, se propone impulsar la consideración del cambio climático al aplicar criterios bioclimáticos para el diseño de nuevos edificios (estaciones de ferrocarril, terminales aeroportuarias, edificios técnicos, etc.).

Asimismo, se recomienda promover líneas de investigación para el desarrollo de nuevos materiales y componentes que puedan ser empleados bajo condiciones climáticas más severas, así como incentivar procesos de innovación tecnológica encaminados a adaptar los procesos constructivos tradicionales a un contexto de mayor carestía generalizada de recursos hídricos y de puesta en obra bajo temperaturas más elevadas.

## 7. REFLEXIONES FINALES

Una valoración, en conjunto, de las actuaciones de adaptación descritas con anterioridad, sugiere que el reto mayor a corto plazo para adaptar al cambio climático la red troncal española de transporte va a ser de concienciación entre los responsables de dicha red, para dar cabida al cambio climático como condicionante adicional en su diseño y operación, y como acicate para reforzar algunas de las prácticas actuales de gestión de la infraestructura frente al clima.

Por otra parte, no debe sorprender que algunas de las necesidades de adaptación identificadas por el Grupo de Trabajo para la red troncal española difieran de las consideradas para redes de transporte de otros países europeos, dada su especificidad. En los países del norte de Europa, por ejemplo, buena parte de las preocupaciones provienen de la disminución del hielo permanente y del aumento de ciclos hielo-deshielo. En Centroeuropa, una de las mayores preocupaciones radica en los efectos de las inundaciones provocadas por ríos muy caudalosos y, en los Países Bajos y Dinamarca - eminentemente planos - del aumento del nivel del mar. En España, en cambio, las necesidades de adaptación están significativamente condicionadas por la latitud del país y su efecto sobre las temperaturas máximas, por su extensión (que traduce en un elevado número de infraestructuras nodales, cada una con especificidades propias de diseño y operación frente a las condiciones climáticas), y por su orografía y

fuerte variabilidad del régimen pluviométrico e hidrológico (lo que conlleva abundancia de taludes y estructuras en infraestructuras lineales y presencia localizada de fuertes escorrentías y avenidas).

Conviene ser consciente, además, que la reflexión del Grupo de Trabajo se ha centrado en las necesidades de adaptación de la red troncal. Probablemente, las necesidades de adaptación en esta red no sean idénticas a las que convenga promover con prioridad para el resto de la red de transporte española.

Al incorporar el cambio climático entre los condicionantes de diseño y operación de las infraestructuras, no hay que olvidar tampoco contextualizar los riesgos climáticos dentro de un conjunto más amplio de condiciones no climáticas (demográficas, económicas, tecnológicas, institucionales, etc.), pues puede darse el caso de que algunos efectos indirectos (cambios en la concentración poblacional, modificación de la demanda de transporte, modificación del parque de vehículos, ...) puedan generar mayores impactos sobre la red de transporte que el propio cambio climático.

Para completar la reflexión sobre las necesidades de adaptación, conviene por último hacer una referencia a las previsiones de cambio climático disponibles en España. El ejercicio realizado por el Grupo de Trabajo ha permitido constatar algunas limitaciones a este respecto. Sería deseable, por una parte, profundizar en la interpretación de las variables que proporcionan los modelos climáticos, con el fin de acercarlas a los parámetros con los que está familiarizado el gestor de la infraestructura (en transporte, por ejemplo, son fundamentales a menudo parámetros que corresponden a fenómenos indirectos, como el nivel freático o el régimen hidrológico). Por otra parte, convendría que los modelos predictivos y/o la colección de escenarios climáticos incorporaran algunas variables que pueden ser particularmente relevantes para el transporte (como el régimen de vientos o la niebla), y otorgar una atención especial a los fenómenos extremos (para el transporte, la posible alteración en la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos resulta fundamental, puesto que los daños que puedan producir tales eventos – aunque sean infrecuentes - pueden llegar a ser muy notables, e incluso difícilmente aceptables desde el punto de vista social). Por último, es también preciso hacer un esfuerzo para proporcionar predicciones a escala local (pues la escala de la regionalización actualmente disponible puede ser una limitación a la hora de valorar la vulnerabilidad de las infraestructuras nodales) y reducir progresivamente las incertidumbres actualmente asociadas a buena parte de las predicciones.

Tal como se indica al inicio de este documento, el objetivo del Grupo de Trabajo ha sido realizar un análisis preliminar sobre cuáles pueden ser las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Con este análisis, el Grupo de Trabajo no pretende por tanto agotar la reflexión sino, al contrario, iniciarla, siendo consciente de la necesidad de enriquecerla y completarla con otras aportaciones, y de revisarla conforme se vaya disponiendo de predicciones actualizadas de cambio climático en España, de una mejor comprensión de los efectos de las condiciones climáticas sobre la red de transporte, y de experiencia y resultados de la implantación de las medidas de adaptación adoptadas.

## ANEJO I. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED TRONCAL ESPAÑOLA

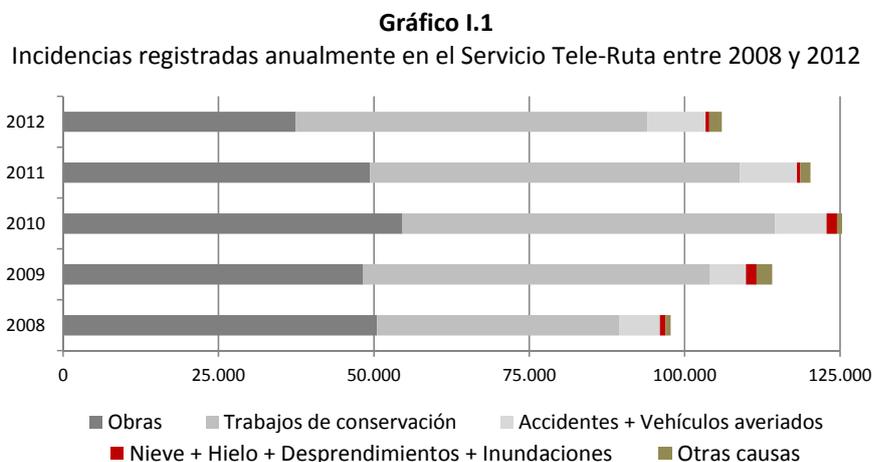
### I.1. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED DE CARRETERAS

#### I.1.1. Incidencias más frecuentes sobre las condiciones de circulación

Para caracterizar la vulnerabilidad actual de la red troncal de carreteras, el grupo de expertos en carreteras ha recopilado información – en primer lugar - sobre aquellas incidencias, relacionadas con un evento climático, que suponen tener que cortar el tráfico o afectar sensiblemente las condiciones habituales de circulación en un punto o tramo de la carretera. Para ello, se ha explotado la base de datos vinculada al Servicio Tele-Ruta que gestiona la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento para la red de carreteras del Estado, y las respuestas a un cuestionario ad-hoc remitido a todas las Unidades de Carreteras de dicha Dirección General.

En el **Servicio Tele-Ruta** se registran los cortes de calzada en carreteras de la red del Estado que pueden durar más de 15 minutos, y los cortes de carril diurnos cuya duración se prevea de más de 2 horas, o que aun siendo de menor duración provoquen retenciones a la circulación como consecuencia de la disminución de la capacidad de la vía. En época invernal se refleja también toda situación en la red de carreteras del Estado que haga necesario la colocación en los vehículos de cadenas, en cuyo caso las incidencias hacen referencia a calzadas completas. Los motivos de restricción a la circulación se clasifican en *Obras*, *Trabajos de conservación*, *Accidente*, *Vehículo averiado*, *Nieve*, *Hielo*, *Desprendimientos*, *Inundaciones* y *Otras causas*. Se ha considerado que los motivos que guardan mayor relación con eventos climáticos son, a priori, la *Nieve*, el *Hielo*, los *Desprendimientos* y las *Inundaciones*, aunque en el grupo de *Otras causas* se incluyen en ocasiones incidencias relacionadas, por ejemplo, con el viento. Aunque se detectan algunas lagunas en el registro de información en el Servicio Tele-Ruta por parte de algunas Unidades de Carreteras, dicha base de datos puede probablemente considerarse representativa de las incidencias que se producen en el conjunto de la red de titularidad estatal.

El gráfico I.1 muestra el resultado de la explotación de la base de datos del Servicio Tele-Ruta para los últimos cinco años. Se observa de entrada que las incidencias directamente asociadas a fenómenos climáticos representan una minoría de las causas de corte o restricción a la circulación, aun cuando puedan ocurrir accidentes o ser necesario realizar trabajos de conservación como consecuencia de eventos climáticos.

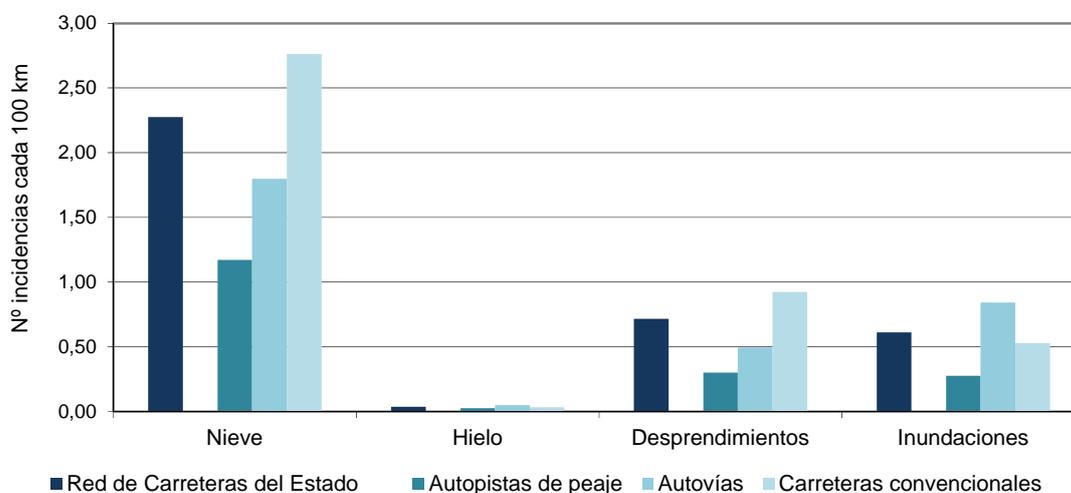


De las incidencias registradas en el Servicio Tele-Ruta que están asociadas en mayor medida a variables climáticas (unas 1.085 incidencias/año en promedio), más de dos tercios (69%) corresponden a restricciones por nieve. El resto se distribuyen prácticamente por igual entre incidencias por desprendimientos (16%) y por inundación (14%); sólo una mínima parte (1%) son debidas al hielo.

De acuerdo con la información registrada en Tele-Ruta, la vulnerabilidad de las condiciones de tráfico frente a eventos climáticos en autopistas de peaje parece ser por regla general inferior a la de autovías y carreteras convencionales (gráfico I.2). La vulnerabilidad de las autovías de la red estatal es también inferior a la de sus carreteras convencionales frente a fenómenos de nieve y desprendimientos, pero no así en el caso de inundaciones.

**Gráfico I.2**

Índice de incidencias anuales registradas en el Servicio Tele-Ruta por cada 100 km, según el tipo de vía (Datos de 2010 a 2012)



El gráfico I.3 resume cuál es la incidencia actual de diversos factores climáticos sobre las condiciones de circulación percibida por las **Unidades de Carreteras** del Ministerio de Fomento en sus carreteras. Las respuestas se refieren a 29 Unidades de Carreteras. La longitud de red gestionada por estas 29 Unidades de Carreteras suma unos 17.160 km, es decir, algo más del 73% del total de la red de carreteras del Estado si se excluye autopistas de peaje<sup>10</sup>.

