Evaluación de riesgos e impactos derivados del cambio climático en España (ERICC-2025)

MOVILIDAD Y TRANSPORTE

(VERSIÓN NO EDITADA)

VERSIÓN NO EDITADA

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título:

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)
Edición 2025

Asistencia técnica:

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)
Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)
Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación:

OECC: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián
FB: Ana Lancho Lucini
IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara
Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro
BC3: María José Sanz

Edición y maquetación:
Grupo Tangente

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad

Autor/Autores del capítulo:

Autora: María Ayelén Calvet

Contribuyentes: Jorge Paz Jiménez, María Puig Fuentenebro

Agradecimientos: Elena Curto Alonso, Marta Gutiérrez González, Cristina Oter García, Oihana Jauregui Zorzano

VERSIÓN NO EDITADA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 000-00-0000-000-0

ISBN: 000-00-0000-000-0

AVISO LEGAL: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este informe debe citarse de la siguiente manera:
Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. et al. 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

CONTENIDO

1 Aspectos metodológicos y contenido del capítulo 4
2 Introducción....5
3 Riesgos relevantes del sector de la movilidad y el transporte....7
4 Riesgos clave del sector de la movilidad y el transporte 16
4.1 RC10.1: Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos..... 16
4.2 RC10.2: Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos 22
4.3 RC10.3. Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos .. 29
4.4 RC10.4. Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos..... 34
5 Análisis de riesgos complejos 41
6 Caso de estudio....44
7 Limitaciones y particularidades metodológicas del sector 48
8 Referencias....50

VERSIÓN NO EDITADA

1 ASPECTOS METODOLÓGICOS Y CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Movilidad y transporte** de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p.ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. **Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

VERSIÓN NO EDITADA

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2 INTRODUCCIÓN

La movilidad y el transporte de nuestro país, conformados por múltiples tipos de transporte, se verán afectados por una multiplicidad de peligros climáticos en el corto, medio y largo plazo. Para 2050, deberán contribuir a una economía baja en carbono y tendrán que incrementar su adaptación al cambio climático y su resiliencia para hacer frente a los riesgos derivados del cambio climático.

El transporte está estrechamente vinculado a múltiples sectores, muchos de los cuales dependen de él para operar. Entre ellos se encuentran la industria, la salud (tanto para el suministro de insumos como para el traslado de pacientes a los centros médicos), el turismo y el sector alimentario (ya sea para el transporte de alimentos o de insumos en la producción agropecuaria). Además, en algunos territorios insulares, ciertos medios de transporte son esenciales para su conectividad. Según Zittis et al., (2023), las Islas Canarias podrían enfrentar un riesgo medio de aislamiento en el medio plazo. Asimismo, en Ceuta y Melilla, los fuertes temporales de viento han ocasionado en repetidas ocasiones el cierre de sus puertos en las últimas décadas.

Los impactos del cambio climático han tenido efectos importantes en el transporte y representan actualmente una amenaza para éste. A nivel local, el Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa (Naturklima, 2020) recoge afecciones históricas en Gipuzkoa a la circulación viaria por nevadas, heladas, desprendimientos, inundaciones (costeras, fluviales y pluviales) y vientos extremos. En el ámbito global, también se han registrado efectos sobre la circulación internacional de bienes. Por ejemplo, en 2023, la sequía en Panamá afectó a los flujos comerciales y al tráfico portuario en España (Serkan Arslanalp et al., 2023).

Según los escenarios de cambio climático los eventos extremos como vientos fuertes y lluvias torrenciales podrían volverse más frecuentes en el futuro (CEDEX, 2021; UCMG, 2018), generando daños e interrumpiendo el transporte al causar retrasos, cancelaciones y condiciones peligrosas en carreteras, aeropuertos y vías ferroviarias. Dado el papel clave del sector transporte en la conectividad y el funcionamiento de otros sectores, cualquier interrupción o deficiencia en su operación puede desencadenar una serie de impactos en cascada.

Se prevé que el riesgo de deslizamientos de tierras aumente en las regiones europeas expuestas a precipitaciones extremas (EEA, 2024) lo que podría afectar a las vías de comunicación. Además, en España, un análisis sobre el factor de torrencialidad (CEDEX, 2021) indica un incremento de este fenómeno a corto plazo (2011-2040), lo que agravaría tanto las inundaciones fluviales como las pluviales. Según Van Ginkel et al., (2021) hasta un 16 % de las carreteras españolas podrían verse afectadas por inundaciones fluviales. Por otro lado, las temperaturas extremas y las inundaciones tendrán un impacto significativo en las infraestructuras de transporte, así como en las redes energéticas y la industria, siendo los países del sur y sudeste de Europa los más vulnerables. De hecho, se estima que las olas de calor podrían causar hasta el 92 % de los daños en carreteras para la década de 2080, por afecciones al asfalto y otros materiales (Climate-KIC, 2018).

VERSIÓN NO EDITADA

Estos eventos extremos han generado ya pérdidas y daños de gran magnitud. Un ejemplo reciente es la inversión excepcional de 184,6 millones de euros destinada por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible a la reparación y reconstrucción de las infraestructuras ferroviarias en Valencia afectadas por la dana de octubre de 2024 (La Moncloa, 2024).

Más allá de los casos puntuales, el sector del transporte desempeña un papel clave en la economía nacional, por lo que su afectación podría tener repercusiones económicas aún mayores. En 2021, el PIB del transporte terrestre (carretera, ferrocarril y tubería[3]) representó un 3,9 % del PIB total, mientras que la actividad del sistema portuario estatal aportó cerca del 20 % del PIB del sector del transporte (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenibles, Puertos del Estado, s. f.).

Teniendo en cuenta todo ello, el presente capítulo elabora el diagnóstico de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el sector de la movilidad y el transporte de nuestro país. Para realizarlo se han incluido en este capítulo riesgos relevantes de subsectores (denominados subelementos) específicos: transporte marítimo, transporte por carretera, transporte aéreo y ferroviario.

VERSIÓN NO EDITADA

[3] El PIB del transporte por carretera en España incluye las tuberías (como oleoductos y gasoductos) en las estadísticas oficiales.

3 RIESGOS RELEVANTES DEL SECTOR DE LA MOVILIDAD Y EL TRANSPORTE

Los riesgos relevantes para el sector de la movilidad y el transporte son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a perjudicar la operatividad, la infraestructura, las cadenas de suministro por interrupciones, las comunidades que dependen de él, así como la sostenibilidad de este. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad que caracterizan el sector, y pueden cambiar a lo largo del tiempo y en el espacio como resultado de cambios socioeconómicos y decisiones humanas (Reisinger et al., 2020).

De acuerdo con la literatura científica, el sector se encuentra expuesto a una alta diversidad de **peligros climáticos**, entre los que destacan: el aumento del nivel del mar (URBAN KLIMA, 2050), las inundaciones fluviales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.), las inundaciones pluviales (IHOBE, 2022a), las inundaciones costeras (Verschuur et al., 2023), el incremento de altura de oleaje (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016), los temporales de viento (UCMG, 2018), los vientos ciclónicos (Verschuur et al., 2023), las fuertes nevadas (Adif, 2018), las lluvias intensas (CEDEX, 2018), las temperaturas elevadas (CEDEX, 2018), las olas de calor (Forzieri et al., 2018) y los incendios (Adif, 2018).

Cabe destacar en este punto que, si bien los diferentes peligros tienen diferentes impactos en función de la ubicación en el territorio, en el caso de las heladas y nevadas, aunque tienen el potencial de producir un impacto sobre el sector, no son tan relevantes puesto que tenderán a reducirse a lo largo del siglo como consecuencia del aumento de las temperaturas (AEMET, 2017; EEA, 2024). Además, los peligros mencionados tienen diferente efecto en función del tipo de transporte que se analice. Es por este motivo que se ha dividido el análisis del sector en cuatro subelementos de exposición, en cada uno de los cuales se identifican los diferentes riesgos que les afectan:

- **Transporte marítimo:** su análisis incluye tanto los riesgos que afectan directamente a las infraestructuras de los puertos, como aquellos que producen impactos sobre los procesos del transporte marítimo, tales como la interrupción o suspensión del tránsito de pasajeros entre las islas y la Península, así como el de mercancías a lo largo de las rutas comerciales y del abastecimiento de las cadenas de suministro.
- **Transporte por carretera:** se describen aquí tanto los riesgos que impactan directamente en las infraestructuras (carreteras, autopistas, puentes, túneles, etc.) como aquellos que interrumpen o paralizan el transporte por carretera, afectando los servicios provistos por el sector, como la cadena de valor (logística) o la circulación de personas y mercancías.
- **Transporte ferroviario:** se incluyen tanto los riesgos que afectan directamente a los componentes de la infraestructura ferroviaria (plataforma, terraplenes, taludes, desmontes, estructuras como puentes, viaductos, túneles, obras de drenaje, etc., vías ferroviarias, línea aérea de contacto, sistemas de comunicación y señalización, estaciones, terminales logísticas) como los que perjudican a los procesos que se ven alterados por las incidencias del transporte ferroviario, como son la circulación de bienes y personas y las cadenas de suministro. Además, se ha incluido un riesgo de incremento de los costes asociados a la refrigeración debido a un aumento de las temperaturas.
- **Transporte aéreo[4]:** el análisis incluye tanto los riesgos que afectan directamente a las infraestructuras, como los que producen afectaciones en la operatividad del servicio y pérdidas económicas, por ejemplo, por la variación de la capacidad del avión y de la longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas.

[4] No han sido considerados los efectos del cambio climático en vuelos.

La Figura 1 incluida a continuación presenta diferentes dimensiones o planteamientos desde los que es posible abordar la clasificación de las actividades de transporte. Además de su clasificación en función de las tipologías de transporte mencionadas anteriormente (aéreo, ferroviario, viario y marítimo), el sistema de transporte puede segregarse según otros criterios. Por ejemplo, sería posible diferenciar entre las actividades y medios destinados al transporte de pasajeros y los destinados al transporte de mercancías, o en función del ámbito de la movilidad (diferenciando transporte interurbano frente a urbano). No obstante, tras el análisis realizado se ha apreciado que la manera más conveniente para analizar y exponer los riesgos es empleando las 4 tipologías anteriormente comentadas, ya que muchos de los riesgos afectan de manera claramente diferencial a las infraestructuras implicadas (es decir, a los puertos, aeropuertos, carreteras o ferrocarriles) o son relativamente similares para los diferentes medios agrupados en cada categoría (por ejemplo, los riesgos climáticos para diferentes categorías de vehículos de carretera tienen muchos aspectos en común).

Desde una visión global de la movilidad, los desplazamientos peatonales y no motorizados quedan parcialmente fuera de la clasificación empleada, pero los riesgos se asemejan en gran medida a los de "carreteras urbanas" y son abordados en otros sectores (p. ej. Ciudad, urbanismo y edificación). Otro aspecto que la clasificación parece obviar es el fenómeno de la movilidad multimodal, muy importante en áreas metropolitanas. No obstante, el análisis de cada tipología de transporte de manera individualizada sienta las bases para evaluar el impacto sobre el conjunto de la movilidad.

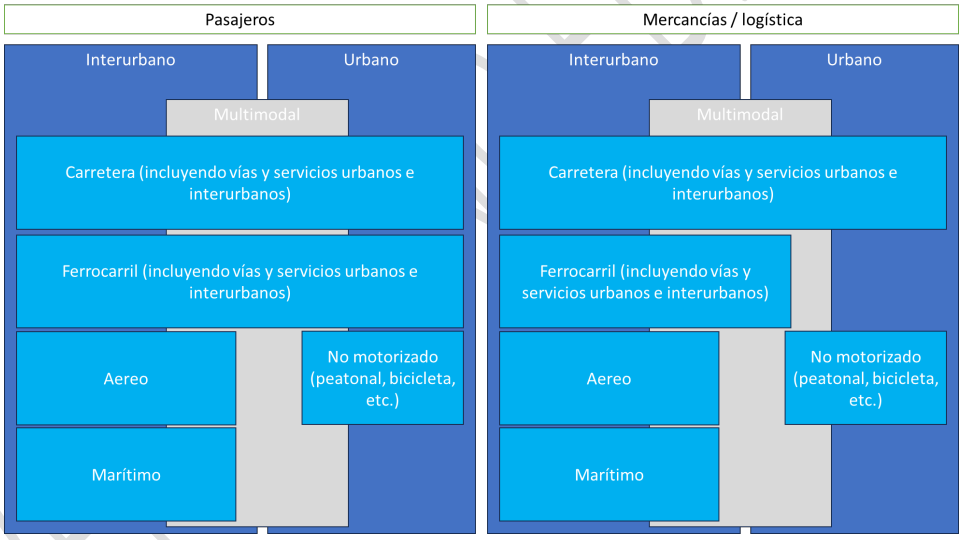


Figura 1. Posibles clasificaciones de la movilidad en España.

De este modo, la **exposición** del transporte marítimo, ferroviario, por carretera y aéreo está determinada por la ubicación de su infraestructura. Las infraestructuras de transporte por carretera y ferrocarril están distribuidas por todo el territorio. En contraste, el transporte marítimo incluye tanto las zonas costeras como las rutas marítimas, mientras que el transporte aéreo cuenta con instalaciones en localidades específicas.

En cada tipo de transporte, la unidad expuesta corresponde ya sea a la **infraestructura** —entendida como los vehículos, las vías por las que estos circulan (en los casos de transporte ferroviario y por carretera) y las estaciones operativas— o bien a la **operatividad**, es decir, al funcionamiento del servicio. Además, todos los riesgos afectan de manera directa a las comunidades, por lo que éstas también forman parte de la exposición.

En cuanto a su **vulnerabilidad**, si se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación definida por (Eklund et al., 2023), se observa que dicha componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica** se refiere a la susceptibilidad de las infraestructuras a verse afectadas debido a su ubicación, estado físico y/o condiciones de mantenimiento. Factores como la antigüedad de las instalaciones, la frecuencia del mantenimiento y las características del diseño influyen en su vulnerabilidad. Además, aspectos como la predominancia de un tipo de transporte, que genera dependencia (dada la falta de diversificación) en el flujo de mercancías, o la condición insular, que supone la no conectividad terrestre con la Península, también pueden condicionar la vulnerabilidad del transporte frente a un riesgo determinado.
- La segunda dimensión describe la situación **económica** de la actividad y vendría caracterizada por la importancia del sector de Movilidad y transporte en la economía del país, así como también por las diferentes capacidades financieras de determinados actores. El sector tiene una participación alta en el PIB (Observatorio del transporte y la logística en España, 2025) por lo que su afectación por consecuencias del cambio climático podría tener importantes repercusiones económicas. Paralelamente, las limitadas capacidades económicas de los agentes afectados (especialmente en el transporte por carretera, más atomizado y operado por agentes de muy diversa naturaleza y capacidades) podría hacer más difícil afrontar los costes derivados de daños en la infraestructura.
- La siguiente componente, relativa a la vulnerabilidad **social**, explica los factores o condiciones sociales que pueden aumentar los riesgos del sector; por ejemplo, la dependencia de las personas a un determinado tipo de medio de transporte, o a rutas específicas, podría incrementar la demanda y repercutir en la intensidad del riesgo. Los eventos extremos como las olas de calor también afectan a las personas que trabajan en el sector (especialmente en el transporte por carretera) (Sancho, 2024). Asimismo, esta dimensión abarca la relación de dependencia con las infraestructuras de transporte utilizadas en la logística para la respuesta a emergencias. En otras palabras, la respuesta ante emergencias depende en gran medida del transporte, ya que este permite movilizar insumos, evacuar personas y trasladarlas a hospitales o centros de evacuación. Por lo tanto, la interrupción del transporte podría dificultar significativamente la logística asociada a la gestión del desastre.
- La vulnerabilidad **ambiental** representa la cuarta dimensión y se refiere a la existencia de aspectos en el ambiente circundante que puedan implicar la amplificación del riesgo para un peligro en particular. Por ejemplo, en el caso de transportes terrestres, la presencia de vegetación altamente inflamable podría hacer que se propaguen más fácilmente los incendios.
- La dimensión final, relacionada con la **gobernanza**, abarca tanto la habilidad como la iniciativa para implementar estrategias y planes de adaptación destinados a mitigar o prevenir el riesgo climático.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. De acuerdo con el grupo de trabajo Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), creado por el Consejo de Estabilidad Financiera (FSB), existe una serie de riesgos derivados de la transición que impactan sobre el sector (TCFD, 2020). Los riesgos de transición hacen referencia a las cargas asociadas con la preparación de las sociedades y sus economías para el desafío que supone la transición hacia la descarbonización de las economías y se pueden clasificar en estos subtipos:

- **Riesgos tecnológicos:** se corresponden con los riesgos que pueden derivarse de las mejoras o innovaciones tecnológicas. El despliegue de este tipo de tecnologías puede requerir la actualización y reemplazo de las tecnologías antiguas, generando costes significativos para el sector.
- **Riesgos de mercado:** hacen referencia a los cambios en la oferta y la demanda de determinados servicios a medida que los riesgos climáticos tienen lugar y surgen nuevas oportunidades. Por ejemplo, a medida que los consumidores son más conscientes del cambio climático, buscan otros

VERSIÓN NO EDITADA

medios de transporte más sostenibles y, como consecuencia, las empresas que no se adapten a este cambio de tendencia puedan perder ventas frente a otros competidores.

- **Riesgos reputacionales:** están relacionados con la percepción de los usuarios respecto a la contribución de una empresa de transporte a la transición. Esta creciente conciencia por parte de los consumidores puede dar lugar a la pérdida de clientes y al deterioro de la imagen de las empresas de transporte.
- **Riesgos políticos**: están asociados a los cambios en las políticas y regulaciones, así como a cambios en los subsidios o incentivos, que promueven prácticas que contribuyen tanto a la mitigación como a la adaptación climática. Por ejemplo, la regulación de aspectos que fomentan la eficiencia energética puede suponer la necesidad de acometer inversiones, así como plazos para ajustarse a la nueva normativa.

Además, existen otro tipo de riesgos subyacentes derivados de **eventos disruptivos,** también denominados "cisne negro", que son sucesos completamente imprevistos (p.ej. guerras, pandemias y eventos climáticos inesperados por su magnitud, fuera de las expectativas habituales, y cuyo impacto tiene una gran repercusión socioeconómica y ambiental). Un ejemplo es la devastación del Parque Natural de L'Albufera como consecuencia de la dana de Valencia provocado (entre otras causas) por la acumulación de los vehículos que fueron arrastrados por las aguas torrenciales (Greenpeace, 2024).

Sin embargo, cabe destacar que en este ámbito sectorial puede haber otros factores de riesgo subyacentes no derivados de la transición, como, por ejemplo, aquellos riesgos derivados de las políticas de ordenación territorial, que podrían no permitir o ralentizar acciones de adaptación en la movilidad y el transporte.

La Figura 2 representa de forma esquemática todas las componentes previamente descritas: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector ante dichos peligros, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

VERSIÓN NO EDITADA

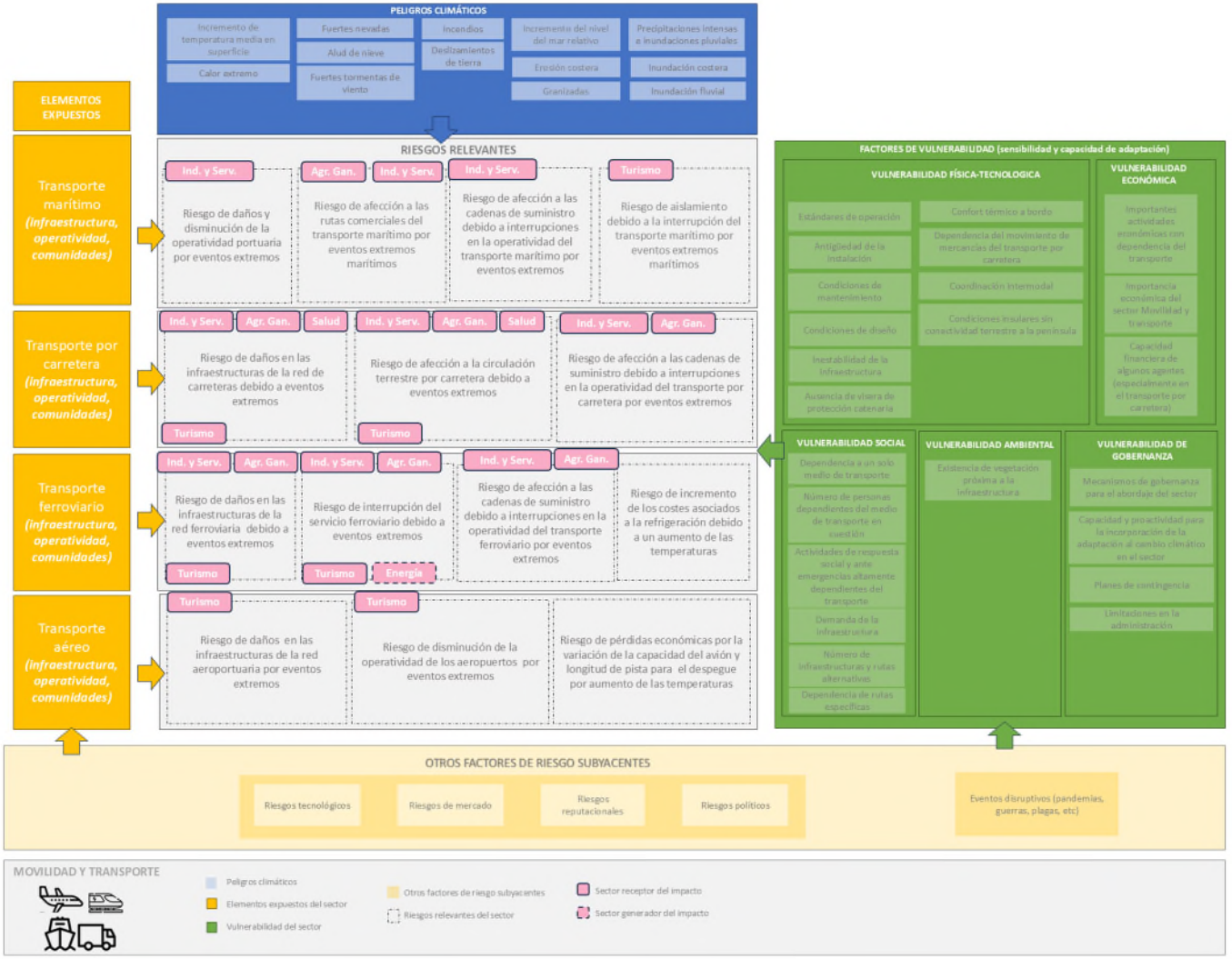


Figura 2. Modelo conceptual elaborado para el sector de la movilidad y el transporte. Fuente: basado en (UNDRR, 2022)

Los riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación:

- Riesgos relevantes relativos al transporte marítimo

Dentro de este tipo de transporte, el primer riesgo identificado ha sido mencionado en el informe de *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España* (Sanz & Galán, 2020) y en el análisis de Puertos del Estado, (2016). Se trata del **riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos,** incluyendo entre estos, vientos fuertes, incrementos en la altura de oleajes, tormentas severas, precipitaciones extremas y otros peligros menos frecuentes como niebla densa, corrientes marinas intensas o calor extremo (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016; Puertos del Estado, 2016; UCMG, 2018). El riesgo incluye la afectación a la integridad física de los puertos con la consecuente interrupción de las operaciones desarrolladas en ellos, así como de las infraestructuras de protección. Más específicamente, se refiere a la posibilidad de que los peligros mencionados generen daños en la infraestructura portuaria (muelles, grúas, almacenes, vías de acceso) y afecten el funcionamiento de las operaciones marítimas. Esto puede traducirse en retrasos, interrupciones en la carga y descarga de mercancías, o incluso el cierre temporal del puerto, impactando el comercio y la logística.

En segundo lugar, ha sido documentado en la bibliografía, por parte de la revista internacional de comercio (International Trade Magazine, 2023), el **riesgo de afección a las rutas comerciales del transporte marítimo por eventos extremos marítimos,** el cual incluye los impactos que representan fenómenos climáticos severos, como huracanes, tormentas o fuertes oleajes, para la seguridad y viabilidad de las rutas marítimas utilizadas en el comercio global. Este riesgo es de suma importancia ya que, por una parte, el 90 % de las importaciones y el 60 % de las exportaciones en España se realizan por vía marítima, y 459 millones de toneladas anuales de mercancías entran y salen por los puertos de España. Por otra parte, existe una relación con la seguridad del suministro energético, ya que existe una dependencia energética del exterior que, con datos de 2022, se sitúa en el 70 %, y prácticamente todo el petróleo y gas natural que recibe nuestro país lo hace por vía marítima (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2024). Los eventos extremos, entonces, pueden causar desvíos, retrasos, interrupciones en la navegación o incluso la suspensión temporal del tráfico marítimo, afectando la eficiencia del transporte de bienes y generando impactos económicos en la cadena de suministro.

El tercer riesgo identificado en el transporte marítimo ha sido el **riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte marítimo por eventos extremos** (United Nations, 2024). Este riesgo se enfoca en un impacto específico de la interrupción del transporte que afecta a la cadena de suministros, lo cual puede generar desabastecimiento, aumento de costos logísticos y demoras en la producción y distribución de productos, perjudicando tanto a empresas como a consumidores.

Por último, se ha definido por Zittis et al. (2023) el **riesgo de aislamiento debido a la interrupción del transporte marítimo por eventos extremos marítimos,** que en el presente estudio se ha identificado como riesgo relevante. Este riesgo es fundamentalmente aplicable a Canarias y Baleares y se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como huracanes, tormentas o marejadas impidan la conexión marítima de ciertas regiones o islas con otros territorios. Esta interrupción puede dificultar el abastecimiento de bienes esenciales, limitar la movilidad de personas y restringir el acceso a recursos críticos, afectando la economía, la seguridad y el bienestar de las poblaciones dependientes del transporte marítimo.

- Riesgos relevantes relativos al transporte por carretera

El primer riesgo de este tipo de transporte fue identificado por el CEDEX (2018) y es el **riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos**, el cual se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como inundaciones costeras, fluviales o pluviales, deslizamientos de

VERSIÓN NO EDITADA

tierra, olas de calor, tormentas o incendios, causen deterioro o destrucción de la integridad física de carreteras, puentes y túneles. De hecho, actualmente ya se han visto materializados los impactos de este riesgo: más del 20% de la red de carreteras de España ha experimentado ya daños por erosión en taludes, deslizamiento de laderas y caída de materiales como consecuencia de lluvias intensas; en torno al 4% de la red de carreteras ha sufrido daños en los firmes (surcos, aparición de roderas, deformaciones, fisuras, baches, exudación, ablandamiento) como consecuencia de temperaturas elevadas; y más del 7% de los puentes de la red de carreteras se ha visto afectado (erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención) debido a avenidas extraordinarias (CEDEX, 2018). Estos daños pueden provocar cortes en las vías de comunicación que afecten la movilidad y el acceso a diferentes regiones, generando alteraciones en la circulación terrestre y en las cadenas de suministro. Por lo tanto, a partir de este riesgo, podrían derivarse dos riesgos en cascada que se describen a continuación.

En primer lugar, el **riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos** (CEDEX, 2018; Naturklima, 2020; Sanz & Galán, 2020) que hace referencia a la alteración o interrupción del tránsito vehicular debido a condiciones climáticas adversas, fenómeno que se ha dado en España en múltiples ocasiones (Huffpost, 2025a). Estas condiciones pueden dificultar la movilidad, aumentar el riesgo de accidentes, generar retrasos en el transporte de personas y mercancías, e incrementar las pérdidas y daños a las empresas del sector de transporte y logística. De hecho, solo debido al temporal de la dana en Valencia, el 50% de estas empresas ha sufrido daños y se estima que las pérdidas en el transporte pesado han sido de 110.000 euros por cabeza tractora (Castellón al día, 2024).

En segundo lugar, el **riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte por carretera por eventos extremos** (CEDEX, 2018) se relaciona con la posible interrupción del flujo de bienes y materias primas como consecuencia de los daños en las infraestructuras viales y las dificultades en la circulación terrestre. Esto puede provocar desabastecimiento, incremento en los costos logísticos y retrasos en la entrega de productos esenciales para la industria y el comercio.

- Riesgos relevantes relativos al transporte ferroviario

El **riesgo de daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos** se encuentra documentado en numerosas fuentes de información como Adif, (2018); CEDEX, (2018); Sanz & Galán, (2020). El mismo se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como inundaciones, tormentas u olas de calor, deterioren o destruyan componentes de la infraestructura ferroviaria como vías, puentes, túneles y estaciones. De hecho, más del 40% de la red se ha visto ya afectada por deslizamientos, inundaciones fluviales o precipitaciones torrenciales (CEDEX, 2018). Los daños generados por estos fenómenos pueden comprometer la seguridad del transporte ferroviario, generar retrasos y aumentar los costos de mantenimiento y reparación.

En este sentido, este riesgo desencadena dos nuevos riesgos: el **riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos** (CEDEX, 2018) y el **riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte ferroviario por eventos extremos**. El primero hace referencia a la suspensión o alteración del funcionamiento del transporte ferroviario a causa de eventos climáticos extremos, como inundaciones, vientos fuertes o temperaturas extremas, situaciones que pueden afectar la movilidad de pasajeros y mercancías, generando retrasos y pérdidas económicas. Los diferentes peligros han provocado ya sucesos en los que un gran número de personas no han podido utilizar convenientemente este tipo de transporte, quedando aisladas o necesitando buscar vías alternativas, si existen, con lo que ello puede suponer en cuanto al incremento en el tiempo de los desplazamientos.

El segundo riesgo derivado se relaciona específicamente con la posibilidad de que la suspensión o disminución del servicio ferroviario afecte el flujo de bienes y materias primas. Esto puede provocar

VERSIÓN NO EDITADA

retrasos en la entrega de productos, escasez de suministros esenciales y un aumento en los costos logísticos, impactando a sectores industriales y comerciales que dependen del transporte ferroviario. Así, la principal repercusión es en el sector de la industria, que cuenta con más de 2,3 millones de empleados (Ministerio de Industria y Turismo, 2022) así como en la ciudadanía en general, dado que puede verse afectado el acceso de las personas a bienes o servicios, o provocar un incremento de sus costes.

Por último, se ha identificado el **riesgo de mayores necesidades de refrigeración debido a un aumento de las temperaturas** (Adif, 2023a) el cual se refiere al aumento del gasto energético y operativo necesario para mantener la climatización de estaciones, terminales logísticas y coches de viajeros. Este riesgo se ha seleccionado dada la importancia de la climatización en el consumo energético: en verano, este presenta un incremento medio del 7% por cada grado centígrado que aumenta la temperatura media (Castañares, 2018), y se prevé que la temperatura aumente en el corto plazo hasta 2ºC (AdapteCCa, s. f.).

- **Riesgos relevantes relativos al transporte aéreo**

El primer riesgo relevante del transporte aéreo es el **riesgo de daños en las infraestructuras de la red aeroportuaria por eventos extremos** (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018; IHOBE, 2022b; Naturklima, 2021; Sanz & Galán, 2020). Se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como huracanes, tormentas, inundaciones costeras o fluviales, afecten la infraestructura aeroportuaria, incluyendo pistas, terminales, torres de control y sistemas de navegación. Estos daños pueden comprometer la seguridad de las operaciones aéreas y generar costos elevados de reparación y mantenimiento. Sin embargo, la mayoría de las incidencias registradas hasta el momento se traducen en un retraso del servicio (CEDEX, 2013).