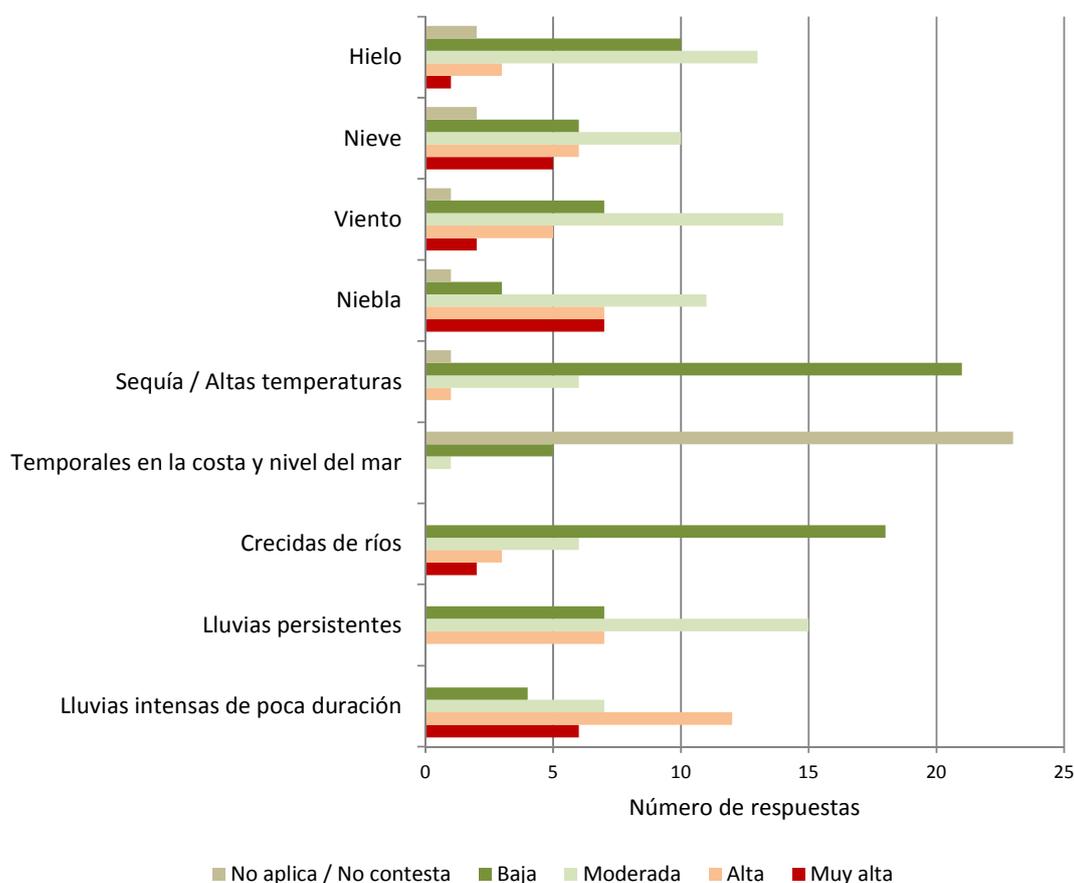
A la vista del gráfico I.3, parece claro que la mayor parte de Unidades no consideran en general las sequías y altas temperaturas como un factor climático de riesgo para la circulación, aunque tres de las cuatro Unidades en Galicia sí resaltan los incendios como uno de los factores con mayor incidencia sobre las condiciones de circulación. A pesar de que únicamente 9 de las 29 respuestas recibidas correspondan a provincias costeras, tampoco parecen ser relevantes los temporales en la costa y el nivel del mar.

Por el contrario, las lluvias intensas de corta duración sí son un factor climático relevante en muchas provincias y, en un número más reducido de provincias y con menor grado de afección, las lluvias persistentes. Entre los fenómenos vinculados al agua, la crecida de ríos es la que tiene una afección menor. Entre los efectos de las lluvias intensas se cita la posibilidad de inundar algunos tramos de carretera, agravar fenómenos erosivos en taludes y estructuras, aumentar las necesidades de mantenimiento de las obras de drenaje debido a las gran cantidad de arrastres que provoca la erosión de ramblas que están secas la mayor parte del año, etc.

<sup>10</sup> Conviene tener presente que la red a cargo de las Unidades de Carreteras excluye no sólo las autopistas de peaje sino también las autovías de 1ª generación concesionadas.

Gráfico I.3

Percepción de las Unidades de Carreteras acerca de la incidencia actual de diversos factores climáticos sobre las condiciones de circulación



La niebla también aparece como un factor con incidencia muy alta o alta en numerosas provincias, fundamentalmente en el valle del Ebro, Galicia y centro peninsular. Los vientos de gran intensidad son un factor preocupante sobre todo en el valle del Ebro y norte de Galicia, afectando a la caída de ramas y árboles a la calzada, y al equipamiento vial.

Por lo que se refiere a la nieve, más de un tercio de las Unidades de Carreteras consideran que ésta es una de las principales variables climáticas que afecta negativamente a la vialidad de sus carreteras. Estos resultados son consistentes con los obtenidos a partir de la base de datos del Servicio Tele-Ruta. Sólo una Unidad de Carreteras señala la presencia anual de algún alud, con afección al tráfico y daños a los equipamientos viales.

La incidencia negativa de la nieve y del hielo sobre las carreteras no se limita a las condiciones de circulación del tráfico, sino que también incide en un envejecimiento prematuro de las capas de rodadura del firme por los efectos del hielo-deshielo y de la gran cantidad de fundentes utilizados. El hielo también incide sobre el estado de las estructuras y contribuye a un aumento de desprendimientos en los taludes en roca.

### I.1.2. Actuaciones significativas de reparación/rehabilitación que guardan relación con eventos climáticos.

Se incluyen bajo este epígrafe aquellas actuaciones de reparación/rehabilitación de carácter generalmente bastante localizado, que suele ser necesario acometer por razones de urgencia o para

limitar unos costes de mantenimiento recurrentes demasiado elevados, y que guardan relación con eventos climáticos.

Para las carreteras gestionadas por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (esto es, toda la red de carreteras del Estado salvo las autopistas de peaje y las autovías de primera generación concesionadas), este tipo de actuaciones suelen acometerse a través de los contratos de conservación integral, del presupuesto para gastos de gestión directa, del presupuesto para emergencias o licitando un proyecto de obras extraordinarias, según sea la entidad y tipo de actuación a realizar.

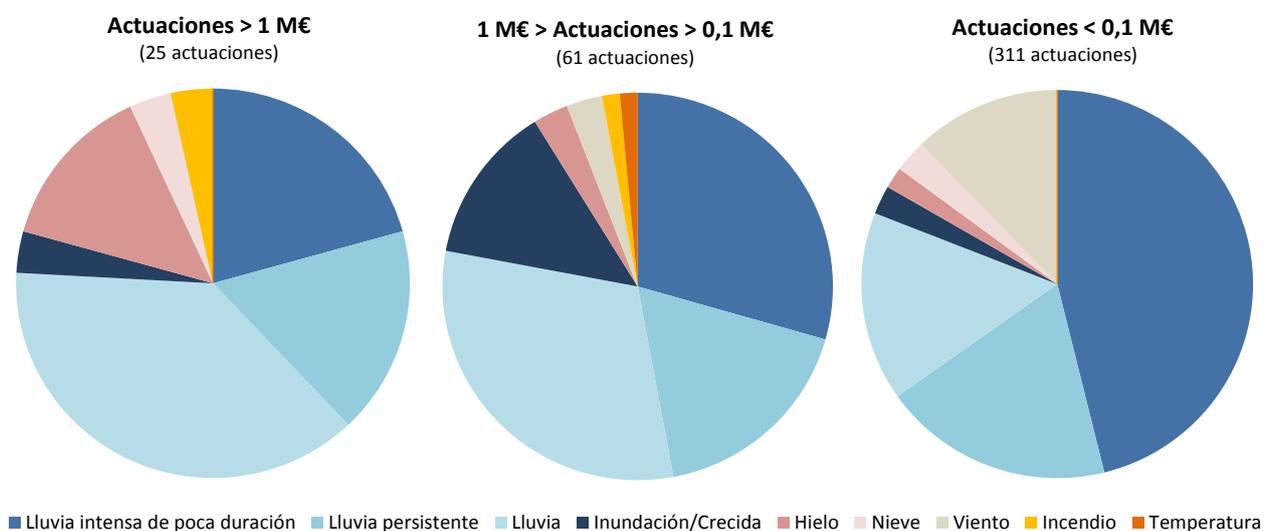
La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento dispone de información regular sobre las **actuaciones de emergencia** realizadas en la red que gestiona. Además, se ha solicitado a las **Unidades de Carreteras** del Ministerio de Fomento que identifiquen - por medio de un cuestionario ad hoc - las actuaciones significativas de reparación/rehabilitación realizadas en los últimos años en la red a su cargo.

El análisis de la información sobre las actuaciones de emergencia realizadas durante los últimos seis años muestra que éstas conciernen en su mayoría a taludes (59 actuaciones), estructuras (40) y actuaciones por causa de lluvias (29). El número de actuaciones en firmes, túneles o por razón de incendios es bastante más reducido. El coste medio de las actuaciones por motivo de lluvias es de 3,2 M€ y el de las actuaciones en taludes de 2,3 M€. En lo que concierne a actuaciones en estructuras, la mayoría de ellas no están justificadas por el efecto directo de factores climáticos aunque, cuando así es, el coste de éstas es muy superior a su coste medio, de 1,1 M€.

Aunque la interpretación en forma agregada de la información proporcionada por 29 Unidades de Carreteras a través del cuestionario deba hacerse con prudencia, sí se observa a partir de la misma algunas pautas generales. Los gráficos I.5 y I.6 muestran respectivamente los eventos climáticos citados con mayor frecuencia por las Unidades en el caso de actuaciones de reparación/rehabilitación y los componentes de la infraestructura vial más afectados. En ambos gráficos se ha diferenciado en función de la magnitud (coste) de la actuación de reparación/rehabilitación realizada.