Un segundo riesgo identificado en este tipo de transporte es el **riesgo de disminución de la operatividad de los aeropuertos por eventos extremos** (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018; IHOBE, 2022b; Naturklima, 2021; Sanz & Galán, 2020), que hace referencia a la reducción o interrupción de las operaciones aeroportuarias debido a condiciones climáticas adversas. Las consecuencias más comunes son retrasos, cancelaciones de vuelos y congestión del tráfico aéreo, afectando la movilidad de pasajeros y mercancías.

Por último, se ha identificado el **riesgo de pérdidas económicas por la variación de la capacidad del avión y longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas** (CEDEX, 2011). Si bien este riesgo se encuentra mencionado en la bibliografía, se cuenta con escasa información al respecto. El mismo se refiere al impacto financiero derivado de la reducción de la capacidad de carga y pasajeros de los aviones debido a temperaturas más altas, que disminuyen la densidad del aire y reducen la sustentación. Esto obliga además a aumentar la longitud de pista necesaria para el despegue, lo que puede limitar la operatividad en aeropuertos con pistas cortas y generar costos adicionales por ajustes en las operaciones. Si bien las infraestructuras de la red aeroportuaria se encuentran distribuidas a lo largo de todo el territorio español y todas ellas son susceptibles de verse afectadas por el aumento de las temperaturas, los territorios más vulnerables pueden ser aquellos donde se prevé un incremento mayor de la temperatura, como por ejemplo Andalucía, Extremadura y Murcia (Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa).

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector de la movilidad y el transporte.

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR10.1	Transporte marítimo	Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos	RC10.1

VERSIÓN NO EDITADA

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR10.2	Transporte marítimo	Riesgo de afección a las rutas comerciales del transporte marítimo por eventos extremos marítimos	-
RR10.3	Transporte marítimo	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte marítimo por eventos extremos	-
RR10.4	Transporte marítimo	Riesgo de aislamiento debido a la interrupción del transporte marítimo por eventos extremos marítimos	-
RR10.5	Transporte por carretera	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos	RC10.2
RR10.6	Transporte por carretera	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos	RC10.3
RR10.7	Transporte por carretera	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte por carretera por eventos extremos	-
RR10.8	Transporte ferroviario	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos	-
RR10.9	Transporte ferroviario	Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos	RC10.4
RR10.10	Transporte ferroviario	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte ferroviario por eventos extremos	-
RR10.11	Transporte ferroviario	Riesgo de mayores necesidades de refrigeración debido a un aumento de las temperaturas	-
RR10.12	Transporte aéreo	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red aeroportuaria por eventos extremos	-
RR10.13	Transporte aéreo	Riesgo de disminución de la operatividad de los aeropuertos por eventos extremos	-
RR10.14	Transporte aéreo	Riesgo de pérdidas económicas por la variación de la capacidad del avión y longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas	-

VERSIÓN NO EDITADA

4 RIESGOS CLAVE DEL SECTOR DE LA MOVILIDAD Y EL TRANSPORTE

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que se traducen en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector de la movilidad y el transporte, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC, (2022), y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa EEA (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de la movilidad y el transporte, y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante, pueden consultarse en detalle en el Anexo AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos, que son, por tanto, catalogados como "Riesgos Clave" y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR10.1 Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos (RC10.1)
- RR10.5 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos (RC10.2)
- RR10.6 Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (RC10.3)
- RR10.9 Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos (RC10.4)

A continuación, se describe en profundidad cada uno ellos.

4.1 RC10.1: Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos

El primer riesgo clave priorizado se corresponde con el riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos. Este riesgo, reconocido por Sanz & Galán (2020) y por Puertos del Estado (2016) incluye tanto la afectación a la integridad física de los puertos como la consecuente interrupción de las operaciones desarrolladas en ellos.

La Figura 3 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando tanto las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

VERSIÓN NO EDITADA

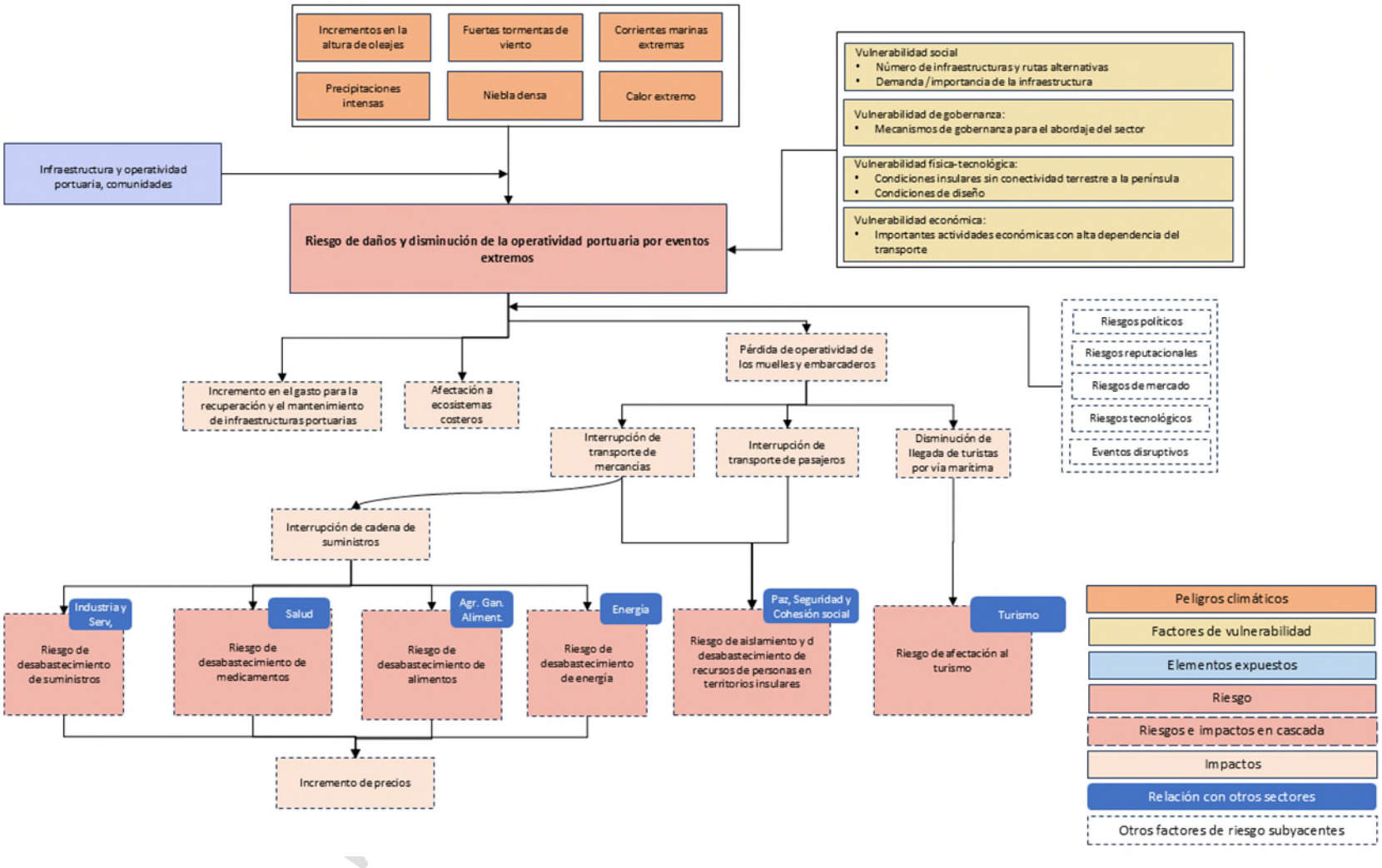


Figura 3. Cadena de impacto del riesgo clave "Daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos".

Los impactos del cambio climático en los puertos españoles han sido muy documentados (Generalitat de Catalunya, 2021; Puertos del Estado, 2016; URBAN KLIMA, 2050). Entre ellos, se ha identificado que los efectos adversos del cambio climático pueden afectar la operatividad de los puertos (Jebbad et al., 2022) aumentando así la necesidad de asignación de recursos y de reparación y mantenimiento (Fernandez-Perez et al., 2024). En España se ha registrado una disminución de la operatividad en algunos puertos españoles como Puerto de Melilla, Ferrol, Huelva, Vigo, Bilbao, Cartagena, Cádiz, Málaga, Ceuta, Barcelona, entre otros, en los últimos años (Puertos del Estado, 2016).

Entre las principales afectaciones se han identificado la pérdida de funcionalidad de los muelles y embarcaderos, daños a pantalanes, aterramiento, agitación portuaria, afectación a la estabilidad de las obras de abrigo y rebase por oleaje (Puertos del Estado, 2016), que se dan fundamentalmente debido a eventos extremos (Izaguirre et al., 2021), incluyendo entre éstos inundaciones fluviales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.). Sin embargo, el viento y el oleaje fueron identificados como las variables relacionadas con el clima que más inciden en la operatividad de los puertos (Puertos del Estado, 2016). Para el caso concreto del viento, no se prevé que su velocidad aumente a corto plazo y, para el caso del oleaje, se prevé que la altura significante se incremente en el Cantábrico y disminuya en el Mediterráneo y Canarias (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023a).

Las consecuencias adversas pueden afectar a centenares de miles de personas de forma directa o indirecta. El riesgo de daños y disminución de la operatividad afectaría de forma directa tanto al personal trabajador como a las empresas logísticas, operadores, planificadores portuarios, entre otros. Del mismo modo, afectaría a la población en general, ya que el transporte marítimo se podría ver afectado, condicionando tanto el transporte de mercancías como el de pasajeros. Según Puertos del Estado, la actividad del sistema portuario genera un empleo directo de unos 100.000 puestos de trabajo y de unos 175.000 de forma indirecta e inducida.

Sin embargo, hay población con mayor dependencia del funcionamiento de los puertos. En el caso de los territorios insulares, como Baleares y Canarias, o en el de las ciudades de Ceuta y Melilla, las condiciones geográficas sin conectividad terrestre con la Península suponen un factor de vulnerabilidad importante. La dependencia exclusiva del transporte marítimo para el suministro de bienes esenciales implica que cualquier interrupción de la operatividad de los puertos puede generar desabastecimiento y afectar gravemente a la población y a la economía local. De hecho, el puerto de Algeciras ya ha visto interrumpido el tráfico hacia Ceuta y Tánger por la borrasca Laurence en marzo de 2025 (Huffpost, 2025b).

En cuanto a la afectación a otros sectores, ciertas actividades económicas en España dependen en gran medida del transporte marítimo. Por ejemplo, el turismo, la pesca y el comercio internacional son particularmente vulnerables, por lo que cualquier interrupción en la operatividad portuaria podría generar pérdidas económicas y afectar el empleo. De hecho, en el puerto de Llanes, según Fernandez-Perez et al., (2024) se identifican los valores más altos de inoperatividad en relación con el uso pesquero, impulsados principalmente por la agitación del oleaje en periodos futuros.

Además, el limitado número de infraestructuras y rutas alternativas hace que cualquier afectación en un puerto principal o en sus accesos pueda generar bloqueos en la cadena de suministro por la dificultad para el desvío de mercancías y pasajeros hacia otras terminales. Asimismo, la interrupción del transporte de mercancías, si dejase a ciertos territorios sin abastecimiento, podría generar incremento de precios.

Las afectaciones ocasionadas por este riesgo podrían ser mayores en aquellos puertos españoles sobre los que se desarrolla una actividad económica más importante. De hecho, de acuerdo con las estadísticas ofrecidas por Puertos del Estado, en el ranking en cuanto al total de mercancías transportadas, Algeciras se sitúa en primera posición, seguido de Valencia y Barcelona (Puertos del Estado, s. f.-b). La alta demanda y la importancia estratégica de las infraestructuras portuarias en España amplifican el impacto de cualquier

VERSIÓN NO EDITADA

interrupción en su funcionamiento. Estos tres puertos mencionados son nodos clave del comercio internacional, por lo que una paralización en sus operaciones puede afectar no solo a la economía nacional, sino también a la logística global. Además, la dependencia de estos puertos para el abastecimiento de ciertos sectores hace que cualquier colapso tenga repercusiones en la producción y el consumo.

Ficha 1. Análisis del riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos.

	Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento			
	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto[5]	Limitada Hoy, la mayoría de los puertos tienen márgenes de operatividad razonables, aunque algunos ya muestran afecciones puntuales: cierres temporales por eventos extremos, rebase de diques (4 puertos fueron identificados con riesgo de rebasamiento en el período 1986–2005 según Sánchez-Arcilla et al., (2016)) o problemas de sedimentación. El impacto económico agregado es bajo a nivel nacional y las interrupciones son episódicas. No constan aún grandes pérdidas acumulativas ni efectos sistémicos relevantes sobre cadenas de suministro a escala país.	Sustancial Los planes autonómicos empiezan a señalar puertos con riesgo alto en varios litorales. Aumentan los episodios de superación de umbrales de operatividad (agitación, rebase, inundación de explanadas, dragados extraordinarios y cierres preventivos), con afectación simultánea de varios enclaves y repercusiones logísticas regionales. Puntualmente, el número de puertos marítimos bajo riesgo de inundación en España es 22[6] (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018). Según Nokkala et al., (2012). Los costos anuales por retrasos asociados a un evento son, como máximo, de 0,96 M€ de euros, por lo que en 22 puertos esta cifra alcanzaría los 21 M€. Este valor correspondería a la categoría 'limitada', pero por considerarse que los costos por retrasos por inundaciones son un subconjunto de los costos de daños e interrupción de	Crítica Para 2050, los inventarios autonómicos estiman 35 puertos en Cataluña, 16 en Islas Baleares, 12 en Principado de Asturias, 3 en Cantabria y 2 en Región de Murcia en situación de riesgo alto o muy alto. Según Nokkala et al., (2012). Los costos anuales por retrasos asociados a un evento son, como máximo, de 0,96 M€ de euros, por lo que en 68 puertos esta cifra alcanzaría los 65 M€ (0,0041% del PBI). Sin embargo, esta cifra no toma en cuenta otros costos por daños e interrupciones, por lo que se ha tomado en consideración la participación de los puertos en el PBI: considerando una media anual de pérdidas parciales de 0,002% PIB/puerto[7], y considerando que son 68 puertos con riesgo alto y muy alto, el total	Crítica El riesgo se multiplica: hasta 69 puertos en Cataluña (CIIR, 2023), 49 en Baleares (Ports IB, 2021), 17 en Asturias (Gobierno del Principado de Asturias, 2021), 14 en Murcia (IHCantabria 2021b) y 5 en Cantabria (IHCantabria, 2021a) en situación de riesgo alto o muy alto (en total, 154 puertos). Además, el número de puertos marítimos específicamente bajo riesgo de inundación en España asciende a 47[8] (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018). Según Nokkala et al., (2012). Los costos anuales por retrasos asociados a un evento son, como máximo, de 0,96 M€ de euros, por lo que en 154 puertos esta cifra alcanzaría los 147 M€ (0,009% del PBI). Sin embargo, esta cifra no toma en cuenta otros costos por daños e interrupciones, por lo que se ha tomado en consideración la participación de los puertos

[5] El análisis de la severidad del impacto incluye referencias cruzadas al riesgo clave descrito en el capítulo de Costas: "riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructura de protección portuaria por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos".

[6] Esta proyección se encuentra realizada a 2030.

[7] El sistema portuario en su conjunto representa aproximadamente el 1 % del PIB Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenibles, Puertos del Estado, s. f.), con entre 250 y 300 puertos (estatales, autonómicos, deportivos y pesqueros). De forma muy aproximada, cada puerto aportaría en torno al 0,004 % del PIB. Si se asume que no se produciría un colapso total, sino una pérdida parcial promedio anual, la estimación sería de alrededor del 0,002 % del PIB por puerto.