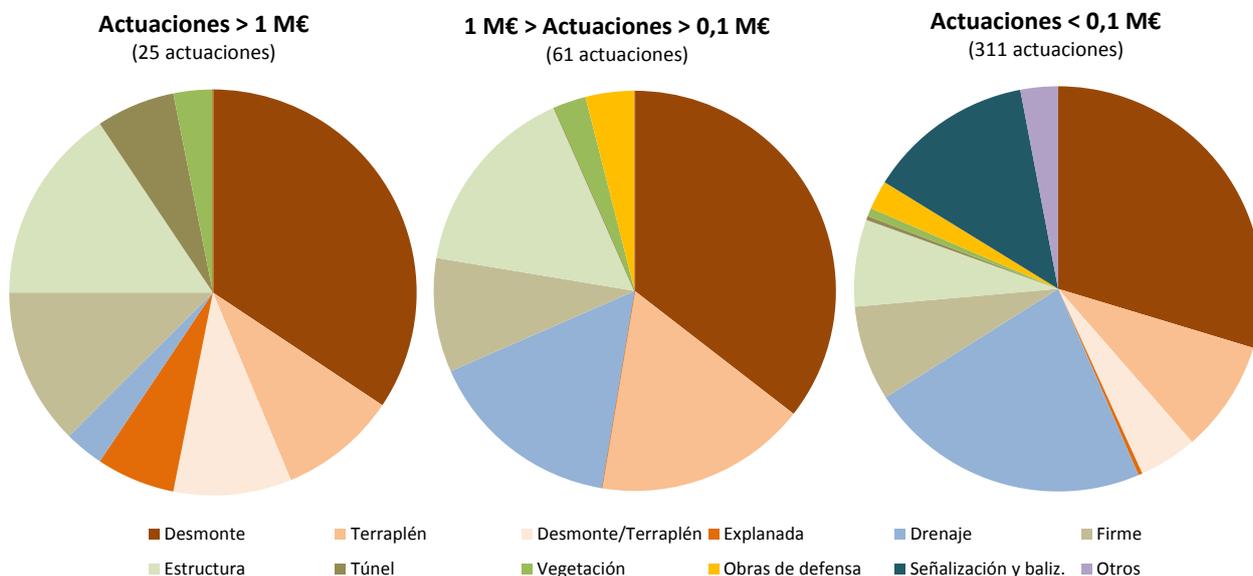
**Gráfico I.5**

Principales eventos climáticos asociados a actuaciones de reparación/rehabilitación en carreteras



**Gráfico I.6**

Principales componentes de la infraestructura vial donde se ha realizado actuaciones de reparación/rehabilitación por causa de eventos climáticos



El gráfico I.5 señala al agua (lluvias intensas, lluvias persistentes y crecidas e inundaciones) como la mayor amenaza de daños locales a la carretera. En caso de crecidas/inundaciones, los daños suelen ser relativamente altos. Las lluvias intensas provocan gran número de daños de pequeña cuantía. El hielo (más precisamente, el ciclo hielo/deshielo) también es causa relativamente frecuente de actuaciones de presupuesto elevado que suelen afectar a taludes y, en menor medida, a firmes. El viento causa a menudo pequeños daños, sobre todo en señalización y balizamiento.

Entre los componentes de la infraestructura vial sobre los que se actúa de forma frecuente por medio de actuaciones de reparación/rehabilitación (gráfico I.6) destacan las obras de tierra, que acaparan más del 50% de las actuaciones de mayor coste y casi la mitad de las de pequeña cuantía. En actuaciones de elevado coste, también se actúa frecuentemente de manera localizada en firmes y estructuras. Entre las actuaciones de menor presupuesto destacan asimismo las reparaciones sobre el drenaje y actuaciones pequeñas sobre la señalización y el balizamiento.

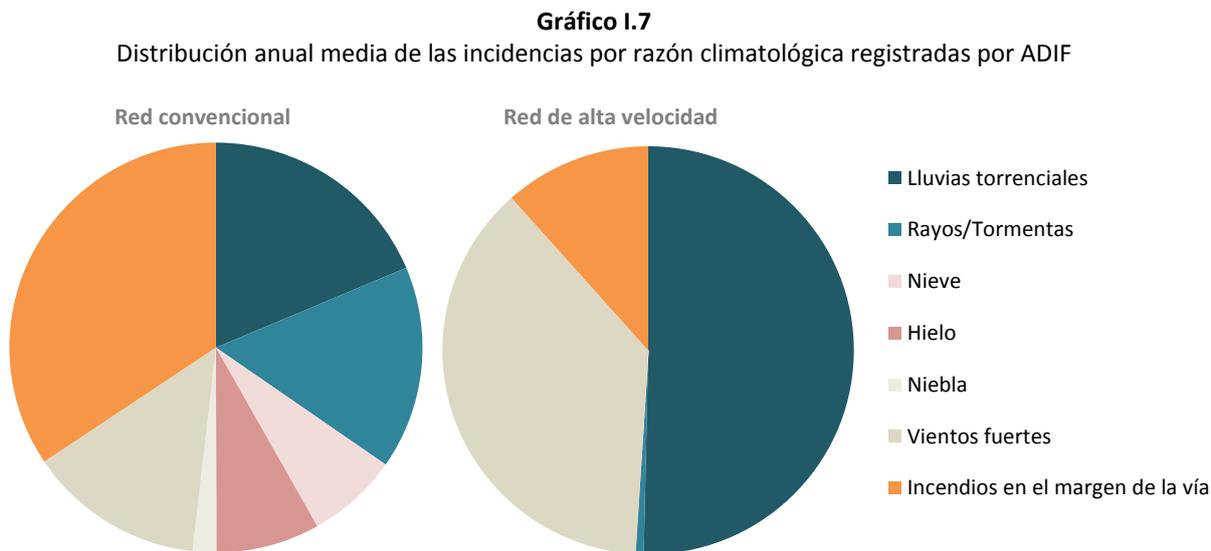
De los 17.160 km a los que hace referencia la información proporcionada por las Unidades de Carreteras, un 37% son autovías y el 63% restante carreteras convencionales. La distribución del número de actuaciones de reparación/rehabilitación por tipo de carretera es muy similar. Las actuaciones de mayor presupuesto son algo más frecuentes en carreteras convencionales, lo cual podría ser debido a una mayor vulnerabilidad por tener condiciones de diseño más antiguas. La proporción de actuaciones en autovías es algo superior en el caso de actuaciones de menor coste, lo que podría explicarse tanto por razón de estándares más exigentes en cuanto a mantenimiento como por ser vías todavía de reciente construcción.

## I.2. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED FERROVIARIA

### I.2.1. Incidencias más frecuentes en la explotación ferroviaria

Tanto ADIF como Renfe Operadora disponen de información sistemática sobre las incidencias ocurridas durante la explotación de la red ferroviaria por causa de eventos climáticos.

El gráfico I.7 muestra la distribución anual media de las incidencias por razón climatológica registradas por ADIF durante el periodo 2009-2012 tanto para la red de alta velocidad como para la red convencional. De las casi 1.100 incidencias registradas al año como promedio, el 97% corresponden a la red convencional y únicamente el 3% a la red de alta velocidad, lo que podría interpretarse como que la tasa de incidencias por unidad de longitud de red es aproximadamente diez veces superior en la red convencional que en la red de alta velocidad.



En todo caso, para interpretar correctamente el gráfico I.7 conviene tener en cuenta que el concepto de incidencia en las distintas áreas de actividad de ADIF es diferente. En el caso de la red de alta velocidad, una incidencia está delimitada por el tramo de vía que corresponde a una Base de Mantenimiento dentro del mismo Área Territorial Operativa (seis en España). En el caso de la red convencional, una incidencia está delimitada por el tramo de vía que corresponde al equipo de mantenimiento, por especialidades, dependiente de una Base de Mantenimiento.

El gráfico I.7 pone de manifiesto que la red de alta velocidad es especialmente sensible a las lluvias intensas de corta duración y a los vientos fuertes. Las incidencias más frecuentes en la red convencional están vinculadas sobre todo con la ocurrencia de incendios en los márgenes de las vías (directamente relacionados con altas temperaturas), con lluvias intensas y tormentas y, en menor medida, vientos fuertes, hielo y nieve. De los incendios ocurridos en los márgenes de las vías, solo una minoría (menos del 5%) es atribuible a la explotación ferroviaria. En los últimos años, los incendios atribuibles a la explotación ferroviaria se han registrado únicamente en líneas convencionales, especialmente en áreas del valle del Ebro y norte peninsular, como consecuencia en la mayoría de los casos de falta de limpieza de la vegetación en las márgenes de la vía y/o chispas por fricción en el sistema de frenado de los trenes, normalmente de mercancías.

Los gráficos de la figura I.8 muestran cómo se reparten geográficamente algunas de las incidencias registradas por ADIF. La mayor concentración de incidencias por lluvias torrenciales por longitud de red se produce en el sur peninsular. Las incidencias por vientos fuertes predominan en cambio en el noroeste y tercio nororiental peninsular. La concentración de incidencias por rayos/tormentas también predomina en el noroeste. Los incendios en el margen de la vía tienen mayor incidencia en la operación ferroviaria en el sur y noroeste peninsular, aunque también son frecuentes en el noreste.

**Figura I.8**  
 Reparto geográfico de las incidencias registradas por ADIF según Área Territorial Operativa (A.T.O.)  
 (Número de incidencias / 100 km en el periodo 2005-2012)



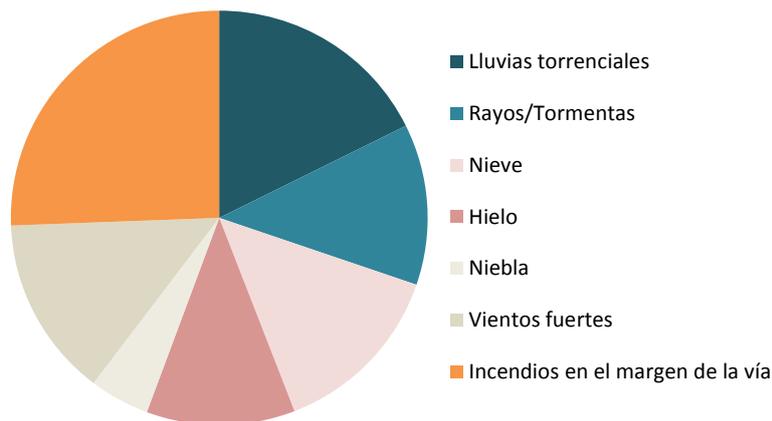
En estaciones de viajeros, el número medio de incidencias registradas por Adif es de 3-4 al año (en el caso de estaciones, una incidencia está delimitada por el Área Territorial Operativa, pudiendo afectar a más de una estación). La mayoría de estas incidencias están asociadas a rachas de viento fuerte y, en menor medida, a lluvias torrenciales.

Desde el punto de vista económico, las incidencias climáticas más dañinas sobre la infraestructura ferroviaria son las relacionadas con las lluvias intensas en el caso de vía, y con vientos fuertes en estaciones. Los costes de reparación de daños por lluvias intensas son muy variables (desde 15.000€/incidencia de una pequeña limpieza de material desprendido en una trinchera de vía convencional, hasta por ejemplo 7 millones de € en el caso de las inundaciones ocurridas entre Lorca y Águilas en septiembre de 2012). La horquilla de costes de reparación de daños por rachas de viento en estaciones es también muy variable, aunque suelen ser más altos en términos generales.

El gráfico I.9 muestra la distribución media de las incidencias por razón climatológica registradas por Renfe Operadora (unas 2.150 incidencias al año). Para Renfe, una incidencia equivale a un tren afectado y se caracteriza por tener típicamente los siguientes efectos:

- Lluvias intensas: interceptación de las comunicaciones ferroviarias por ocupación de circuitos; retrasos en la puntualidad por disminución de la velocidad, incluso marcha a la vista; o arrastre y movimiento de balasto por interceptación de la vía.
- Nieve: disminución de la velocidad; disminución de la adherencia; cortes de vía al alcanzar la nieve cierta altura sobre el carril; bloqueo de cambios e intercambiadores si además el tren lleva hielo en los rodales o ejes; o caída de viajeros.
- Hielo: disminución de la adherencia; obstrucción de los cambios; falta de contacto eléctrico entre pantógrafo y catenaria; corte de circulación; o caída de personas.
- Vientos fuertes: disminución de la velocidad y, por tanto, retrasos; caída de árboles a la vía; o proyección de elementos ligeros sobre la catenaria y pantógrafos con enganchones a veces.

**Gráfico I.9**  
Distribución anual media de las incidencias por razón climatológica en la circulación de trenes registradas por Renfe Operadora (Datos de 2010-2011)



La mayoría de incidencias (93%) se traducen en un retraso del servicio ferroviario; sólo en una minoría de casos se llega a suprimir trenes, a transbordar viajeros o a desviar servicios. Los retrasos medios en el caso de trenes de viajeros se sitúan en torno a los 10-15 minutos, sin que el retraso varíe excesivamente en función del evento climático que provoque la incidencia. En el caso de trenes de mercancías, los

retrasos medios alcanzan los 50 minutos, siendo menores en el caso de incidencia por niebla o lluvia, y mayores en caso de nieve y viento.

### I.2.2. Costes de mantenimiento y operación que guardan relación con eventos climáticos

El grupo de expertos en ferrocarriles también ha trabajado en la recopilación de datos de costes asociados a tareas de mantenimiento de instalaciones y aseguramiento del confort, encaminadas a prevenir o corregir aspectos relacionados con las variables climáticas. Las Direcciones de Operaciones e Ingeniería de Adif han aportado los costes asociados al mantenimiento regular de drenajes y puentes, y al control de la vegetación antiincendios (excluido el coste del tratamiento herbicida de la propia plataforma de vía, que se efectúa por razones de seguridad en la circulación). Por su parte, la Dirección de Estaciones de Viajeros ha realizado un estudio de costes asociados a la climatización en estaciones y la correlación de los mismos con las variaciones térmicas.

Los datos aportados por las Direcciones de Operaciones de Adif – aun siendo parciales – reflejan costes por kilómetro del mantenimiento de drenajes y puentes y del control de la vegetación mayores en la red convencional que en la red de alta velocidad (hasta 10 veces más en el primer caso y superiores en un 50% en el segundo).

En cuanto a los costes de climatización en estaciones son difíciles de conocer, dado que el contrato de suministro eléctrico es global y no se dispone de contadores específicos para medir la energía destinada a climatización. En base a los datos para la estación de Valladolid, la Dirección de Estaciones de Viajeros de Adif ha estimado que la climatización en verano supone un incremento medio del 7% del consumo eléctrico anual por cada °C que aumenta la temperatura media; en invierno, el consumo de gas para calefacción disminuye en torno al 15% por cada °C que aumenta la temperatura media anual.

### I.3. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED PORTUARIA

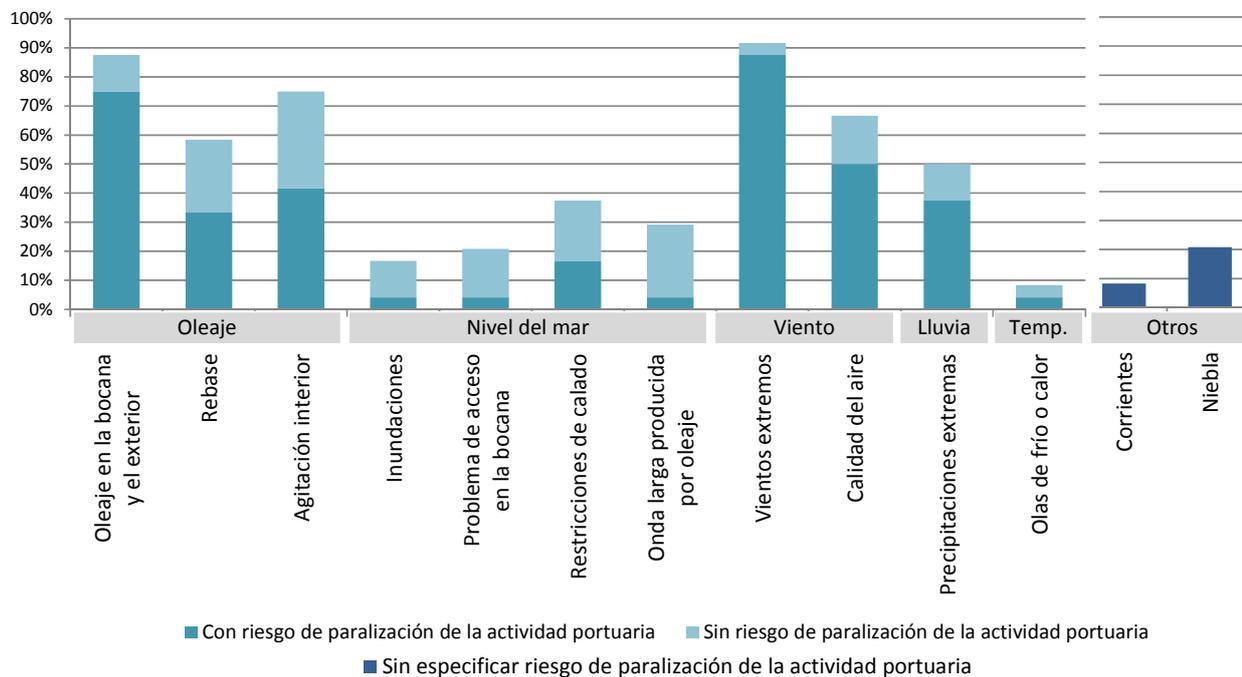
La información sobre cuáles son los impactos asociados a eventos climáticos que en la actualidad tienen mayor incidencia en la explotación portuaria se ha recopilado por medio de un **cuestionario ad hoc** diseñado por Puertos del Estado y remitido a las Autoridades Portuarias. En el cuestionario se ha distinguido entre impactos causados por oleaje (oleaje en la bocana y exterior, rebase, agitación interior), por nivel del mar (inundaciones, escasez por nivel bajo del mar, onda larga producida por oleaje), por viento, por lluvia y por temperatura, entre otras causas. De un total de 27 Autoridades Portuarias, 24 han respondido al cuestionario. El gráfico I.10 muestra cuál es el porcentaje de ellas que, en respuesta al cuestionario, han indicado que tienen problemas de operativa portuaria causados por alguna variable climática.

El gráfico I.10 evidencia que una mayoría de Autoridades Portuarias percibe el viento y el oleaje (por mar de viento o por mar de fondo) como los fenómenos meteorológicos que más inciden actualmente en la operativa de sus puertos, con riesgo además de paralizar la actividad portuaria en la mayor parte de ellos. Las precipitaciones extremas causan también problemas en cerca de la mitad de puertos, aunque con menor riesgo de paralización de la actividad portuaria. El riesgo de pérdida de vidas por fenómenos climáticos es en general reducido, siendo los vientos extremos, los rebases y el oleaje en la bocana y exterior del puerto los fenómenos que preocupan a un mayor número de Autoridades Portuarias.

De las respuestas de las Autoridades Portuarias al cuestionario no se desprende que las variables climáticas afecten de forma diferenciada a la operativa del puerto en función de la fachada marítima en la que se éste se encuentra.

**Gráfico I.10**

Porcentaje de Autoridades Portuarias con problemas de operativa portuaria por variables relacionadas con el clima



### I.3.1. Vulnerabilidad frente al oleaje

Las respuestas al cuestionario ponen de manifiesto que un oleaje excesivo en la bocana puede dificultar la maniobrabilidad del buque y determinar una limitación en el acceso y salida de los buques. También puede limitar la toma de remolque o condicionar su operación (en el puerto de Melilla, por ejemplo, el riesgo que conlleva realizar las maniobras de entrada con la única ayuda de un remolcador de 1800CV es lo suficientemente alto para denegar la entrada a puerto). En el caso de mar de fondo, el oleaje puede reducir la sonda en el canal de entrada, restringiendo el paso a buques de gran calado (caso de Huelva, por ejemplo).

En bastantes puertos, el fuerte oleaje puede llegar a impedir el embarque/desembarque de practicaje, sea parcialmente (por ejemplo, en el puerto de El Ferrol, para algunos gaseros y carboneros de gran porte) o totalmente, lo que en la práctica supone la suspensión del servicio y la consiguiente paralización del puerto (el canal de navegación de entrada al Puerto de Castellón tiene tres alineaciones debido a la existencia de la isla pantalán de la petrolera BP, por lo que en la bocana los buques están expuestos lateralmente al efecto de los temporales y los prácticos no siempre están dispuestos a embarcar en el exterior, teniéndose que cerrar el puerto por este motivo).

Un oleaje excesivo en el exterior del puerto puede además imposibilitar el fondeo de buques o hacer inoperativos algunos muelles exteriores (caso de Bilbao, donde se paraliza las maniobras de buques en algunos pantalanés de la zona industrial del puerto cuando se registra un oleaje exterior con altura de ola significativa superior a 3 metros). También puede interrumpir algunos servicios marítimos de corta distancia (caso del servicio regular de transporte de viajeros a través del Estrecho de Gibraltar entre Algeciras y el norte de África).

En lo que concierne a fenómenos de rebase, éstos causan problemas esporádicos en la operación portuaria en alrededor la mitad de puertos españoles. En buena parte de las ocasiones, suele ser suficiente interrumpir el paso de vehículos y de personas en las zonas más expuestas, con objeto de evitar daños. En un menor número de casos, el rebase puede reducir la actividad portuaria en determinados muelles, al afectar a instalaciones portuarias, provocar el cierre operativo de algunos atraques o impedir la movilidad por los viales de dique y contradique. El hecho de que un dique sea rebasado con cierta frecuencia no implica necesariamente que sea un problema, siempre que se haya tenido en cuenta en su diseño (por ejemplo, en el puerto de A Coruña, el rebase del dique comienza para temporales de ola significativa de 9-10 metros, correspondientes a un periodo de retorno de 2,5 a 5 años).

La agitación interior también incide en un número considerable de puertos. Según sea su magnitud, la agitación interior puede dificultar la navegación en el acceso a muelles (en mayor medida a las embarcaciones menores), complicar el amarre de ciertas embarcaciones (en el puerto de El Ferrol, por ejemplo, la experiencia operativa de estos últimos años ha demostrado que, con ocasión de temporales duros, se ven afectadas las descargas de graneles sólidos, siendo necesario el uso de remolcadores que empujen al buque contra las defensas para evitar la rotura de amarras), dificultar la operativa en atraques de taludes interiores (caso del atraque 34B del Muelle de la Energía en el puerto de Barcelona, de la operación de buques ro-ro en el muelle 13 del puerto de Alicante con dirección de oleaje sur, o del embarque en buques de pasaje conectados con pasarelas mecánicas en el puerto de Málaga), o entorpecer las operaciones de carga y descarga en pantalanés interiores (por ejemplo, de los buques tanque en los pantalanés de la refinería de CEPSA en Algeciras). En el caso de Vigo, provoca problemas puntuales en el tráfico de ría de pasajeros.

### **I.3.2. Vulnerabilidad por el nivel del mar**

Contrariamente a lo que sucede con el oleaje, la vulnerabilidad actual de los puertos españoles por el nivel del mar es ciertamente limitada, y no viene tanto determinada por la subida del mismo como por las situaciones de falta de calado que eventualmente éste provoca en algunos puertos. Ello se traduce en problemas concretos de acceso de algunos buques a muelles con calados ajustados, en una necesidad de mayores volúmenes de dragado de mantenimiento (en particular, después de temporales), o en ciertas restricciones de acceso en situación de bajamar en el caso de algunos puertos de la vertiente atlántica. Las inundaciones por efecto de la subida del nivel del mar se dan excepcionalmente y en un número muy reducido de muelles portuarios. Los problemas ocasionados por las oscilaciones del nivel del mar en caso de rissagas – fenómeno meteorológico que se da típicamente en ciertas áreas del mediterráneo – son también excepcionales, sin llegar a paralizar la actividad portuaria de ninguno de los puertos de ámbito estatal.