[8] Esta proyección de encuentra realizada a 2080.

		la operatividad, se ha elevado la categoría a "sustancial".	de pérdidas anuales estimadas es de 0,136% del PBI. Dado que solo se cuenta con datos de 5 CCAA y hay 10 CCAA costeras se asume que como máximo el impacto puede ser del 0,272% del PBI.	en el PBI: considerando una media anual de pérdidas parciales de 0,002% PIB/puerto[9], y considerando que son 154 puertos con riesgo alto y muy alto, el total de pérdidas anuales estimadas es de 0,3% del PBI. Dado que solo se cuenta con datos de 5 CCAA y hay 10 CCAA costeras se asume que como máximo el impacto puede ser del 0,6% del PBI.
Nivel de confianza (calidad/consenso)	Media (media/medio) Se considera que la calidad es media por tratarse Sánchez-Arcilla, et al (2016) de un artículo académico, pero éste es una base de datos solamente de los puertos de Cataluña (cobertura territorial baja). Por otro lado, hay consenso científico en que la funcionalidad portuaria ya es sensible a eventos extremos.	Media (media/alto) Se considera que la calidad es media por tratarse de publicaciones oficiales y de una publicación de un centro de investigación aplicado. Respecto al consenso, los estudios cubren todo el territorio nacional, por lo que se ha establecido un nivel alto.	Media (media/medio) Se considera que la confianza es media por tratarse de planes de administraciones de comunidades autónomas. Respecto al consenso, las fuentes cubren la mitad del territorio costero por lo que se ha establecido un nivel medio.	Media (media/medio) Se considera que la confianza es media por tratarse de planes de administraciones de comunidades autónomas. Respecto al consenso, las fuentes cubren la mitad del territorio costero por lo que se ha establecido un nivel medio.

	Peligro	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incrementos en la altura de oleajes. • Precipitaciones intensas. • Fuertes tormentas de Viento. • Niebla densa. • Corrientes marinas extremas. • Calor extremo.	• Infraestructuras portuarias. • Operatividad portuaria. • Comunidades.	• Número de infraestructuras y rutas alternativas. • Condiciones de diseño. • Demanda/importancia de la infraestructura. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje del sector. • Condiciones insulares sin conectividad terrestre a la Península. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

Aspectos Transversales	Transfronterizos	El 33% de las exportaciones y el 39% de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte marítimo en España, por lo que los daños y la disminución de la operatividad portuaria podrían tener repercusiones importantes en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022).

[9] *Ibídem*

BORRADOR NO EDITABLE

	Territoriales	Dentro del informe de Puertos del Estado (Puertos del Estado, 2024) se refleja que una gran cantidad de puertos españoles (p.ej. puertos de Melilla, Ferrol, Huelva, Vigo, Bilbao, Cartagena, Cádiz, Málaga, Ceuta, Barcelona, entre otros) han visto reducida su operatividad en los últimos años. Este informe identifica el viento y el oleaje como las variables relacionadas con el clima que más inciden en la operatividad de los puertos. Para el caso concreto del viento, no se prevé que aumente a corto plazo y, para el caso del oleaje, se prevé que la altura significante se incremente en el Cantábrico y disminuya en el mediterráneo y Canarias (Losada Rodríguez et al., 2014). Sin embargo, no todos los puertos tienen el mismo peso en cuanto a volumen de mercancías transportadas: Algeciras se sitúa en primera posición, seguido de Valencia y Barcelona (Puertos del Estado, s. f.-a).
	Sociales	Grupos sociales que se verán potencialmente más afectados: • Pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros que provienen del exterior por vía marítima. • Población con menos recursos, debido a un potencial incremento de los precios de productos debido a la interrupción de cadenas de suministros. • Trabajadores del sector que pueden enfrentar cambios en sus condiciones laborales y posibles pérdidas de empleo por la interrupción o cese de actividad.
	Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático (por ejemplo, la integridad de los ecosistemas costeros) podría exacerbar los impactos de los eventos extremos.
	Género	• La tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil Denche et al., 2024; Observatorio del transporte y la logística en España, 2023). Un incremento en los precios por la interrupción de cadenas de suministros derivadas del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género.

Otros aspectos analizados	
Umbrales críticos	• Los umbrales críticos están relacionados con los umbrales de diseño de las infraestructuras y por lo general, los equipos portuarios están diseñados para periodos de vida útil de 20 a 50 años y para condiciones climáticas marítimas que se van a ver alteradas por el cambio climático.
Lock-in/Bloqueo	• La construcción o la renovación de las infraestructuras dañadas sin tener en cuenta la evolución de los peligros climáticos en su diseño puede limitar la capacidad de respuesta y de adaptación de la instalación.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, se encuentra la Estrategia portuaria europea integral. La misma destaca que la seguridad de los puertos depende de su resiliencia al cambio climático y medioambiental; pide, por tanto, a la Comisión, que lleve a cabo un estudio para analizar los riesgos climáticos para los puertos europeos y las infraestructuras de transporte conexas, estableciendo categorías de riesgos, por ejemplo, el aumento del nivel del mar, las inundaciones y el calor extremo, a fin de analizar los riesgos por región e identificar las medidas para hacerles frente, así como los costes de estas medidas y las inversiones necesarias; pide a los Estados miembros que lleven a cabo una evaluación de los riesgos medioambientales a largo plazo de sus infraestructuras portuarias críticas y que adopten medidas de adaptación de forma oportuna. A nivel nacional destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • El PNACC establece las siguientes líneas de trabajo para la adaptación de las infraestructuras portuarias: - Integración de los riesgos costeros en planes y programas que incluyen al espacio litoral (Línea de acción 7.3). - Impulso institucional y a la participación social para la adaptación en la costa y el mar (Línea de acción 7.5). - Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1). - Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2). - Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3). - Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4). - Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5).

BORRADOR DE OBRA

	• El **Marco Estratégico del Sistema Portuario** reconoce la adaptación al cambio climático como uno de sus objetivos generales. Para 2025 se tiene como meta que todas las autoridades portuarias dispongan de planes de adaptación, así como de un observatorio portuario del cambio climático, y para 2030 se tiene como meta que el 100% de los puertos estén adaptados al cambio climático. • La nueva **Estrategia de Seguridad Marítima Nacional** establece en su acción 22 la revisión de la información y estudios disponibles con relación al impacto del cambio climático en los sectores económicos vinculados al mar. Para ello, revisará los impactos y posibles medidas en relación con infraestructuras esenciales como los puertos. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** establece que se fomentará la mejora de las redes eléctricas de los puertos (Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, 2021). Además, especifica *La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas […].* • A nivel autonómico, varias comunidades disponen de planes de adaptación de sus puertos adscritos (p.ej. Cataluña, País Vasco, Asturias, Valencia).
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: Establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • Puertos del Estado. • CCAA. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Sector privado. • Autoridades Portuarias. • Sindicatos. • ONG locales.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora en la resiliencia frente a los eventos extremos. • Reducción de costes de operación y mantenimiento. • Reducción de los riesgos en cascada identificados.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Si las obras de adaptación implican la pérdida o alteración de ecosistemas costeros (por ejemplo, humedales), se podría reducir su capacidad para actuar como sumideros de carbono. • Instalaciones como sistemas de bombeo contra inundaciones, barreras móviles o sistemas de refrigeración adicionales para proteger equipos pueden incrementar significativamente el consumo energético del puerto. • La elevación de los puertos en altura para evitar impactos por aumentos del nivel del mar implicaría un consumo energético muy elevado debido fundamentalmente a los requerimientos de hormigón.
Déficits de información	• No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo, su impacto sobre la población y la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa.
Recomendaciones de Priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

VERSIÓN NO EDITADA

4.2 RC10.2: Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos

El riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos, identificado en CEDEX (2018), se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos causen deterioro o destrucción de la integridad física de carreteras, puentes y túneles. Estos daños pueden provocar cortes en las vías de comunicación, que afecten a la movilidad y el acceso a diferentes regiones, generando alteraciones en la circulación terrestre (RC3) y en las cadenas de suministro.

La Figura 4 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando tanto las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores

que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

VERSIÓN NO EDITADA

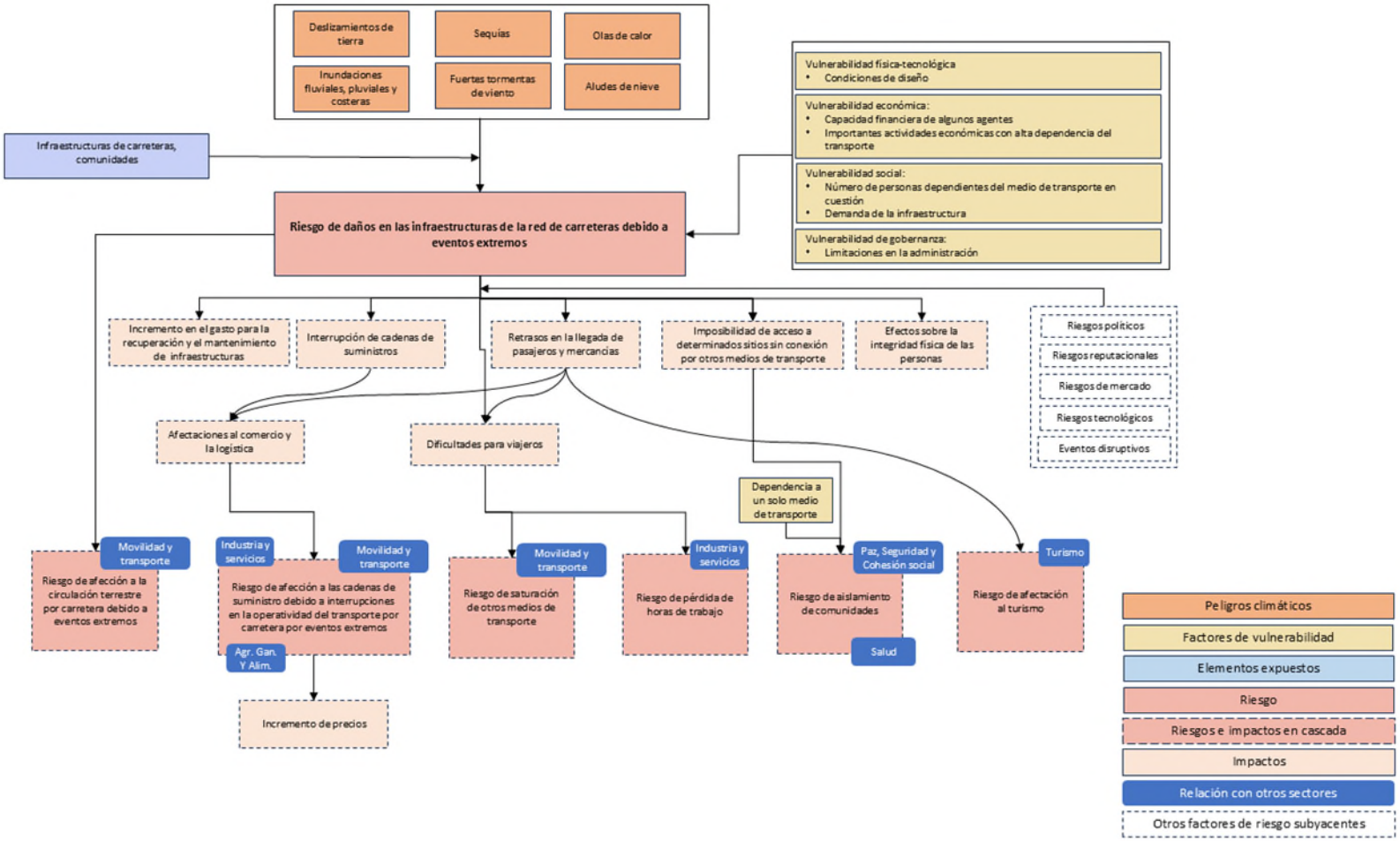


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave "Daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos".

Los diferentes elementos de la red de carreteras (taludes, calzadas, firmes y puentes, entre otros) ya se han visto afectados por numerosos peligros climáticos como inundaciones fluviales, pluviales, temperaturas extremas, heladas, nevadas, entre otras, en el pasado reciente (CEDEX, 2018; Naturklima, 2020) y se prevé que sigan afectándoles en el futuro. De hecho, hasta un 2,8 % de las carreteras que contribuyen de forma más significativa a la accesibilidad territorial del sistema de transporte sufrirán las mayores afectaciones por cambio climático (Ortega et al., 2020).

Uno de los peligros que aumentará su intensidad en el futuro son las inundaciones costeras. Según el PIMA Adapta-Costas Canarias (Gobierno de Canarias, 2021), para el año 2050 se prevé un incremento de inundaciones costeras como consecuencia de la subida del nivel del mar y eventos extremos de oleaje. En la actualidad, en las carreteras (urbanas e interurbanas) de varias islas Canarias (El Hierro, Fuerteventura, Gran Canaria, Lanzarote y Tenerife), se ha identificado una potencial afección puntual del peligro de inundación costera. En Euskadi, entre 426 y 445 tramos de carretera también se ven potencialmente afectadas por este peligro (IHOBE, 2022b) y en Baleares, las vías potencialmente más expuestas son caminos rurales o calles de núcleos urbanos (Marcos et al., 2021).

En lo que respecta a las inundaciones fluviales, de acuerdo con los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, se observa una potencial afección en las vías de comunicación de las demarcaciones hidrográficas del Duero y Ceuta bajo el periodo de retorno de 500 años (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.). Además, en España se prevé un incremento a corto plazo (2011-2040) del factor de torrencialidad (CEDEX, 2018) lo que incrementaría a su vez las inundaciones fluviales y pluviales.

Además de inundaciones, deslizamientos y otros eventos hidrometeorológicos extremos, el aumento de las temperaturas también puede causar daños graves en las infraestructuras. En un escenario de altas emisiones, la temperatura máxima podría aumentar hasta 1,2 °C en el futuro cercano, hasta 2,6 °C entre 2041 y 2070, y alcanzar un máximo de 4,3 °C hacia finales de siglo (AdapteCCa, s. f.). Como consecuencia, se proyecta un aumento en la frecuencia e intensidad de las olas de calor, peligro especialmente relevante para el transporte por carretera. Se estima que, para la década de 2080, las olas de calor podrían ser responsables del 92 % de los daños en las carreteras, afectando la infraestructura vial con fenómenos como el derretimiento del asfalto (Climate-KIC, 2018) y la formación de roderas en el pavimento (Forzieri et al., 2018).

Este riesgo de las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos podría generar otros riesgos en cascada. Como efecto más directo, se produciría un retraso y/o impedimento de llegada de pasajeros y mercancías a destino. Por ejemplo, en un estudio exploratorio de Naturklima, (2020) se estimó que, en Gipuzkoa, una posible afección debida a inundaciones podría impedir que el 30 % de la población accediera actualmente a los principales hospitales de la provincia. Bajo un escenario RCP 8.5, se estimó que el impacto aumentaría, afectando al 38 % de la población.

Otros efectos directos son el incremento en el gasto para la recuperación y el mantenimiento de infraestructuras (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2020), el incremento de los accidentes y, por lo tanto, de la integridad física de las personas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023b), y la saturación de otros medios de transporte. Si un fenómeno meteorológico extremo, como una inundación, afectara a las vías férreas, la carretera podría considerarse una ruta alternativa. Sin embargo, existe la posibilidad de que tampoco esté operativa, lo que podría provocar interrupciones en las cadenas de suministro o aislamiento de comunidades.