Los problemas de operativa portuaria causados por fenómenos de ondas largas producidas por oleaje se dan en alrededor un tercio de los puertos, aunque con muy escasa frecuencia en general y con una limitada incidencia. Entre sus afecciones se citan el movimiento de buques atracados en dársenas interiores, la rotura de amarras, o inundaciones y daños en pantalanés y alguna estructura.

### **I.3.3. Vulnerabilidad frente a vientos extremos**

Los vientos extremos limitan ocasionalmente el acceso de determinados tipos de buques al puerto (por ejemplo, en el caso de El Ferrol, los gaseros son especialmente sensibles al viento en su paso por el canal de entrada) y sus maniobras de atraque y desatraque en pantalanés (caso de la zona industrial del puerto de Bilbao, si se registra un viento superior a 25/35 nudos de componente norte/sur, respectivamente). Excepcionalmente, pueden llegar a poner en riesgo la permanencia segura de los

buques amarrados y/o fondeados. Cuando los esfuerzos sobre los cabos de las amarras son muy altos, puede ser necesario reforzarlos e incluso utilizar algún remolcador de apoyo en caso de buques grandes con mucha superficie expuesta al viento.

Los vientos extremos también dificultan la operativa de carga y descarga de determinadas mercancías. En el caso de contenedores, pueden obligar a paralizar el servicio de grúas portuarias o a limitar la altura de su apilamiento. En el caso del puerto de Cartagena, se llega a parar las operaciones de carga y descarga de graneles líquidos en las zonas más expuestas. En el puerto de Melilla, la



Dos buques varados en la playa de El Saler, al garrar mientras estaban en el fondeadero de Valencia, a causa del viento del NE de 60 nudos y de la fuerte marejada

realización de las operaciones lo-lo pueden quedar detenidas por riesgo de accidente. Con todo, los problemas más frecuentes en el sistema portuario español provienen de la incidencia que tiene la manipulación de graneles pulverulentos (cereales, haba de soja, etc.) en el aumento de partículas sólidas en suspensión y en el empeoramiento de la calidad del aire, que afectan a operadores portuarios adyacentes y a áreas urbanas próximas; esta afección puede conllevar la paralización de las operaciones en caso de superación de límites legales, riesgo de dispersión de alérgenos, o en situaciones de especial sensibilización de la población afectada.

Al margen de todo ello, los vientos fuertes también ocasionan daños en edificaciones del recinto portuario.

#### **I.3.4. Vulnerabilidad por precipitaciones extremas**

Como consecuencia de las precipitaciones extremas, algunos puertos pueden tener problemas de visibilidad para la maniobrabilidad de los buques, así como inundaciones en viales interiores y terminales, incluso en los accesos al puerto. En caso de precipitaciones muy intensas, es necesario paralizar las operaciones de carga/descarga de graneles sólidos, o limitar algunas operaciones en otras terminales. También puede darse algún fallo eléctrico como consecuencia de la intrusión de agua. En el puerto de Cádiz, las precipitaciones extremas conllevan el arrastre de sedimentos al río Guadalete, provocando problemas de navegación. En el caso concreto del puerto de Valencia, grandes precipitaciones pueden obligar a liberar el atraque frente a la desembocadura del río Turia para facilitar la evacuación de las aguas. Los puertos mediterráneos son especialmente sensibles a los fenómenos de la gota fría, que se producen típicamente a finales de verano e inicio del otoño. En los puertos de la vertiente atlántica, las inundaciones provocadas por las precipitaciones intensas pueden verse agravadas al combinarse con mareas vivas altas.

Como consecuencia de las lluvias intensas, se producen también vertidos en las dársenas interiores del puerto por rebose de la red de saneamiento de la ciudad (caso de Málaga o Ceuta), con la afección consiguiente a la calidad del agua.

### I.3.5. Vulnerabilidad por otros fenómenos

De acuerdo con las respuestas de las Autoridades Portuarias al cuestionario remitido por Puertos del Estado, la niebla intensa, las corrientes marinas, el calor extremo o las tormentas eléctricas son fenómenos que actualmente causan problemas en un número muy reducido de puertos españoles.

La niebla intensa provoca falta de visión y peligro de alcance en la operativa de los buques, lo que puede llegar a determinar el cierre del puerto (en el puerto de Avilés, por ejemplo, hasta 5 veces al año).

Las corrientes marinas exteriores llegan a dificultar las maniobras de aproximación en el acceso a la bocana sur del puerto de Barcelona y las operaciones de atraque en los muelles exteriores del puerto de Algeciras. Además, tienen incidencia en la calidad del agua, al dispersar los vertidos de los buques y los sedimentos de dragado durante las operaciones de extracción, transporte y deposición.

Las tormentas eléctricas pueden afectar a los sistemas de comunicación del puerto y la operativa de descarga de determinadas mercancías, como el gas natural licuado. Por su parte, las olas de calor pueden incidir en la descarga de buques frigoríficos.

### I.4. VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA RED AEROPORTUARIA

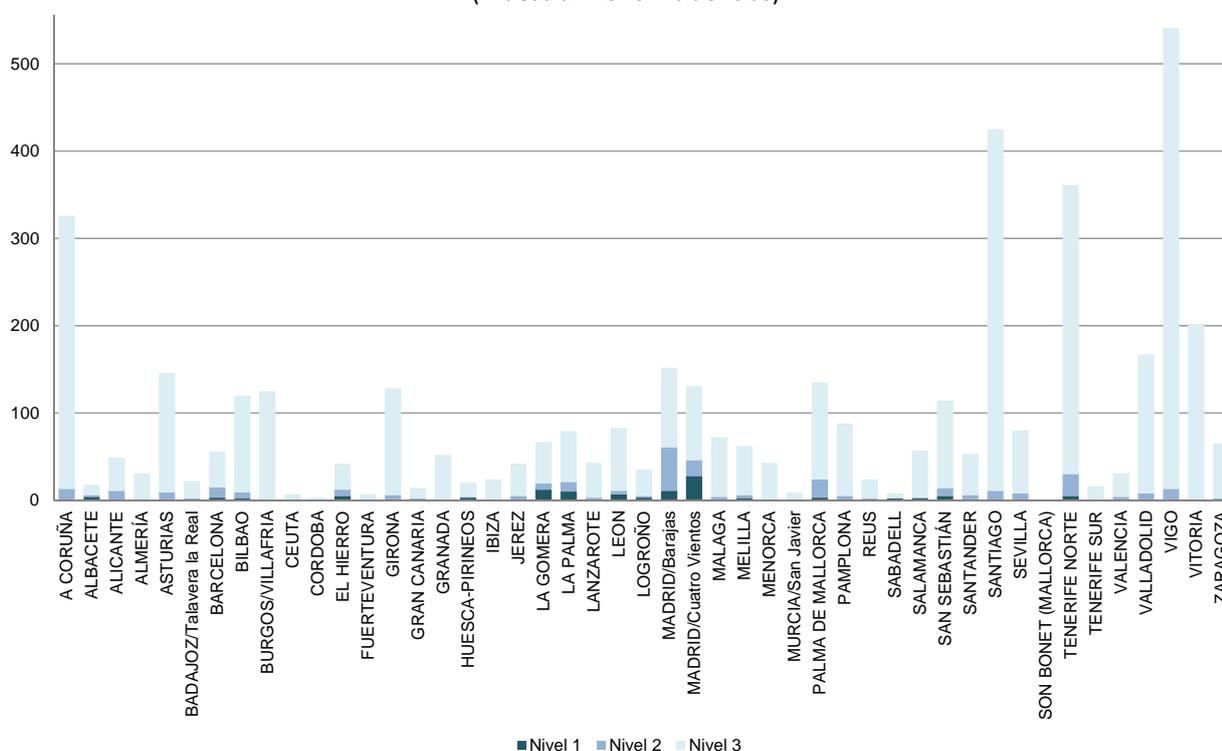
Aena Aeropuertos dispone de un registro histórico de incidencias debidas a fenómenos meteorológicos que pueden afectar a la operación de los aeropuertos. Los tipos de incidencias tipificadas más comunes son la cizalladura, lluvia, nieve/hielo, tormenta, tormenta eléctrica/rayos, viento y visibilidad reducida (LVP, siglas en inglés de *Low Visibility Procedures*). Estas incidencias operativas se clasifican de acuerdo a los siguientes niveles de afección:

- Nivel 1 (afectación máxima): Las consecuencias provocadas por la incidencia son graves y suponen:
  - Una interrupción total o parcial del servicio prestado y/o,
  - una reducción significativa en la capacidad del sistema (>20%) y/o,
  - retrasos medios significativos en la programación global del aeropuerto (> 2 horas) y/o,
  - el establecimiento de algún tipo de medida de carácter excepcional y/o,
  - importante repercusión social y/o,
  - un accidente, y/o
  - una puntualidad por debajo del 30%.
- Nivel 2 (afectación media): Las consecuencias provocadas por la incidencia crean dificultades en la operación normal del sistema aeroportuario y/o de navegación aérea. Suponen:
  - Una reducción significativa en la capacidad del sistema (entre un 10 y un 20%) y/o,
  - retrasos medios significativos en la programación global del aeropuerto (1 a 2 horas) y/o,
  - la incidencia se resuelve por los cauces habitualmente establecidos, sin la necesidad de activar ningún plan excepcional, y/o,
  - relativa repercusión social y/o,
  - incidentes graves y/o,
  - una puntualidad situada entre un 30 y un 50%.
- Nivel 3 (afectación baja): Las consecuencias provocadas por la incidencia no alteran la programación operativa, aunque sí dificultan el normal funcionamiento del aeropuerto o centro de navegación aérea, y se resuelven por los cauces habitualmente establecidos. No se prevén repercusiones sociales significativas. Suponen:

- Una reducción significativa en la capacidad del sistema, no superior a un 10%, y/o,
- retrasos medios significativos en la programación global del aeropuerto (entre ½ y 1 hora) y/o,
- baja repercusión social y/o,
- incidentes, y/o
- una puntualidad situada entre un 50 y un 60%.

Aena Aeropuertos registra casi 900 incidencias al año por causa meteorológica en el conjunto del sistema aeroportuario español. La mayoría de estas incidencias tienen un nivel de afectación bajo, aunque un 6-7% de las incidencias crea dificultades en la operación normal aeroportuaria y un 2-3% supone consecuencias graves. El gráfico I.11 muestra cuál es la distribución de estas incidencias por aeropuerto.

**Gráfico I.11**  
 Número y distribución de las incidencias según nivel, por aeropuerto (2007-2011)  
 (Muestra: 4.376 incidencias)

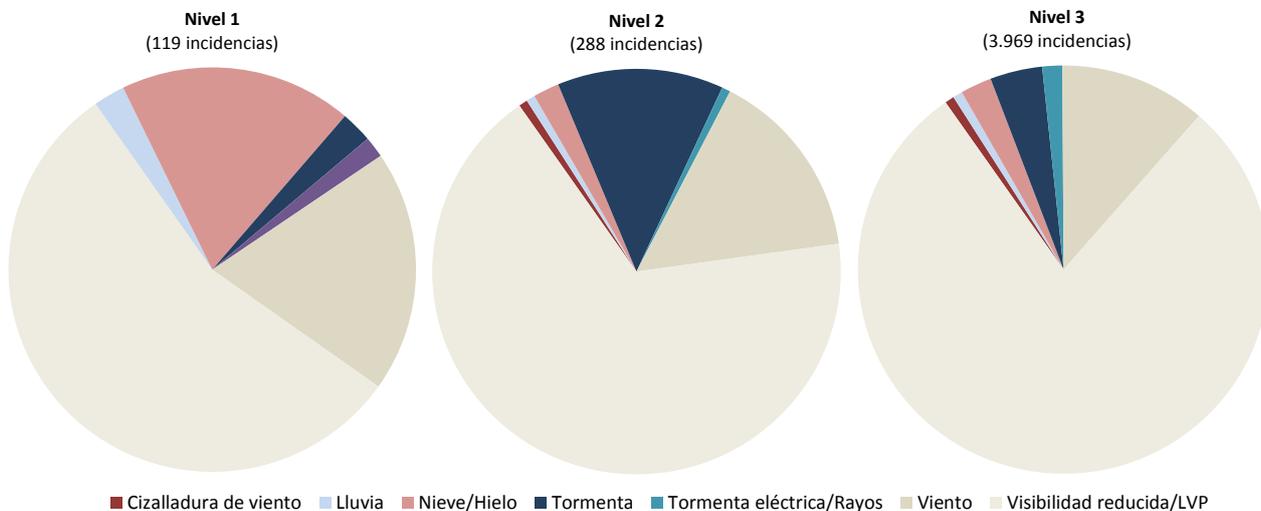


La mayor parte de las incidencias se producen al activarse el LVP por visibilidad reducida<sup>11</sup> (gráfico I.12). También es considerable el número de incidencias que se producen como consecuencia del viento. La nieve y el hielo es otra causa que provoca un porcentaje considerable de incidencias de nivel 1 y las tormentas para el caso de incidencias de nivel 2.

<sup>11</sup> El LVP – *Low Visibility Procedure* – es un procedimiento que se activa para mantener las condiciones de seguridad y regularidad del movimiento en tierra de aeronaves, vehículos y personas, cuando el rango de visibilidad es muy baja. Para la activación del LVP es determinante el alcance visual en pista (por causa de la niebla, o también lluvia o nieve) junto con la altura de la base de nubes.

**Gráfico I.12**

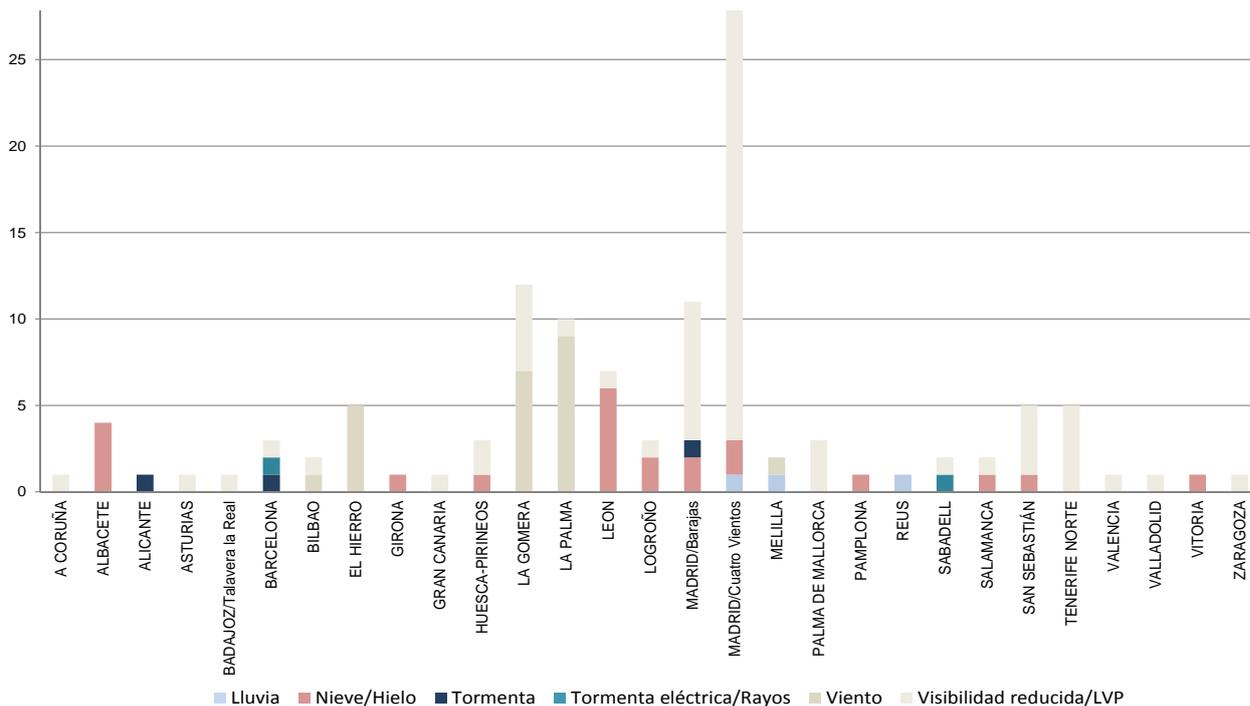
Distribución porcentual por tipo de incidencias en cada nivel de afectación (2007-2011)  
(Periodo analizado: 2007-2011 - Muestra: 4.376 incidencias)



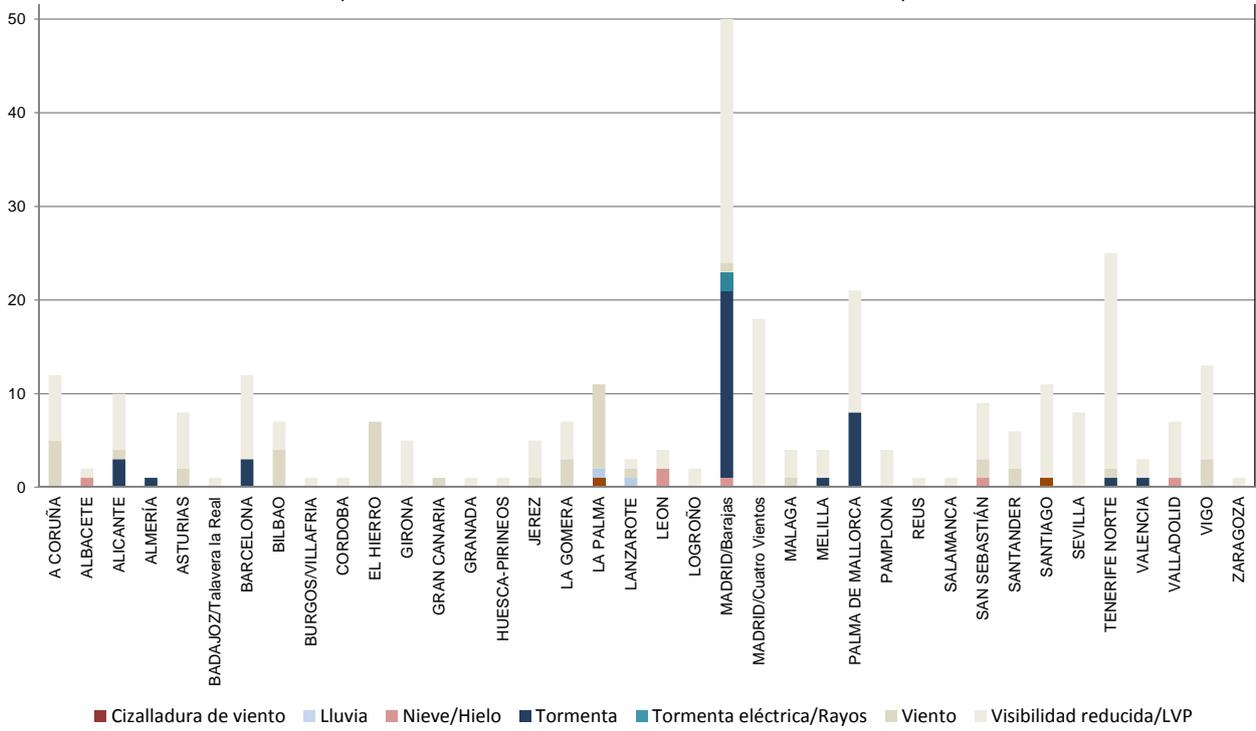
Los gráficos I.13 y I.14 muestran el número y tipo de incidencias de nivel 1 y nivel 2 que se han registrado durante los últimos años en cada aeropuerto. La afectación de nivel 1 por visibilidad reducida se da con mayor frecuencia en aeropuertos con predominio de vuelos en condiciones de operación visual (VFR, *Visual Flight Rules*). El viento afecta sobre todo a los aeropuertos canarios y, con menor gravedad, a varios aeropuertos del norte peninsular. Las afecciones por nieve o hielo se producen más a menudo en los aeropuertos de León, de Albacete y del área de Madrid, en tanto que las tormentas interfieren sobretodo la operación aeroportuaria en Madrid-Barajas y en Palma de Mallorca.

**Gráfico I.13**

Número de incidencias de nivel 1, por aeropuerto y tipología  
(Periodo analizado: 2007-2011 - Muestra: 119 incidencias)



**Gráfico I.14**  
 Número de incidencias de nivel 2, por aeropuerto y tipología  
 (Periodo analizado: 2007-2011 - Muestra: 288 incidencias)



## ANEJO II. SISTEMAS ACTUALES DE ALERTA METEOROLÓGICA

### II.1. EL PLAN DE AVISOS METEOALERTA DE LA AEMET

La AEMET realiza – en su calidad de prestatario de los servicios meteorológicos de competencia del Estado - el seguimiento de un considerable número de fenómenos de origen meteorológico y dispone, a su vez, del plan de avisos Meteoalerta (*Plan nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos*).

Meteoalerta establece los procedimientos de los avisos que proporciona la AEMET con carácter general y los valores umbrales considerados para cada tipo de fenómeno, según zonas del territorio (a nivel provincial o a nivel de zona provincial). De acuerdo con este plan, dan lugar a la emisión de aviso – entre otras - las situaciones relacionadas con los siguientes fenómenos meteorológicos adversos:

- Lluvias (acumulaciones en mm/1hora o periodo inferior, y/o mm/12 horas)
- Nevadas (espesor de la acumulación de nieve en el suelo en 24 horas)
- Vientos (velocidad de las rachas máximas de viento)
- Tormentas (ocurrencia y grado de intensidad)
- Temperaturas máximas
- Temperaturas mínimas
- Fenómenos costeros:
  - Viento en zonas costeras
  - Altura del oleaje de la mar de viento
  - Altura del oleaje de la mar de fondo
- Galernas en el área cantábrica (ocurrencia e intensidad)
- Rissagas en las islas Baleares
- Nieblas
- Olas de calor (aviso especial)
- Tormenta tropical (aviso especial)

En función de los umbrales de adversidad que se alcancen, los avisos emitidos distinguen cuatro niveles de alerta: verde (sin riesgo), amarilla (riesgo sólo para ciertas actividades), naranja (riesgo importante) o roja (riesgo extremo). Los valores umbrales de Meteoalerta se han definido teniendo en cuenta la afección a la actividad ordinaria de la población, y en función de poder suponer un peligro para las personas o los bienes. Los umbrales – en algunos casos distintos según zona provincial - no están adaptados por tanto, a priori, a las necesidades específicas de los gestores o usuarios de cada modo de transporte.

### II.2. ALERTAS ESPECÍFICAS PARA LA RED TRONCAL DE CARRETERAS

Los sistemas actuales de alerta meteorológica en la red troncal de carreteras se sustentan mayoritariamente en los avisos proporcionados por la AEMET a través de su plan Meteoalerta.