Cabe destacar, por otro lado, que este riesgo puede afectar de manera diferencial a diferentes tramos de vías: la mayoría de las de criticidad media a alta son vías de alta capacidad. Estas se encuentran próximas a las ciudades de Madrid, Santander, Oviedo, Barcelona, Valencia, Murcia, Alicante, Sevilla y Málaga. A esto

VERSIÓN NO EDITADA

se le suma también las secciones radiales (especialmente las que salen de Madrid hacia la costa de Levante y Andalucía) y otros corredores, como el Mediterráneo (CEDEX, 2018). En línea con esto, en este estudio también se presentan las secciones de carreteras con mayor afectación prevista en los próximos 30 años, y los resultados arrojan que éstas se encuentran cercanas a las ciudades de Córdoba, Granada, Lleida, Huesca, Oviedo, León y Alicante (CEDEX, 2018).

Además, los daños en las carreteras afectan de manera diferencial a distintos grupos de población, siendo los trabajadores del sector unos de los más afectados. En España, el transporte por carretera es el principal empleador del conjunto de los transportes en España, ocupando a cerca del 70% de la población que directamente trabaja en los transportes (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, s. f.). Además, existen actividades económicas con alta dependencia del transporte por carretera, como la industria, la agricultura o la ganadería, por lo que éstas se verán más afectadas por el riesgo en cuestión.

Ficha 2. Análisis del riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos

	Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento			
	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada La longitud de las secciones de la red de carreteras que no se ven afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o sólo de forma reducida, es el 57%; en las que se prevé alguna afectación moderada es del 37%; y con afección importante del 6% (CEDEX, 2018). Además, solo la reparación de las carreteras de Valencia tras la dana fue de 123 M€ (0,0077% del PBI) (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024).	Limitada Muchas carreteras se encuentran próximas a la costa, donde existe una alta probabilidad de que se produzcan posibles impactos de manera importante entre 2030 y 2050 por incrementos de oleajes extremos e inundaciones costeras (Gobierno de Canarias, 2021). Además, para la Península Ibérica, se espera que los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número, intensidad y tamaño (capítulo de variables climáticas). Por estos motivos se asume que, como mínimo, la severidad es la misma que en el escenario anterior.	Sustancial En 30 años, la longitud de las secciones de la red de carreteras que no se verán afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o sólo de forma reducida, será del 44%; en las que se prevé alguna afectación moderada es del 46%; y con afección importante del 10% (CEDEX, 2018). Se estima que los costes de adaptar las superficies de las carreteras a temperaturas más altas serían de 38,5 millones de euros (0,0024% del PBI) a 135 millones de euros al año (0,0085 del PBI) para 2040-2070 (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, s. f.), lo que cabe inferir que los costos por daños serán mayores. Por este motivo se ha considerado una categoría sustancial.	Crítica A largo plazo (2080s) serán las olas de calor el principal peligro que dará lugar al 92% de los daños totales provocando roderas en el pavimento de las carreteras (Forzieri et al., 2018) y se prevé que éstas, hacia finales de siglo en un escenario RCP 8.5 tendrían entre 15 a 50 días más que su promedio en el periodo de referencia (1971-2000) en la España peninsular (capítulo de variables climáticas). Por este motivo se ha seleccionado una severidad crítica.
Nivel de confianza (calidad/consenso)	Media (medio/medio) La referencia de la dana está restringida a un territorio concreto, pero el estudio de CEDEX (2018) es oficial y cubre todo el territorio nacional, por lo	Media (baja/alto) No hay estimaciones de impacto (calidad baja). Sin embargo, hay un consenso alto sobre la evolución del peligro.	Media (media/bajo) Se trata de publicaciones oficiales (calidad media) y es una sola base de datos (consenso bajo).	Media (baja/alto) No hay estimaciones de impacto (calidad baja). Sin embargo, hay un consenso alto sobre la

	que se considera tanto la calidad como el consenso, medios.	evolución del peligro.

	Peligro	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Sequías. • Fuertes tormentas de viento. • Olas de calor. • Aludes de nieve.	• Infraestructura de carreteras. • Comunidades.	• Capacidad financiera de algunos agentes. • Número de personas dependientes del medio de transporte en cuestión. • Condiciones de diseño. • Limitaciones en la Administración. • Demanda /importancia de la infraestructura. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

Aspectos Transversales	**Transfronterizos**	• El 54% de las exportaciones y el 80% de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte por carretera en España, por lo que los daños a las infraestructuras podrían tener repercusiones importantes en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022).
	Territoriales	• Existen infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzadas, firmes y puentes, entre otras) susceptibles de ser afectadas por eventos extremos (inundaciones fluviales, pluviales, costeras, temperaturas extremas) en todas las comunidades autónomas. • En la red de carreteras, la mayoría de las vías de criticidad media a alta son vías de alta capacidad próximas a las ciudades de Madrid, Santander, Oviedo, Barcelona, Valencia, Murcia, Alicante, Sevilla y Málaga. A estas se suman también las secciones radiales (especialmente las que salen de Madrid hacia la costa de Levante y Andalucía) y otros corredores, como el Mediterráneo (CEDEX, 2018). • En un futuro, según el estudio elaborado por Van Ginkel et al., (2022), el 16% de las carreteras de España podrían verse afectadas por inundaciones fluviales. Ortega et al., (2020) recoge también una afección en el transporte terrestre para el horizonte 2045-2055. • Los entornos rurales pueden verse gravemente afectados por eventos climáticos extremos, enfrentando riesgos de aislamiento, interrupción de servicios básicos como el suministro eléctrico o el acceso a atención médica, y dificultades en la movilidad debido a la vulnerabilidad de sus infraestructuras (Aguado et al., 2022).
	Sociales	Grupos sociales que se verán potencialmente más afectados: • Residentes en poblaciones pequeñas, dado que sus infraestructuras dañadas podrían considerarse de menor prioridad para su arreglo (EEA, 2024). • Pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros transportados por vía terrestre. • Población que habita en zonas donde coexisten varios peligros de manera simultánea (proximidad a ríos y a línea de costa), o donde las infraestructuras viarias tienen características físicas que las hacen más vulnerables (p.ej. por mantenimiento insuficiente de las infraestructuras, antigüedad de la infraestructura).
	Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático podría exacerbar los daños por eventos extremos.
	Género	• Las empleadas en el mercado informal en Europa son más numerosas que los hombres en la misma situación (International Labour Organization, 2023). Esta condición de vulnerabilidad podría intensificarse en contextos de afectación a la infraestructura, especialmente cuando compromete la accesibilidad a zonas metropolitanas y polígonos industriales. En tales escenarios, la interrupción de la operatividad y las dificultades para acceder al lugar de trabajo podrían derivar en inasistencias o retrasos, con la consiguiente pérdida de ingresos y agravamiento de la precariedad laboral.

Otros aspectos analizados	
Umbrales críticos	• El asfalto del pavimento es un material sensible a la temperatura del aire, así como a las inundaciones (Almeida & Picado-Santos, 2022). Para el caso concreto de las temperaturas extremas, existe un umbral crítico a partir del cual empieza a deteriorarse (49 °C) si se expone durante periodos prolongados.
Lock-in/Bloqueo	• Las infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de manejar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones.

BORRADOR

	• Muchas redes de carreteras están diseñadas con puntos únicos de conexión (puentes, túneles o carreteras principales) que, si se ven afectados, paralizan la red entera. • La ausencia de rutas alternativas para desviar el tráfico durante un evento extremo puede afectar la evacuación. • La heterogeneidad de guía para la valoración de riesgos en infraestructuras no ajustadas al último marco conceptual del IPCC puede generar confusión en la comunicación de resultados e impedir la comparabilidad entre sectores. 10/10/2025 11:22:00
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, la UE, en sus Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027 (Diario Oficial de la UE, 2021), en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables y, por otro, cuáles son los activos de la infraestructura clave (por ejemplo, segmentos e intersecciones de carreteras, infraestructuras de suministro de agua, infraestructuras energéticas, zonas industriales y grandes vertederos) en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera. Además, en la EAE se contemplan corrimientos de tierras, el aumento del nivel del mar junto con la erosión costera y la intrusión salina, las olas de frío y la acumulación de nieve, los daños por congelación-descongelación, así como los incendios forestales, todos ellos con potencial de generar daños en infraestructuras. A nivel nacional, destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el PNACC se recogen varias líneas de trabajo que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1); Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4); Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • La Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España especifica *La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas […].* Adicionalmente, en los últimos años se han desarrollado múltiples acciones con el fin de reducir este tipo de riesgo. • Sistema de avisos meteorológicos (con niveles amarillo, naranja y rojo) y se difunden a través del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (Plan Meteoalerta). Son avisos sobre lluvias, nevadas, vientos, tormentas, temperaturas máximas y mínimas, fenómenos costeros, etc., además de los avisos especiales por olas de calor y frio, entre otros (AEMET, 2025). • Desde el planificador de rutas de AEMET (AEMET, s. f.) se establecen ciertos umbrales para una serie de variables meteorológicas (temperatura, viento, precipitación y nieve) para las cuales se define el riesgo para la conducción.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • CCAA. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Sector privado. • Ayuntamientos.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los costos de mantenimiento. • Reducción de pérdidas y daños. • Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la seguridad vial. • Incremento de la durabilidad de las infraestructuras. • Menores interrupciones del transporte. • Fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante emergencias.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Las mejoras en la infraestructura de transporte por carreteras podrían incentivar el uso del coche e impactar negativamente en la descarbonización.

PRÓXIMAMENTE PUBLICADA

Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • La evaluación de costos de daños a carreteras por eventos extremos en los escenarios temporales de corto, medio y largo plazo no se encuentra estimada.
Recomendaciones de Priorización	Riesgo con impactos relevantes, previsibles en el corto / medio plazo y que requieren planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3 RC10.3. Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos

El riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (Naturklima, 2020; CEDEX, 2018; Sanz & Galán, 2020) hace referencia a la alteración o interrupción del tránsito vehicular debido a condiciones climáticas adversas y podría ser consecuencia del RC2, aunque también podría generarse por eventos climáticos extremos que no dañen las carreteras (por ejemplo, precipitaciones torrenciales que, sin dañar las infraestructuras, interrumpen la conectividad).

La Figura 5 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

VERSIÓN NO EDITADA

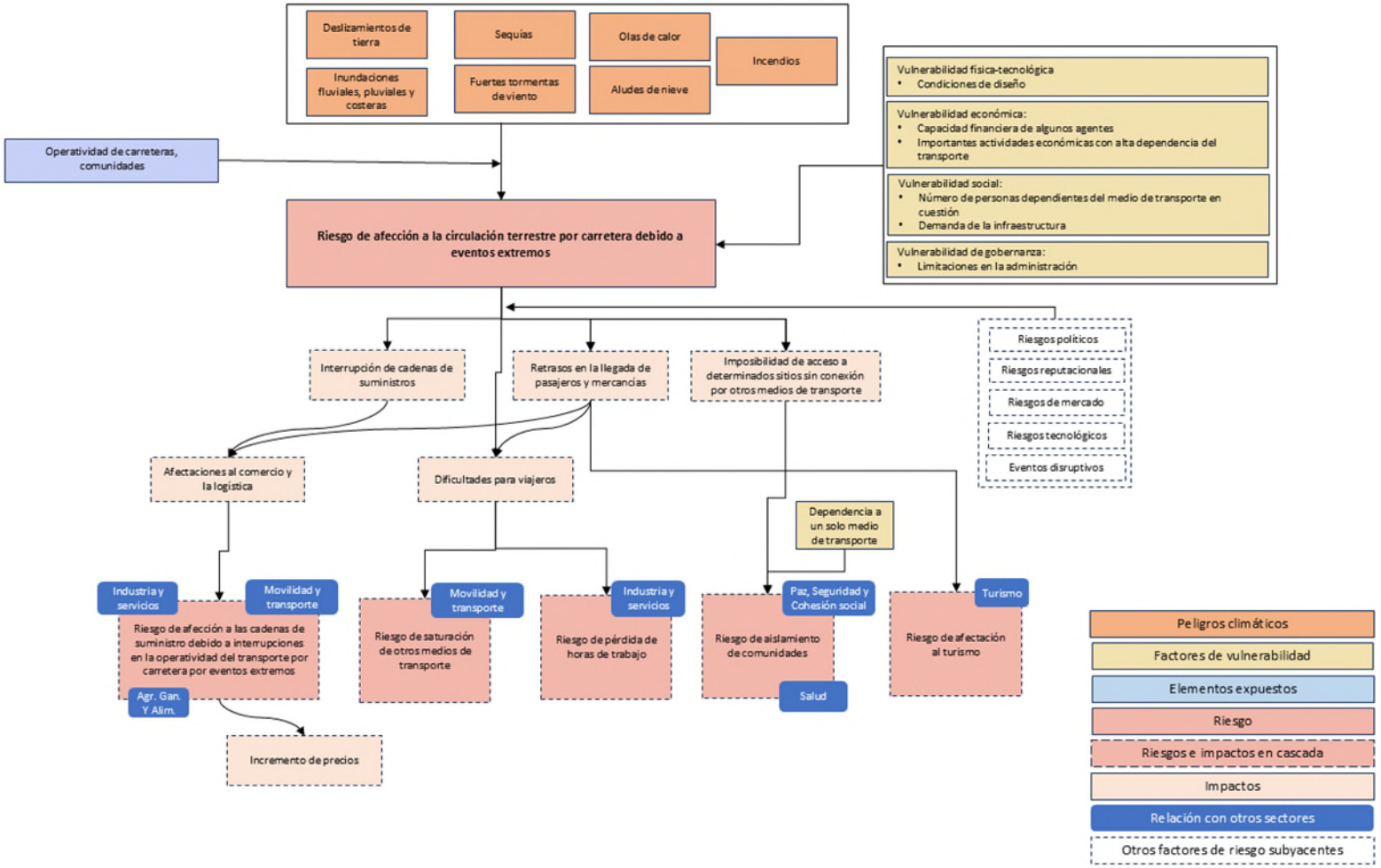


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave de "Afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos".

Como el riesgo clave de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos es un riesgo en cascada del RR 10.8 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos, ambos comparten numerosos efectos en cascada, así como ciertas vulnerabilidades y la totalidad de los peligros identificados y proyectados. Por ello, la descripción de este riesgo clave se centrará únicamente en algunos de los impactos en cascada que genera.

La interrupción del transporte por carretera es de suma importancia ya que mueve el 95% de las mercancías de nuestro país y el 86% de los viajeros interurbanos de pasajeros (Observatorio del Transporte y la Logística en España, s. f.). En este sentido, la interrupción de las vías de comunicación por carretera podría generar retrasos en la llegada de pasajeros, afectando a la población y generando sobrecarga de otros medios de transporte, como el ferrocarril.

Con respecto a la circulación de materias primas, la circulación por carretera abarca más de la mitad de los productos exportados y el 80% de los importados (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022) por lo que la interrupción de estos servicios podría afectar a una parte considerable de la economía española. Como efecto en cascada, la escasez de productos importados, como materias primas, alimentos o combustibles, puede generar un aumento en los precios debido a la menor oferta y la creciente demanda. Esto, a su vez, contribuye a la inflación y reduce el poder adquisitivo de los consumidores. Las empresas también podrían verse gravemente afectadas, ya que muchas dependen de insumos procedentes del extranjero para mantener su producción. Cuando estos no llegan a tiempo o sus costos se elevan, las compañías pueden verse obligadas a reducir su actividad, aumentar precios o incluso cesar operaciones, lo que puede derivar en despidos y pérdida de empleos.

Además, en España existen numerosos pueblos y pequeñas localidades, especialmente en zonas rurales y montañosas, cuyo único acceso es a través de carreteras. Esto implica que cualquier interrupción en la circulación, ya sea por fenómenos climáticos extremos como inundaciones, nevadas o desprendimientos de tierra, puede derivar en un aislamiento total de estas comunidades. En estos casos, el riesgo de aislamiento es particularmente crítico, ya que la falta de rutas alternativas dificulta la llegada de ayuda, suministros esenciales y servicios de emergencia. Además, tras un evento extremo, la reparación de las infraestructuras en estas pequeñas localidades puede retrasarse, ya que suelen tener una menor prioridad en comparación con otras áreas más pobladas o estratégicas (EEA, 2024).

En casos concretos, la interrupción del transporte por carretera puede afectar a los medios de vida de las personas. Por ejemplo, cuando el paso fronterizo de Somport fue cerrado a principios de septiembre de 2024 debido al impacto de una dana, numerosas empresas y comercios sufrieron una caída del 90% en sus ingresos. Además, muchos trabajadores se vieron forzados a trasladar su residencia al otro lado de la frontera para poder mantener su empleo (Cadena SER, 2024).

En la misma línea, la interrupción del transporte de manera prolongada podría afectar las cadenas de suministro y, por lo tanto, podría generar afectaciones al comercio y la logística interna. Esto, a su vez, si se prolongase en el tiempo, y al igual que la escasez de productos provenientes del exterior, podría generar un incremento de precios.

Por otro lado, y ante situaciones de emergencia, también podría ocurrir que se interrumpiese o se limitase el transporte por carretera para la asistencia a poblaciones afectadas. De hecho, debido al temporal por la dana en Valencia, se ha limitado el tráfico vía camiones, exceptuando aquellos que se encuentren operando en productos de primera necesidad (DGT, 2024).

VERSIÓN NO EDITADA

Ficha 3. Resumen del riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos

	Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento			
	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada En algunos sitios de España, tras el paso de la dana, numerosas empresas y comercios sufrieron una caída del 90% en sus ingresos debido a la interrupción de las carreteras (CADENA SER, 2023). Además, los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, y sin adoptar medidas de adaptación, representarían un 0,04 % del PIB (Dottori et al., 2020). Sin embargo, como los daños mencionados corresponden a inundaciones en general y no al impacto de este riesgo en particular, se ha considerado una categoría menor (limitada).	Limitada Un estudio de CEDEX (2021) prevé un aumento de la torrencialidad para el periodo 2011-2040, lo que incrementaría, a su vez, las inundaciones fluviales y pluviales. Además, los daños anuales esperados para España, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 ºC, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori et al., 2020). Sin embargo, se considera una categoría menor (limitada) porque estos daños incluyen mayor cantidad de daños que los correspondientes a la afección a la circulación terrestre por carretera.	Sustancial Los daños anuales esperados para España, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 ºC, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori et al., 2020).	Sustancial[10] A finales de siglo (2080s), las olas de calor se estiman como el principal peligro, responsables del 92 % de los daños totales por la aparición de roderas en pavimentos (Forzieri et al., 2018). En un escenario RCP 8.5, se proyecta un aumento de 15–50 días respecto al promedio 1971–2000 en la España peninsular. Bajo condiciones socioeconómicas actuales, sin medidas de adaptación y con un calentamiento de 3 °C, los daños anuales esperados representarían el 0,05 % del PIB (Dottori et al., 2020).
Nivel de confianza (calidad/consenso)	Media (baja/alta) Se trata de una publicación sin revisión (calidad baja) pero la cobertura territorial de la referencia de impacto es alta.	Medio (Media/Medio) Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Medio (Media/Medio) Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Medio (Media/Medio) Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.

	Peligro	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Sequías. • Olas de calor. • Incendios.	• Operatividad de carreteras. • Comunidades.	• Capacidad financiera de algunos agentes. • Número de personas dependientes del medio de transporte en cuestión.

[10] Por tratarse de un subconjunto de daños de los daños correspondientes al riesgo clave anterior (RC2) se ha considerado una categoría menor de severidad de impacto.

	• Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Fuertes tormentas de viento. • Aludes de nieve.	• Condiciones de diseño. • Limitaciones de la administración. • Demanda de la infraestructura. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

Aspectos Transversales	Transfronterizos	• El 54% de las exportaciones y el 80% de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte por carretera en España, por lo que los daños a las infraestructuras podrían tener repercusiones importantes en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022).
	Territoriales	• Tal y como se describe en el "Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos", en la actualidad las infraestructuras de la red de carreteras se ven expuestas a múltiples impactos, que pueden dar lugar a afecciones en la operatividad. • El informe de CEDEX (2018) además, recoge afecciones en las condiciones de vialidad por peligros como incendios, fuertes nevadas y lluvias intensas. En el caso de nieves e incendios, la red de carreteras se ha visto ya afectada en un 13% y 17% respectivamente, mientras que las lluvias intensas han afectado también -aunque en menor grado- debido a la insuficiencia de desagüe de la superficie de la calzada. • A nivel local, el estudio de Naturklima (2020) también recoge afecciones históricas a la circulación viaria por nevadas, heladas, desprendimientos, inundaciones (costeras, fluviales y pluviales) y vientos extremos en Guipúzcoa.
	Sociales	Grupos sociales que se verán más afectados: • Personas que habitan en zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de reparar los daños (EEA, 2024). • Pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros que provienen por vía terrestre. • Personas que habitan en zonas donde coexisten varios peligros de manera simultánea (proximidad a ríos y a línea de costa), o donde las infraestructuras viarias tienen características físicas que las hacen más vulnerables (p.ej. por mantenimiento insuficiente de las infraestructuras, antigüedad de la infraestructura).
	Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático podría exacerbar los daños durante los eventos extremos. • La reconstrucción de las infraestructuras en los mismos emplazamientos donde previamente se han producido daños significativos ignorando las dinámicas cambiantes del clima. Al no incorporar criterios de reubicación estratégica ni evaluaciones de riesgo actualizadas, se perpetúa la vulnerabilidad del territorio y de las comunidades que lo habitan.
	Género	• Las empleadas en el mercado informal en Europa son más numerosas que los hombres en la misma situación (International Labour Organization, 2023). Esta condición de vulnerabilidad podría agravarse debido a que la dificultad de desplazamiento hacia su lugar de trabajo puede implicar una pérdida de ingresos.

Otros aspectos analizados	
Umbrales críticos	• No se han encontrado umbrales a partir de los cuales se incrementen las afecciones a la circulación terrestre por carretera.
Lock-in/Bloqueo	• Infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de soportar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones. • Muchas redes de carreteras están diseñadas con puntos únicos de conexión (puentes, túneles o carreteras principales) que, si se ven afectados, paralizan la red entera. • Ausencia de rutas alternativas o redundantes para desviar el tráfico durante un evento extremo.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, la UE, en sus Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027 (Diario Oficial de la UE, 2021), en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables y, por otro, cuáles son los activos de infraestructura clave (por ejemplo, segmentos e intersecciones de carreteras, infraestructuras de suministro de agua, infraestructuras energéticas, zonas industriales y grandes vertederos) en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera.

DOCUMENTO EN CONSULTA PÚBLICA

	A nivel nacional, destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias líneas de trabajo que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1); Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4); Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** especifica *La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas […].* Adicionalmente, en los últimos años se han desarrollado múltiples acciones con el fin de reducir este tipo de riesgo. • **Sistema de avisos meteorológicos** (con niveles amarillo, naranja y rojo) y que se difunden a través del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (AEMET, 2025). Son avisos sobre lluvias, nevadas, vientos, tormentas, temperaturas máximas y mínimas, fenómenos costeros, etc., además de los avisos especiales por olas de calor y frio, entre otros (AEMET, 2025). • Desde el **planificador de rutas de AEMET** (AEMET, s. f.) se establecen ciertos umbrales para una serie de variables meteorológicas (temperatura, viento, precipitación y nieve) para las cuales se define el riesgo para la conducción.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • CCAA. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Sector privado. • Ayuntamientos: desarrollan Planes Locales de Acción Climática.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la seguridad vial. • Menores interrupciones de transporte. • Fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante emergencias. • Continuidad de las actividades económicas.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Las mejoras en la infraestructura de transporte por carreteras podrían incentivar el uso del coche e impactar negativamente en la descarbonización.
Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • La información sistematizada sobre interrupción de carreteras por tipo de evento extremo no existe. • No hay disponibles datos de impactos económicos para este riesgo.
Recomendaciones de Priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, no obstante, hay que valorar y en su caso programar medidas para afrontar este riesgo. Se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

VERSIÓN EDITADA

4.4 RC10.4. Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos

El riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos (CEDEX, 2018) se refiere a la paralización o alteración del servicio de transporte ferroviario debido a eventos meteorológicos extremos más frecuentes e intensos como consecuencia del cambio climático (Jordà et al., 2024).

La Figura 6 ilustra la cadena de impacto de este riesgo clave, mostrando sus componentes (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos resultantes de estos elementos. El riesgo clave se encuentra en el centro del esquema, y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

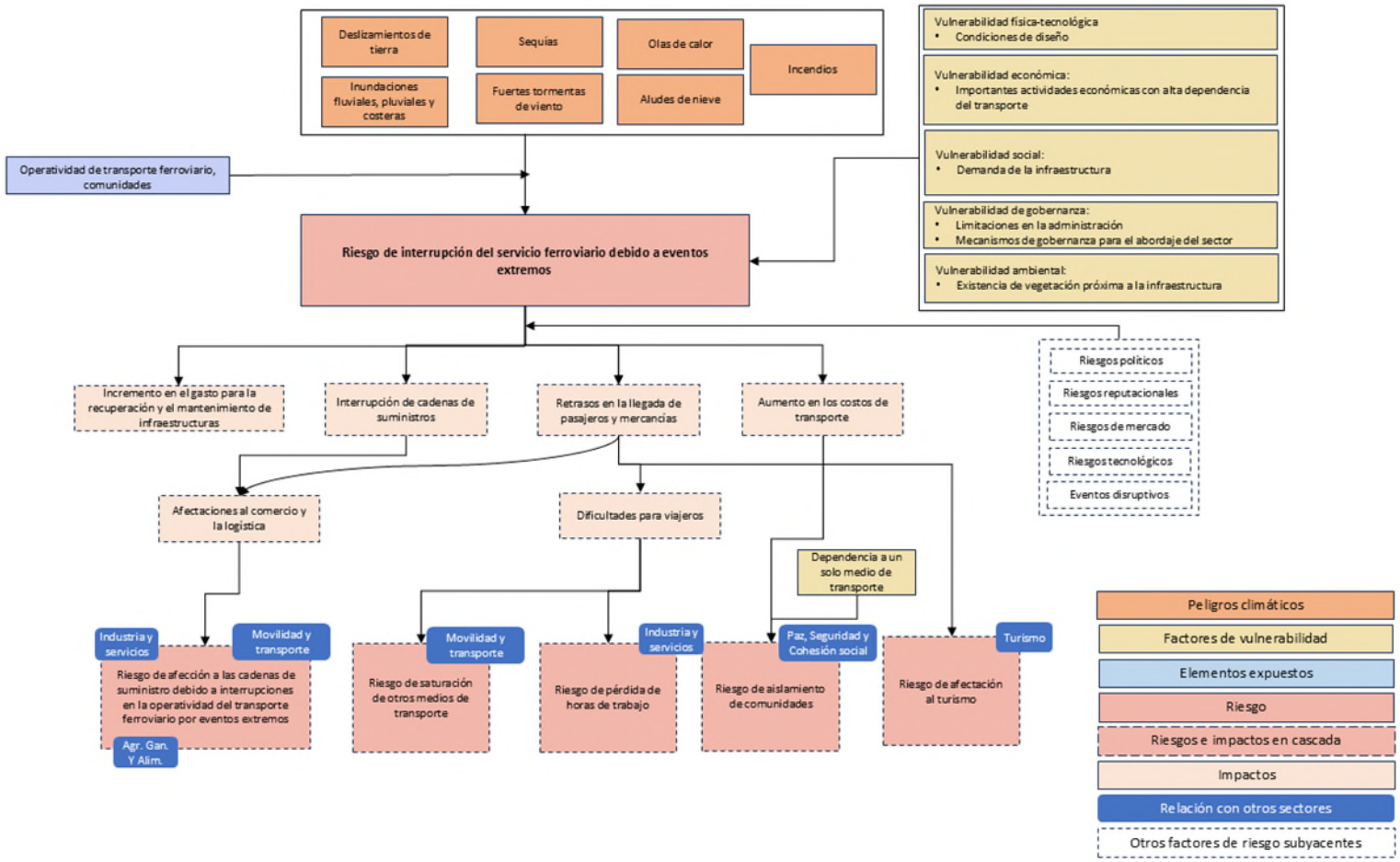


Figura 6. Cadena de impacto del riesgo clave "Interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos".

Este riesgo de interrupciones del servicio ferroviario por eventos extremos podría ser un riesgo en cascada del RR10.8, relacionado con los daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos. Dichos daños pueden manifestarse de diversas formas, como incendios en los márgenes de la vía, afectaciones en el sistema carril-traviesa-sujeción por temperaturas extremas, interrupciones físicas por nieve o hielo (CEDEX, 2018), bloqueos en las vías debido a la caída de árboles provocada por fuertes vientos e interrupciones por inundaciones (La Voz Digital, 2025).

En términos de impacto, la mayoría de las incidencias registradas (93 %) resultan en retrasos en el servicio ferroviario, que oscilan entre 10 y 50 minutos en trenes de pasajeros y alrededor de 50 minutos en trenes de mercancías (Castañares, 2018). Esta problemática adquiere especial relevancia considerando el aumento del número de viajeros en la última década, alcanzando los 33,19 millones en 2022 (AESA, 2024). Sin embargo, cabe destacar en este punto que hasta la fecha las afecciones en la población relativas a daños en las infraestructuras ferroviarias han sido limitadas.

Los peligros que provocan interrupciones en la red ferroviaria no solo son significativos en la actualidad, sino que, en la mayoría de los casos, se prevé que aumenten en el futuro. Un ejemplo claro son los incendios forestales, cuyo riesgo se intensificará con el cambio climático. Para un calentamiento global de 1,5 °C, se espera un incremento en el número de días anuales con peligro alto o extremo de incendios (de Rigo et al., 2017; Costa, 2020). A este peligro se adiciona la influencia del tipo y la cantidad de material combustible cercano a las vías. La presencia de vegetación en las inmediaciones de las infraestructuras ferroviarias incrementa significativamente el riesgo de incendios, especialmente durante periodos de olas de calor y sequías prolongadas. Estas condiciones pueden favorecer la propagación rápida del fuego, comprometiendo la seguridad y provocando interrupciones prolongadas del servicio.

Por otro lado, las precipitaciones torrenciales aumentarán a corto plazo (2011-2040), lo que incrementará el riesgo de inundaciones tanto fluviales como pluviales, y, por lo tanto, deslizamientos de tierra (EEA, 2024).

En contraste, los estudios actuales no prevén cambios significativos en la frecuencia de los fuertes vientos ni en la incidencia de ciclogénesis explosivas a corto, medio o largo plazo (UCMG, 2018). Sin embargo, otro factor de riesgo clave es la proximidad de gran parte de la red ferroviaria a la costa. Según el informe PIMA Adapta-Costas de Canarias (Gobierno de Canarias, 2021), para 2050 se espera un aumento del nivel del mar de 26 cm, lo que incrementará la probabilidad de inundaciones en estas infraestructuras.

En cuanto a las temperaturas, se proyecta un aumento progresivo a lo largo del siglo. En un escenario de altas emisiones, el incremento de temperatura máxima podría alcanzar los 4,3 °C para el período 2071-2100 (Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa). Como consecuencia, se prevé un aumento de las temperaturas extremas, con olas de calor más frecuentes e intensas, lo que representará un desafío adicional para la infraestructura ferroviaria y su operatividad.

Las distintas líneas de transporte presentan características estructurales variadas, lo que influye en la frecuencia e intensidad con la que los eventos extremos las afectan y, en consecuencia, en la variabilidad de las interrupciones según el tramo. Por ejemplo, en el caso de lluvias intensas, la red convencional es más vulnerable al cambio climático, ya que sus criterios de diseño no cumplen los mismos estándares que los de la red de alta velocidad (Castañares, 2018). No obstante, las líneas de alta velocidad también han sufrido interrupciones, como ocurrió durante la dana de septiembre de 2023 y la de octubre de 2024.