En el caso de la red de carreteras del Estado, la AEMET remite diariamente al Servicio Tele-Ruta información sobre los fenómenos meteorológicos especialmente desfavorables para la explotación de la carretera que tienen nivel de alerta amarilla, naranja o roja. El Servicio Tele-Ruta redistribuye estos avisos a los centros de control de las empresas conservadoras, concesionarias y Demarcaciones y Unidades de Carreteras, salvo en el caso de alerta amarilla, en que sólo lo hace si la alerta está

relacionada con la nieve. Para algunos tramos de vías especialmente sensibles a fenómenos de nieve y/o hielo, la Demarcación de Carreteras correspondiente y la AEMET han redefinido los niveles de preemergencia utilizados, ganando flexibilidad en la aplicación de medidas preventivas de vialidad invernal. Algunas empresas concesionarias y de conservación también contratan a empresas privadas de servicios de previsión meteorológica la información sobre avisos de condiciones adversas de vialidad invernal.

Por su parte, la Dirección General de Tráfico, aunque no hace previsiones meteorológicas, transmite internamente a los centros de conservación y explotación de las carreteras, a las Jefaturas provinciales de Tráfico y a los centros de control del tráfico regionales información sobre las condiciones previstas de las carreteras a partir de los datos obtenidos de su red de estaciones SEVAC (Sensores de Variables Atmosféricas en Carreteras).

**Figura II.1**

Prototipo de sistema de alerta meteorológica desarrollado por la Dirección General de Tráfico



La Dirección General de Tráfico dispone asimismo de un prototipo de sistema que alerta de fenómenos de viento, precipitación, nevadas y heladas para una parte de la red española de carreteras, que está desarrollando en colaboración con la AEMET (figura II.1). Las predicciones se elaboran a 24 horas para tramos de 5 km de carretera, actualizándose de forma horaria. Los umbrales para los avisos de alerta han sido definidos por la Dirección General de Tráfico en función de la incidencia prevista de

cada fenómeno climatológico sobre las condiciones de vialidad y son homogéneos para toda la red.

### II.3. SISTEMAS DE ALERTA EN LA RED FERROVIARIA

Para la red ferroviaria, la AEMET elabora también predicciones meteorológicas a 24 horas vista de velocidad del viento, intensidad de lluvia y espesor de nieve, para cada 5 km de ciertos tramos de red convencional y de alta velocidad, y las remite a Adif cada 6 horas. La AEMET emite un aviso de alerta (niveles amarillo, naranja o rojo) siempre que se supere los umbrales establecidos por Adif en alguno de los cuatro subperiodos de 6 horas en que se divide el periodo de predicción de 24 horas. Los umbrales de alerta son los mismos para toda la red ferroviaria convenida por Adif y la AEMET, salvo en el caso del viento, para el que se establecen umbrales distintos para la red convencional y la red de alta velocidad. En función del nivel de alerta, estos avisos desencadenan las medidas preventivas que establece el Plan de Contingencias de Adif<sup>12</sup>, con objeto de minimizar el impacto de las inclemencias sobre las infraestructuras ferroviarias y sobre la circulación de los trenes. Para el caso de lluvia, Adif tiene identificados tramos de la red calificados como de riesgo medio, medio-alto o alto frente a la intensidad

<sup>12</sup> Adif dispone de un Plan de Contingencias para ordenar y tratar de dar solución a cualquier contingencia que perturbe el tráfico ferroviario. Este Plan incluye, mediante una serie de fichas descriptivas, pautas de actuación en situaciones de (pre)emergencia para cuatro tipos de incidencias asociadas a eventos climáticos: intensidad de lluvia, intensidad de viento, espesor de nieve e incendios.

de lluvia, lo que le permite desencadenar actuaciones preventivas diferenciadas según niveles de alerta y riesgo.

Adif ha incorporado recientemente en sus aplicaciones un módulo de alertas meteorológicas adversas que permite la visualización de forma sencilla de los avisos que genera diariamente la AEMET. Ello ha mejorado sustancialmente el tratamiento de las alertas meteorológicas recibidas, permitiendo una toma más rápida de decisiones y la optimización de movilización de recursos humanos y técnicos necesarios.

Por su parte, Renfe Operadora cuenta desde el año 2011 con la aplicación informática *Borrasca*, desarrollada por una empresa privada, que le permite conocer con antelación la evolución en las próximas horas de las condiciones climatológicas que pueden afectar a la circulación de sus trenes, con el fin de establecer acciones preventivas. Esta aplicación da información adaptada al sistema ferroviario sobre la previsión de nieve, precipitaciones en forma de lluvia, temperaturas extremas, viento (dirección y velocidad), niebla, formación de hielo y rayos. La información puede observarse de forma gráfica, a nivel de toda la península o focalizándose hasta centrarse en un punto concreto.

Cada vez que en un tramo vaya a producirse, en las siguientes 24 horas, una situación meteorológica adversa que supere los umbrales establecidos por Renfe, la aplicación muestra directamente en el mapa una alarma que indica al operador el tipo de alerta, la causa, la hora de inicio y finalización, y el tramo ferroviario que se ve afectado por el fenómeno meteorológico. La aplicación también posee información sobre las alertas generales de la AEMET. Con ello, Renfe puede conocer la evolución e intensidad del fenómeno meteorológico y planificar sus posibles efectos, mejorando de esta forma la programación del material, la planificación de medios alternativos si fuera necesario o la activación de los servicios de emergencia, con la consiguiente reducción de costes y mejora en la atención al cliente. La herramienta está gestionada, desde su implantación, por el Centro Operativo de Control (CECON) y, una vez concluido el proceso de formación, estará a disposición de los Centros de Gestión de las diferentes áreas de actividad afectadas.

#### II.4. SISTEMAS DE ALERTA POR FENÓMENOS MARINOS

Puertos del Estado, en colaboración con la AEMET, ha desarrollado y pone al servicio de las Autoridades Portuarias diversas redes de medida de variables marinas y sistemas de predicción a tres días vista para la toma de decisiones operativas basadas en sistemas de alerta.

Entre las redes de medida, destacan la red de boyas de aguas profundas - formada por 15 estaciones equipadas con boyas oceanográficas complejas que miden parámetros oceanográficos (oleaje, corrientes, temperatura del agua y salinidad) y meteorológicos (viento, temperatura del aire y presión atmosférica) - y la red de mareógrafos (REDMAR) - que consta de 40 estaciones para la monitorización del nivel del mar en tiempo real -.

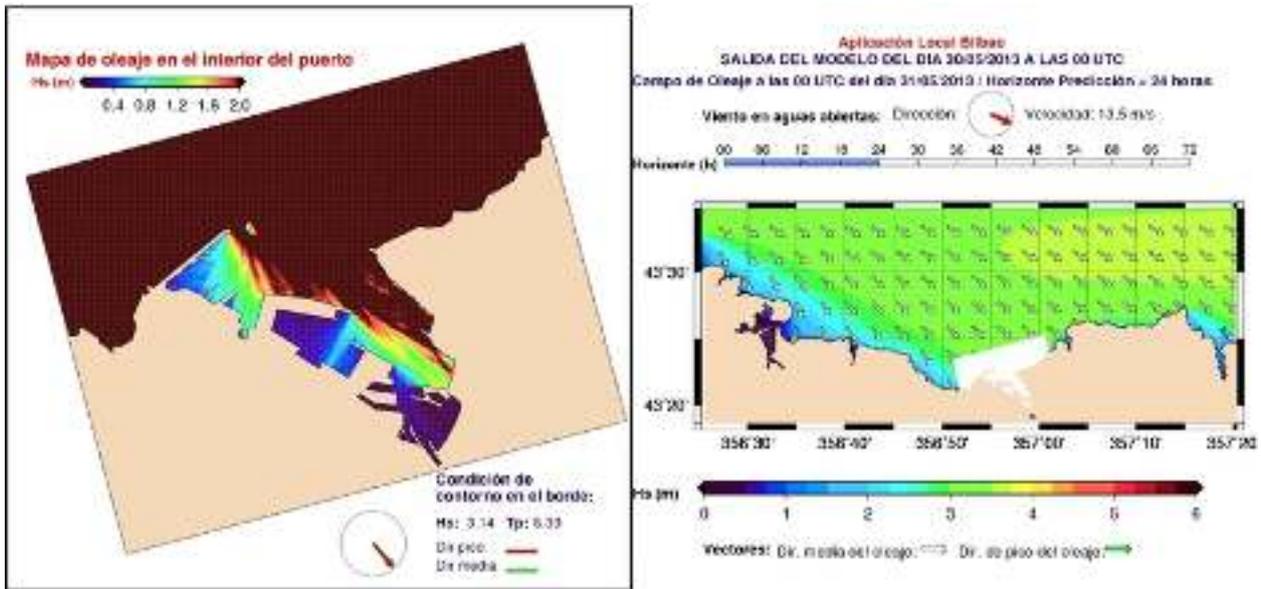
Los sistemas de predicción realizan pronósticos a tres días vista de variables oceanográficas a partir de campos atmosféricos suministrados por la AEMET y datos de las redes de medida. Los sistemas actualmente operativos son el sistema denominado Nivmar o de *Predicción del nivel del mar* - capaz de hacer pronósticos que incluyen el efecto de la atmósfera -, el *Sistema de predicción de oleaje* - que permite conocer cuál será el estado del oleaje en los próximos días e incluye módulos de alta resolución capaces de prever la agitación en el interior de los puertos - y, finalmente, el *Sistema de predicción de corrientes en aguas costeras* - basado en complejos modelos de circulación marina que proporcionan predicciones de corriente en las costas españolas.

El sistema de predicción de oleaje - implantado actualmente en más de la mitad de los puertos peninsulares españoles y en dos tercios de los puertos insulares - proporciona la altura significativa del

oleaje, su dirección media de propagación y su periodo medio y de pico (figura II.2). La predicción cubre una región de unos 600 Km<sup>2</sup> en la zona exterior al puerto; en algunos puertos peninsulares se incluye además un módulo de predicción de la agitación en el interior del puerto.

**Figura II.2**

Predicción del oleaje a 24 horas en el puerto de Bilbao y de la agitación en el interior del puerto



A partir de los datos de las redes de medida y de los sistemas de predicción se generan alertas en tiempo real y para los próximos días, respectivamente. Estas alertas son puestas a disposición de los usuarios finales vía web o por medio de una aplicación para dispositivos móviles IMar utilizando un código de colores con cuatro niveles de riesgo para distintas zonas de la costa española (figura II.3). También existen mecanismos de transmisión personalizados (correo electrónico, SMS) para Autoridades Portuarias que tienen necesidades específicas.

**Figura II.3**

Sistemas gráficos empleados por Puertos del Estado para la comunicación de predicciones y alertas



## II.5. SISTEMAS DE ALERTA EN AEROPUERTOS

De acuerdo con la legislación española, corresponde a la AEMET la función de prestar los servicios meteorológicos de predicción necesarios para contribuir a la seguridad y eficiencia del transporte aéreo.

El servicio de predicción proporcionado por la AEMET para todos los aeropuertos de la red troncal incluye, por una parte:

- *Pronósticos de aeródromo* («TAF»), que proporcionan el comportamiento más probable de diferentes parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, visibilidad, nubosidad, fenómenos meteorológicos y temperatura) sobre el aeródromo durante las próximas 9 ó 24/30 horas.
- *Pronósticos de aterrizaje tipo tendencia* («TREND»), que constituyen un pronóstico de las condiciones de velocidad y dirección del viento, visibilidad, nubosidad y fenómenos meteorológicos en el aterrizaje durante las dos horas siguientes a su emisión.