En cuanto a los vientos extremos, la red de alta velocidad destaca por la incorporación de pantallas acústicas y de protección, así como por la robustez de la catenaria, los sistemas de seguridad y las

VERSIÓN NO EDITADA

comunicaciones (Castañares, 2018). Del mismo modo, frente a temperaturas elevadas, las líneas de alta velocidad cuentan con un diseño más resistente para el carril y sus sujeciones (Castañares, 2018).

Como resultado, si se analiza el número de incidencias registradas, la red convencional suele verse más afectada que la de alta velocidad, lo que refleja una mayor vulnerabilidad de la primera frente a los efectos del cambio climático.

La interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos puede desencadenar impactos en cascada que afectan a múltiples sectores y a la economía en general. Uno de los principales efectos es la interrupción de las cadenas de suministro, lo que retrasa la llegada de mercancías, genera desabastecimiento y afecta a sectores estratégicos como el comercio y la logística. Además, la reducción en la operatividad del ferrocarril incrementa los costos de transporte, ya que las empresas deben recurrir a alternativas más caras o menos eficientes.

Asimismo, la recuperación y el mantenimiento de las infraestructuras dañadas requieren inversiones significativas. Un ejemplo reciente es la asignación de 184,6 millones de euros por parte del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible para la reparación de las infraestructuras ferroviarias en Valencia tras la dana de octubre de 2024 (La Moncloa, 2024).

Además, la interrupción de los servicios ferroviarios puede generar la saturación de otros medios de transporte, como autobuses, lo que aumenta el tiempo de viaje y el riesgo de pérdida de horas de trabajo. En zonas donde el ferrocarril es la principal vía de conexión, el impacto es aún mayor, ya que algunas comunidades pueden quedar temporalmente aisladas. Por otro lado, el turismo, un sector altamente dependiente del transporte ferroviario en muchas regiones, también se ve afectado, lo que repercute en la economía local y en la oferta de servicios.

Ficha 4. Resumen del riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos.

	Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento			
	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada En España, los retrasos estimados anuales en el servicio ferroviario relacionados con deformaciones de las vías por pandeo para el período 1990-2010 son de 0.019% y de 0.023% del tiempo de viaje en condiciones de tráfico óptimas (flujo libre) para el transporte de mercancías y de pasajeros, respectivamente (Nemry & Demirel, 2012). Como el impacto en tiempo de viaje es considerablemente bajo se ha considerado una severidad limitada.	Limitada Si bien no se cuenta con estimaciones de impacto monetario o en retrasos temporales, se prevé que la temperatura máxima, para un escenario de altas emisiones (RCP 8.5) se incremente hacia el 2040 unos 2 °C (AEMET. 2017), por lo que se infiere que las interrupciones por pandeo podrían ser mayores. Sin embargo, considerando que se están tomando medidas de adaptación, se considera la misma categoría de severidad	Sustancial Si bien no se cuenta con estimaciones de impacto monetario, se prevé que todas las variables de temperatura aumenten en el escenario SSP5-8.5, principalmente en verano, con incrementos de 2-3 °C a mediados de siglo (capítulo de variables climáticas). Además, habrá	Sustancial Para la España peninsular, considerando todas las proyecciones generadas para el periodo 2081-2100, las variaciones en la escala anual tenderían a estar comprendidas entre +4.2°C y +6.4 °C, bajo el escenario de mayores emisiones, RCP8.5 (capítulo de variables climáticas). Esto podría multiplicar las interrupciones por pandeo mencionadas en el escenario actual, por lo que se considera una severidad sustancial.

NO EDITADA

		que en el escenario anterior.	condiciones más propicias para incendios forestales y mayor torrencialidad de precipitaciones (capítulo de variables climáticas), haciendo que sea más probable una interrupción del servicio ferroviario. Por estos motivos se considera una severidad sustancial.	
Nivel de confianza (calidad/consenso)	Medio (media/bajo) Se trata de una publicación oficial (calidad media) y hay una sola base de datos (consenso bajo).	Medio (Media/Medio) Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Medio (Media/Medio) Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Medio (Media/Medio) Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.

	Peligro	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Sequías. • Olas de calor. • Incendios. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Fuertes tormentas de viento. • Aludes de nieve.	• Operatividad del transporte ferroviario. • Comunidades.	• Existencia de vegetación próxima a la infraestructura. • Demanda de la infraestructura. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje del sector. • Limitaciones de la administración. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

Aspectos Transversales	Transfronterizos	El 3% de las exportaciones y el 0,4% de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte por ferrocarril en España, por lo que los daños a las infraestructuras podrían tener algunas repercusiones en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022). Además, el transporte de pasajeros por vía ferroviaria ha transportado medio millón de personas hacia el exterior y ha hecho ingresar el mismo número desde destinos internacionales (INE, 2024). De hecho, de ese total, 340.000 son turistas (Statista Research Department, 2024), por lo que el riesgo podría afectar los ingresos del sector turismo.
	Territoriales	• La red de ferrocarriles sufre ya afectaciones en: más del 25% por incendios en el margen de la vía; más del 10% por nieve; más del 8% por hielo; más del 20% por viento muy intenso; y casi el 15% por afectaciones térmicas (CEDEX, 2018). • Si se tiene en cuenta el número de incidencias, estas, por lo general, son más numerosas en la red convencional, reflejando en este sentido una mayor vulnerabilidad en este tipo de red. Esto puede deberse a que sus criterios de diseño no responden a las mismas

VERSIÓN NO EDITABLE

		exigencias que las que actualmente cumplen las de alta velocidad respecto a las adaptaciones frente a las precipitaciones y los vientos extremos (Castañares, 2018).
	Sociales	Grupos sociales que se verán potencialmente más afectados: • Residentes en poblaciones pequeñas, dado que sus infraestructuras dañadas podrían tener menor prioridad a la hora de su reparación (EEA, 2024). • Viajeros con menores ingresos, que, al interrumpirse el servicio, podrían no tener capacidad de acceder a otro medio de transporte como alternativa.
	Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático podría exacerbar los daños por eventos extremos. • La interrupción del transporte ferroviario podría desviar viajeros hacia el transporte privado, lo cual podría producir congestión en las carreteras y, en los casos de eventos extremos, podría dificultar las operaciones de emergencia y evacuación.
	Género	• Las empleadas en el mercado informal en Europa son más numerosas que los hombres en la misma situación (International Labour Organization, 2023). Esta condición de vulnerabilidad podría agravarse debido a que la dificultad de desplazamiento hacia su lugar de trabajo puede implicar una pérdida de ingresos.

Otros aspectos analizados	
Umbrales críticos	• En el Plan de Contingencias. Manual de Prevención y Gestión de Incidencias de Adif existen 3 Fichas con niveles de afectación y condiciones de circulación para 3 eventos: lluvia, viento y nieve.
Lock-in/Bloqueo	• Infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de soportar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, la UE, en sus Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027 (Diario Oficial de la UE, 2021) en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables y, por otro, cuáles son los activos de infraestructura clave en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera. A nivel nacional, destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el PNACC se recogen varias líneas de trabajo que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1); Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4); Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • La Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España especifica *La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas […].* • Además, Adif también dispone de medidas que actúan sobre la capacidad de adaptarse. Entre ellas, se encuentran: - Plan de Contingencias. Manual de Prevención y Gestión de Incidencias. Ficha 2 “Actuaciones frente a temporales de lluvia”, Ficha 3 “Actuaciones frente a temporales de viento” y Ficha 4 “Actuaciones frente a temporales de nieve”. - Plan Director de medidas preventivas verano. - Plan Director de medidas preventivas invierno. - Norma interna NAG 4-0-0.0 “Metodología para el análisis de la vulnerabilidad, riesgo y adaptación a los efectos del cambio climático”. - Acciones concretas para garantizar la seguridad del servicio en situaciones de eventos extremos. Por ejemplo, para el caso de Renfe Viajeros, se reciben las predicciones meteorológicas de la AEMET para las próximas 24 horas sobre cada 5 km de red en intervalos de 6 h.; con dicha información se decide cómo aplicar el Plan de Contingencias que se envía a los Centros de Gestión de Viajeros para la adopción de medidas como: - En caso de fuertes nevadas: cambios de flota, reducciones de velocidad, aplicación de sal, incremento de personal. - Uso de pintura blanca para vías férreas para evitar sobrecalentamientos (Adif, 2021). - Utilización de apoyos para los tableros de los viaductos que se dilatan y contraen longitudinalmente en función de la oscilación de temperaturas. Los apoyos permiten que los viaductos se sostengan sobre pilas y estribos (Adif, 2023c).

BORRADOR NO EDITADO

	- Fortalecimiento del control de detectores de temperaturas (Adif, 2023b). - Fortalecimiento del control de detectores de vientos laterales que además se utilizan como base para realizar una previsión a medio plazo de las limitaciones de velocidad que deben ser impuestas en la circulación de los trenes.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • CCAA. • Adif/Adif Alta Velocidad. • Operadores ferroviarios (Renfe, Avanza Tren, Alsa Ferrocarril, etc.) (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, s. f.). • Ayuntamientos. • Sindicatos. • ONGs.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los costos de mantenimiento. • Reducción de pérdidas y daños. • Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la seguridad ferroviaria. • Incremento de la durabilidad de las infraestructuras. • Menores interrupciones del servicio ferroviario.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Si se construyeran nuevas líneas ferroviarias para la diversificación de caminos en caso de eventos extremos, el desmonte de bosques o la fragmentación de ecosistemas para construir podría liberar carbono almacenado en los suelos y reducir la capacidad de captación de CO_2. • Las mejoras en el transporte ferroviario pueden incentivar a la población al uso de este medio en detrimento del coche privado y contribuir así a la reducción de emisiones.
Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • No hay datos de impacto económico para este riesgo.
Recomendaciones de Priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, no obstante, hay que valorar y en su caso programar medidas para afrontar este riesgo. Se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

VERSIÓN NO EDITADA

5 ANÁLISIS DE RIESGOS COMPLEJOS

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (Figuras 7 a 10). El primero de los riesgos clave, el *Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos,* es el que tiene mayor grado de entrada y de salida de los riesgos clave del ámbito sectorial de la Movilidad y el transporte. Por un lado, se ve afectado por riesgos del ámbito sectorial de Costas y medio marino y de los otros tres de Movilidad y transporte (en la Figura 7, aquellos que comienzan con "RC6" y "RC10", respectivamente), y por otro, afecta a riesgos de Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"), Movilidad y transporte ("RC10"), Sistema financiero y actividad Aseguradora ("RC13"), Industria y servicios ("RC11") y Paz, seguridad y cohesión social ("RC14").

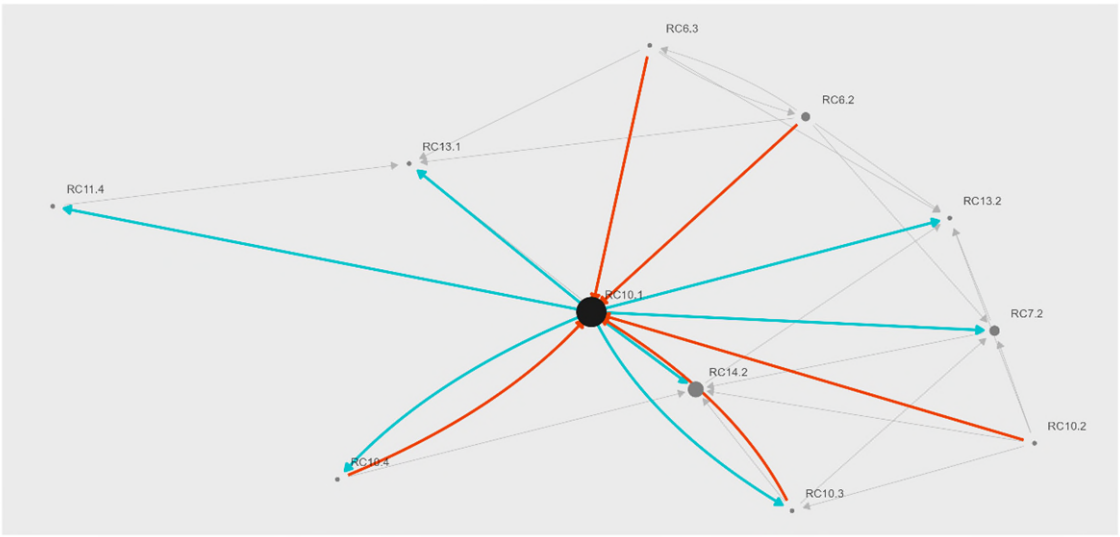


Figura 7. Grafo del Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

El *Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos* se ve afectado solo por el "Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival" (RC2.2) del sector Agua y recursos Hídricos, pero afecta a seis riesgos clave, pertenecientes a los ámbitos sectoriales de Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"); Transporte y movilidad ("RC10"); Sistema financiero y actividad aseguradora ("RC13"); y Paz, seguridad y cohesión social ("RC14")(Figura 8).

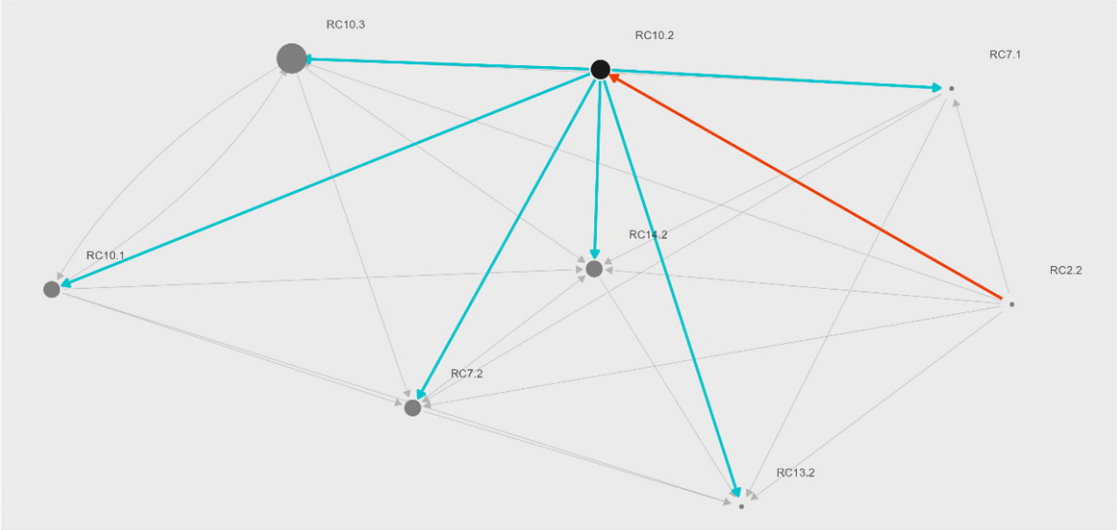


Figura 8. Grafo del Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

El *Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos* se ve afectado por riesgos del propio ámbito sectorial ("RC10"), así como también por riesgos de Agua y recursos hídricos ("RC2"); y Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"). Por otro lado, afecta a riesgos de Ciudad, urbanismo y

VERSIÓN NO

edificación (“RC7”); Movilidad y transporte (“RC10”) y Paz, seguridad y cohesión social (“RC14”) (Figura 9).