Los umbrales para la emisión de TAF y TREND – publicados en la AIP (*Aeronautical Information Publication*) de España - son comunes para todos los aeropuertos españoles, salvo para el caso del viento en el aeropuerto de Madrid-Barajas, para el que están particularizados.

El servicio de predicción de la AEMET incluye asimismo, para todos los aeropuertos de la red troncal:

- *Avisos de aeródromo*, que dan información acerca de las condiciones meteorológicas que pueden producirse dentro de las 24 horas siguientes y que pueden tener un efecto adverso en las aeronaves en tierra, inclusive las aeronaves estacionadas, y en las instalaciones y servicios del aeropuerto. Los fenómenos previstos a los que se refieren los avisos de aeródromo incluyen:
  - Velocidad media del viento con racha máxima
  - Viento medio en superficie (dirección y velocidad) con racha máxima
  - Turbonada (viento fuerte que surge de repente y dura en general al menos un minuto)
  - Tormenta
  - Granizo
  - Nieve (incluida acumulación de nieve prevista)
  - Precipitación engelante
  - Escarcha o cencellada blanca
  - Helada
  - Precipitación acumulada en 1 ó 12 horas

Los valores umbrales para la emisión de avisos de aeródromo están disponibles en la AIP-España. Los umbrales que se refieren a rachas máximas de viento y precipitación acumulada en 1 ó 12 horas son específicos para cada aeropuerto. En algunos de ellos, los umbrales de rachas máximas de viento también son distintos según su dirección.

- *Avisos de rayos y avisos de tormentas previstas a muy corto plazo*. Con datos procedentes de su red de detectores de descargas eléctricas, la AEMET genera avisos de rayos observados en las proximidades de cada aeropuerto, fundamentalmente para apoyo a las actividades de repostaje de combustible de las aeronaves. En función de la localización de los rayos detectados en relación con el aeropuerto, se generan cuatro tipos de avisos: prealerta (25 km), alerta (8 km), alerta máxima (5 km) y situación normal (al transcurrir 10 minutos sin nuevos impactos en las áreas anteriores). Se genera además – con apoyo de modelos numéricos de predicción – avisos de los núcleos tormentosos que pueden afectar al aeropuerto en los próximos 20 minutos. Aena Aeropuertos utiliza los avisos de tormenta con aparato eléctrico para activar, en caso necesario, su procedimiento para la suspensión de repostajes de aeronaves.

## II.6. ALERTAS POR RIESGO DE INUNDACIÓN

La Norma Básica de Protección Civil considera el riesgo de inundación como un riesgo objeto de plan especial. Como consecuencia, tanto el Estado como las Comunidades Autónomas deben elaborar un plan de protección civil que establezca la organización y los procedimientos de actuación frente al riesgo de inundaciones.

El *Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones*, de septiembre de 2011, considera todas aquellas inundaciones que representen un riesgo para la población y sus bienes, produzcan daños en infraestructuras básicas o interrumpan servicios esenciales. El Plan Estatal considera tanto inundaciones por precipitación in situ como inundaciones por escorrentía, avenida o desbordamiento de cauces, provocada o potenciada por precipitaciones, deshielo o fusión de nieve, obstrucción de cauces



Parcelaciones junto a la pista del aeropuerto de Córdoba, inundadas por la crecida del río Guadalquivir debido a las fuertes lluvias.

naturales o artificiales, invasión de cauces, aterramientos o dificultad de avenamiento y acción de las mareas. Para permitir la toma anticipada de decisiones a las autoridades del Sistema Nacional de Protección Civil, el Plan dispone que se establezca un sistema de alerta hidrometeorológica a partir de los sistemas de información hidrológica de las administraciones hidráulicas y de los sistemas de predicción meteorológica de la AEMET. A fecha de hoy, los avisos de alerta se emiten de acuerdo con las predicciones meteorológicas de la AEMET, el estado de saturación

del suelo, el seguimiento efectuado de las informaciones de los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH) de los organismos de cuenca, y la situación de llenado y capacidad de regulación de los embalses.

## ANEJO III. RELACIÓN DE PARTICIPANTES

### III.1. GRUPO DE TRABAJO

El Grupo de Trabajo que ha llevado a cabo este análisis ha estado integrado por las siguientes unidades y organismos del Grupo Fomento y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:

#### Grupo Fomento:

- **Dirección General de Carreteras:** Fuencisla Sancho (*Subdirectora General de Estudios y Proyectos*).
- **Dirección General de Ferrocarriles:** Jorge Ballesteros (*Subdirector General de Planificación y Proyectos*).
- **Administrador de Infraestructuras Ferroviarias – ADIF:** Pedro Pérez (*Gerente de Área de Medio Ambiente e Integración Ambiental. Dirección de Actuaciones Complementarias. Dirección General de Explotación y Construcción*), apoyado por María del Amor García (*Técnico de Sostenibilidad del Área de Medio Ambiente e Integración Ambiental*).
- **RENFE Operadora:** Gabriel Castañares (*Técnico de Estudios Ambientales de la Gerencia de Sostenibilidad; Gerencia de Área de Estudios, Innovación y Sostenibilidad*).
- **Puertos del Estado:** Enrique Álvarez (*Jefe del Área de Conocimiento de Medio Físico; Subdirección Medio Físico y Ayudas a la Navegación; Dirección Técnica*).
- **AENA Aeropuertos:** José M<sup>a</sup> Guillamón (*Jefe de la División de Estrategia, Mediación Ambiental y Sistemas de Gestión; Dirección de Planificación y Medio Ambiente*) / Mónica Solbes (*Jefa de la División de Mediación Ambiental; Dirección de Planificación y Medio Ambiente*).
- **Subdirección General de Planificación de Infraestructuras y Transporte** de la Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda: Eduardo Pallardó (*Subdirector General*).
- **División de Prospectiva y Tecnología del Transporte** de la Secretaría General de Transporte: Jesús Merchán (*Coordinador*).
- **Ineco, Ingeniería y Economía del Transporte:** José de Oña (*Director de Negocio Carreteras, Ineco*).
- **Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX:** Alberto Compte (*Director del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas*), apoyado por Fernando Pardo (*Director del Laboratorio de Geotecnia*), Antonio Jiménez (*Director de Estudios y Medio Ambiente del Centro de Estudios Hidrográficos*) y Pablo Díaz (*Jefe del Área de Estudios y Auscultación de Estructuras del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales*).

#### Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:

- **Oficina Española de Cambio Climático:** José Ramón Picatoste (*Jefe del Área de Estrategias de Adaptación; Subdirección General de Coordinación de Acciones frente al Cambio Climático*).
- **Agencia Estatal de Meteorología – AEMET:** Ernesto Rodríguez y M<sup>a</sup> Jesús Casado (*Área de Modelización y Evaluación del Clima*) y Ana Casals (*Área de Predicción Operativa*).
- **Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural:** Elisa Rivera (*Vocal Asesora de la Subdirección General Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial*).

La **Agencia Europea de Medio Ambiente** (EEA en sus siglas en inglés) ha participado en la concepción de esta iniciativa desde su origen y en las discusiones del Grupo de Trabajo, representada por Alfredo Sánchez (*Project Manager Transport*).

## III.2. GRUPOS DE EXPERTOS POR MODOS DE TRANSPORTE

### Grupo de expertos en carreteras

El grupo de carreteras ha sido coordinado por la Subdirección General de Estudios y Proyectos de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, y en él han participado los siguientes expertos:

- M<sup>a</sup> Dolores Sánchez y Elena M<sup>a</sup> López (*Subdirección General de Estudios y Proyectos. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*).
- José de Oña y Elena Puente (*Ineco-Carreteras*).
- Alejandro Mosquera (*Subdirección General de Explotación y Gestión de Red. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*).
- Álvaro Navareño y Guillermo Llopis (*Subdirección General de Conservación. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*).
- Camino Arce (*Subdirección General de Construcción. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*).
- Paola Ramírez (*Unidad de Carreteras de Ávila. Ministerio de Fomento*).
- Juana I. González (*Unidad de Carreteras de Cáceres. Ministerio de Fomento*).
- José I. Cuñado (*Unidad de Carreteras de Madrid. Ministerio de Fomento*).
- José Vidal Corrales (*Unidad de Carreteras de Palencia. Ministerio de Fomento*).
- Carlos Casas (*Unidad de Carreteras de Teruel. Ministerio de Fomento*).
- Javier Payán (*Unidad de Carreteras de Valladolid. Ministerio de Fomento*).
- Juan José Campos (*Dirección General de Infraestructura Viaria. Consejería de Obras Públicas, Transporte y Política Territorial del Gobierno de Canarias*).
- Carmen Velilla (*Dirección General de Infraestructuras. Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía*).

### Grupo de expertos en ferrocarriles

El grupo ferroviario ha sido coordinado por la Subdirección de Medio Ambiente de ADIF y en él han participado los siguientes expertos:

- Pedro Pérez, María del Amor García y Beatriz Quevedo (*Subdirección de Medio Ambiente, ADIF*).
- Fidel Corral y Santiago Rallo (*Dirección de Proyectos y Obras de Alta Velocidad, ADIF*).
- Ana Espín, Javier Movilla, Marta Gómez y María Berlanga (*Dirección de Operaciones e Ingeniería de Red de Alta Velocidad, Dirección General de Explotación y Desarrollo de la Red, ADIF*).
- Luis Esteras (*Dirección de Operaciones e Ingeniería de Red Convencional, Dirección General Explotación y Desarrollo de la Red, ADIF*).
- Francisco José de la Vega (*Dirección de Planificación y Gestión de la Red, Dirección General Explotación y Desarrollo de la Red, ADIF*).
- Alicia Murga y Jorge Pobo (*Dirección de Estaciones de Viajeros, Dirección General Servicios a Clientes y Patrimonio, ADIF*).
- Gabriel Castañares (*Gerencia de Sostenibilidad, RENFE Operadora*).

### Grupo de expertos en puertos

El grupo portuario ha sido coordinado por el Área de Conocimiento de Medio Físico de Puertos del Estado y en él han participado los siguientes expertos:

- Enrique Álvarez, Roland Aznar, Marta Gómez, Susana Pérez, Begoña Pérez, Gonzalo Gómez y Ana Lope (*Puertos del Estado*).
- Jordi Vila (*Autoridad Portuaria de Barcelona*).
- J.M. Basora (*Autoridad Portuaria de Tarragona*).
- Fernando Berenguer (*Autoridad Portuaria de Baleares*).
- I. Pascual (*Autoridad Portuaria de Valencia*).
- José María Gómez (*Autoridad Portuaria de Cartagena*).
- Juan Manuel Paramio (*Autoridad Portuaria de Melilla*).
- Damià Gomis, Marta Marcos y Gabriel Jordà (*Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, IMEDEA*).

### Grupo de expertos en aeropuertos

El grupo aeroportuario ha sido coordinado por la Dirección de Planificación y Medio Ambiente de Aena Aeropuertos y en él han participado los siguientes expertos:

- Eduardo Milanés (*División de Mediación Ambiental. Dirección de Planificación y Medio Ambiente. Aena Aeropuertos*).
- Carlos Cadenas (*Dirección de Consultoría y Medio Ambiente. Ineco*).
- Sergio Alonso (*Departamento de Análisis y Control de la División de Operaciones. Dirección de Operaciones, Seguridad y Servicios. Aena Aeropuertos*).
- Julio Antoñanzas (*División de Sistemas Eléctricos. Dirección de Construcción, Instalaciones y Energía. Dirección de Infraestructuras y Tecnología. Aena Aeropuertos*).