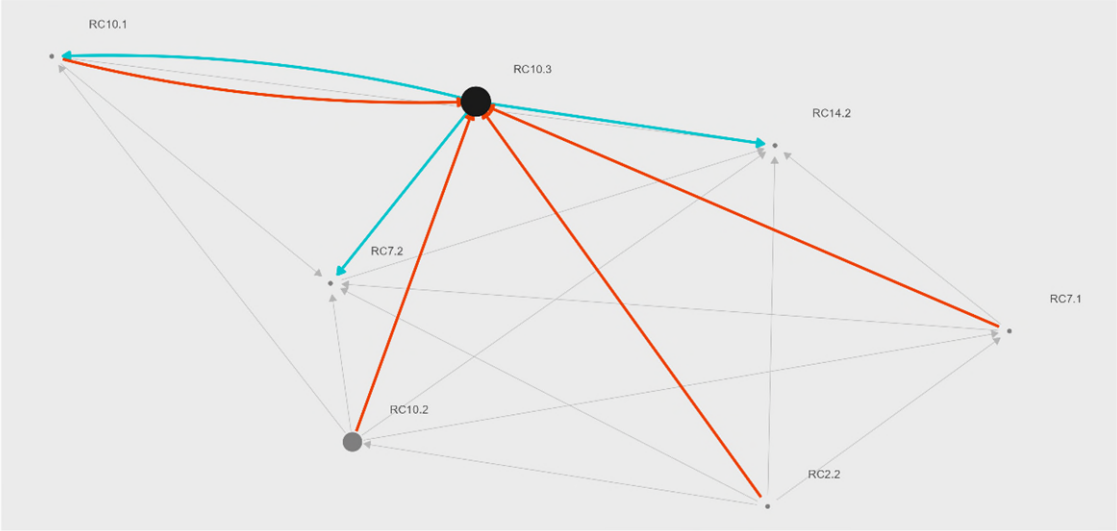


Figura 9. Grafo del Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

El *Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos* se ve afectado por un riesgo del propio ámbito sectorial, así como también un riesgo de Agua y recursos hídricos (“RC2”); y uno de Ciudad, urbanismo y edificación (“RC7”). Por otro lado, afecta a un riesgo clave de Movilidad y transporte (“RC11”); y uno de Paz, seguridad y cohesión social (“RC14”) (Figura 10).

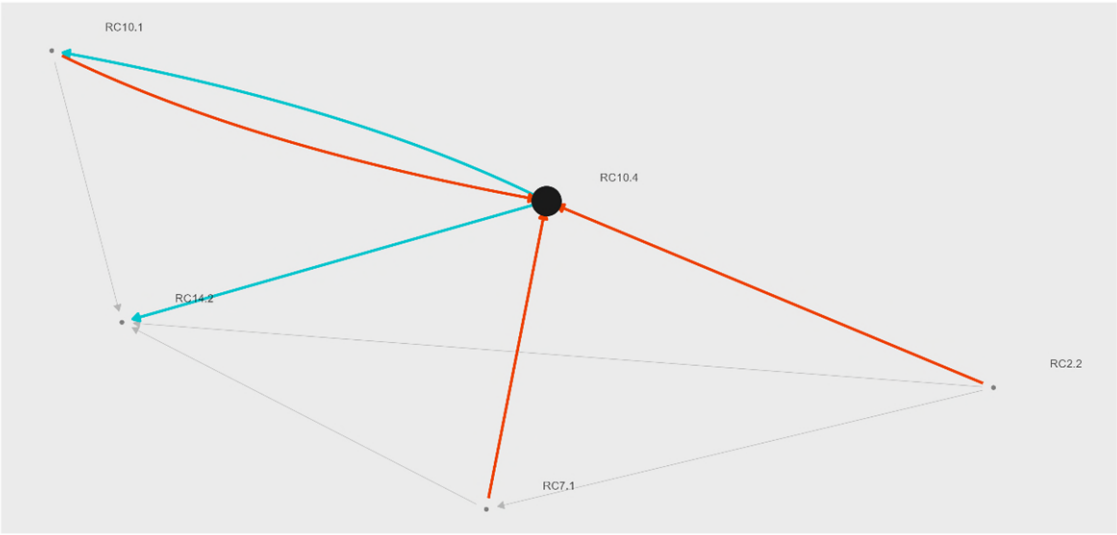


Figura 10. Grafo del Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

Las métricas de estos riesgos clave se resumen en la Tabla 2. Es importante destacar que las categorías utilizadas fueron definidas a partir de dos criterios distintos.
Por un lado, los grados de entrada y salida se clasificaron en dos: de 0 a 10 se considera "bajo", y mayor o igual a 10 se considera "alto".
Por otro lado, las métricas de cercanía e intermediación se agruparon aplicando umbrales fijos, por lo que los valores se distribuyen de la siguiente manera:

- Intermediación:
  - Baja: 0 – 50
  - Media: 50 – 200
  - Alta: >200

- Cercanía:
  - Baja: 0 – 0,005
  - Media: 0,0051 – 0,009
  - Alta: >0,0091

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC10.01 *Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos*	Bajo	Bajo	Baja	Media
RC10.02 *Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos extremos*	Bajo	Bajo	Baja	Media
RC10.03 *Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos*	Bajo	Bajo	Baja	Media
RC10.04 *Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos*	Bajo	Bajo	Baja	Media

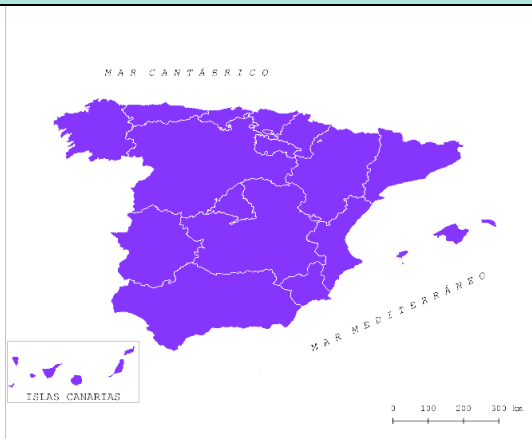
Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de la Movilidad y el transporte.

6 CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Movilidad y transporte. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

VERSIÓN CERRADA

PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO



Ámbito Territorial: De la totalidad de la Red de Carreteras del Estado (RCE), con sus 26.489 kilómetros, el Plan va dirigido únicamente a las carreteras gestionadas directamente por la Dirección General de Carreteras, quedando fuera de su alcance las carreteras gestionadas mediante concesiones, los tramos gestionados por SEITT (Sociedad Estatal de Infraestructuras del Transporte Terrestre) y las autopistas dependientes de la Subdelegación del Gobierno en las Sociedades Concesionarias de Autopistas Nacionales de Peaje. Según el inventario de referencia, la RCE considerada para la evaluación está compuesta por un total de 6.785 unidades mínimas de análisis geolocalizadas de la RCE.

Objeto

El Plan de Adaptación al Cambio Climático (PACC) de la Red de Carreteras del Estado (RCE) tiene como objetivo último constituir el documento de referencia que oriente la actuación de la Dirección General de Carreteras (DGC) en materia de adaptación al cambio climático y mejora de la resiliencia de la red.

Sector(es)/subsector: Transporte por carretera.

Descripción:

El Plan se concibe como una hoja de ruta que permita diagnosticar los principales impactos derivados del cambio climático, mediante una evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de la red viaria, e identificar, proponer y priorizar las medidas de adaptación necesarias para minimizar sus efectos. El documento ofrece una visión estratégica y operativa para apoyar la toma de decisiones que refuercen la capacidad de la red viaria nacional para anticiparse, resistir y recuperarse de los impactos del cambio climático,

VERSIÓN NO EDITADA

Entidad(es) del proyecto:

El promotor es la Subdirección General de Sostenibilidad e Innovación de la Dirección General de Carreteras, coordinador de los trabajos, que ha velado por la coherencia técnica del conjunto, su alineación con las prioridades nacionales y su plena integración en el marco estratégico del Ministerio. La elaboración del Plan, así como el conjunto de trabajos técnicos asociados ha sido realizada por la empresa INECO, que ha asumido un papel central y decisivo en su desarrollo. Para complementar y enriquecer este proceso, se constituyó un grupo de trabajo en el que participaron el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que aportó su conocimiento técnico y científico en materia de infraestructuras y cambio climático, y la iniciativa europea.

Este grupo multidisciplinar ha permitido garantizar un enfoque integral en la elaboración del Plan, incorporando distintas perspectivas que combinan la solvencia técnica, el conocimiento del territorio y la capacidad de aplicación práctica. La colaboración entre estas tres entidades ha facilitado una planificación coherente, adaptada a las características específicas de la red de carreteras del Estado y a los objetivos del Plan.

Escala: Nacional.

Riesgo(s): el presente caso de estudio se encuentra directamente relacionado con dos de los riesgos clave analizados en el presente capítulo:

• Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos (RC2).

• Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (RC3).

garantizando la continuidad del servicio y la seguridad de los usuarios.

La metodología utilizada para este análisis incluye una primera etapa de Evaluación de la Vulnerabilidad de la Red frente a las siete amenazas climáticas que se ha identificado que generan más incidencias sobre la infraestructura y servicios viarios (lluvia intensa, incendios forestales, temperaturas altas, heladas, viento intenso, nevadas y embates de mar). Esta evaluación de la vulnerabilidad se realiza en base a la exposición (grado en que un activo puede verse afectado por las distintas amenazas potenciales según su ubicación geográfica) y la sensibilidad (relacionada con aquellas características intrínsecas de un activo o servicio que influyen en cómo se ve afectado ante un determinado impacto). Esta evaluación se hace para 3 horizontes temporales (cercano, medio y lejano -final de siglo-), y para diferentes escenarios que impliquen un mayor o menor número de emisiones de gases a la atmósfera.

Una vez identificados los activos que se han considerado con vulnerabilidad alta, se pasa a una segunda etapa de Evaluación del Riesgo de éstos, en la que se valora la probabilidad de que las amenazas climáticas se materialicen y la severidad que tendrían sobre los tramos de la Red en caso de ocurrir.

Finalmente, se define una última Etapa para los riesgos catalogados como “altos y “muy altos”, en la que se plantea una propuesta de medidas de adaptación con el objetivo de minimizar los mismos hasta un nivel aceptable.

Estas medidas se definirán en consideración al Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 y su Programa de Trabajo 2021-2025.

VERSIÓN NO EDITADA

Enlaces: no se cuenta con enlaces a la fecha de publicación de este capítulo porque el Plan no se encuentra publicado.	**Aspectos destacables:** La definición de las medidas de adaptación que mitiguen los efectos de las amenazas que provocarían un riesgo alto o muy alto tanto en la infraestructura como en el servicio se plantean en el marco de un Plan de acción que las priorice, monitorice el seguimiento de su implantación (con los correspondientes indicadores y responsables de ese seguimiento), así como un plan de comunicación de los resultados tanto a la población en general, como a otras Administraciones. Es la primera vez que se realiza en España un trabajo en este sector a esta escala. Por otro lado, algunos aspectos transversales al Plan son: • Vulnerabilidad territorial y social. • Integración del enfoque de género. • Movilidad y corredores militares prioritarios. Por último, cabe mencionar que los factores determinados en el PACC de la RCE son totalmente escalables y replicables, ya que la exposición y la probabilidad se han calculado a nivel de todo el territorio peninsular. Por otro lado, tanto la sensibilidad como la gravedad se han determinado para los activos y tramos estudiados en cuestión, adaptando la metodología a la casuística de estos, pero la forma de hacerlo se podría aplicar a otra tipología de elementos.

VERSIÓN NO EDITADA

7 LIMITACIONES Y PARTICULARIDADES METODOLÓGICAS DEL SECTOR

Este capítulo analiza los principales riesgos derivados del cambio climático que afectan al sector de la movilidad y el transporte en España, así como su relación con otros ámbitos sectoriales. Además, identifica una serie de riesgos clave basándose en la información disponible incluyendo, entre otros aspectos, una evaluación de la severidad del impacto. Finalmente, se han establecido prioridades en base a la urgencia del riesgo, la necesidad de seguimiento y gestión del mismo, con el objetivo de orientar la planificación y gestión de la adaptación.

Para comprender las limitaciones de los resultados presentados, es importante señalar ciertos condicionantes detectados durante el proceso, principalmente relacionados con la disponibilidad de información y las características propias del sector. A continuación, se presentan de manera general las fuentes utilizadas y, posteriormente, se detallan los factores que han condicionado la elaboración del capítulo y la evaluación de los riesgos más relevantes.

- Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021 contempla explícitamente un análisis de riesgos del sector. Además, se han utilizado para la confección de este capítulo otros estudios como el de Naturklima, (2020); CEDEX, (2018); Christodoulou, A. & Demirel, H., (2018); IHOBE, (2022b) y CEDEX, (2011). Para el sector portuario, particularmente, se ha indagado en fuentes como planes de adaptación de puertos de comunidades autónomas (CIIR, 2023; Ports IB, 2021; Gobierno del Principado de Asturias, 2021; IHCantabria, 2021a; IHCantabria 2021b).

- Limitaciones relativas a las características del sector

Por un lado, y como se mencionó en la sección 3. Riesgos relevantes, este capítulo se centra en un análisis desde la perspectiva física de las infraestructuras, pero aún es necesario ampliarlo al ámbito de la movilidad. Es decir, se ha puesto mayor énfasis en el impacto de los eventos climáticos sobre las vías de comunicación (férreas y carreteras) y las estaciones (puertos y terminales de tren) que, en los pasajeros y mercancías desde una perspectiva global, así como en otros medios de transporte, como el peatonal y el uso de la bicicleta.

Además, este sector es propenso a enfrentar peligros climáticos simultáneos, un aspecto para el que actualmente no se dispone de información suficiente y por tanto no ha sido evaluado de esta forma.

Si bien hay análisis en desarrollo sobre la red troncal de transporte terrestre, se ha identificado la falta de un análisis más profundo sobre redes secundarias que no forman parte de la red general. Lógicamente, esta aproximación, que comienza por aquellas infraestructuras cuya afección podría repercutir en un mayor número de personas, servicios y sectores, resulta comprensible desde una perspectiva estratégica, y es previsible que se avance gradualmente hacia una cobertura más amplia.

Por otra parte, este estudio no contempla la proyección de la expansión de la red de transporte. Es decir, si bien se analizan escenarios futuros de peligro, no se tiene en cuenta cómo evolucionarán las redes de transporte, en continua expansión, lo que modificará su exposición y vulnerabilidad en el futuro.

- Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

Por lo general, la identificación de los riesgos relevantes se ha basado en estudios que identifican y valoran los impactos climáticos del sector de forma cualitativa, ya que la cuantificación de los impactos y riesgos es aún limitada para el territorio.

VERSIÓN NO EDITADA

Por otro lado, cabe indicar que todos estos estudios han sido elaborados para los escenarios denominados Sendas Representativas de Concentración o Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, de sus siglas en inglés), por lo que parecen estar basados en la anterior generación de simulaciones climáticas (desarrolladas en el marco de CMIP5 o vinculadas a las mismas). La ausencia de estudios y proyectos que hagan mención a combinaciones de RCP y Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés) pone de manifiesto que los análisis de riesgos realizados no parten de los últimos modelos globales y regionales disponibles, lo cual es esperable, dado que hasta fechas muy recientes no se dispone de un cuerpo de simulaciones regionales lo suficientemente amplio para evaluar aspectos como la incertidumbre.

Por todo ello, se requiere seguir trabajando para generar conocimiento en torno a los impactos y riesgos del cambio climático en la movilidad y el transporte, tanto en lo relativo a la identificación riesgos para nuevos peligros, como en la mejora de la precisión de las evaluaciones existentes. Es crucial, además, desarrollar estudios que integren los últimos escenarios y modelos disponibles para obtener una visión más completa y precisa de los posibles futuros impactos climáticos.

- Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El AMC elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de expertos.

Si bien el juicio de expertos puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, para mitigar dicho riesgo, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos, reforzando así la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

- Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible hasta la fecha complica la caracterización de los riesgos clave, particularmente en lo que respecta a la descripción de aspectos como efectos transfronterizos, vulnerabilidad social y territorial, y la perspectiva de género. Además, el análisis de la severidad de los impactos en los diferentes riesgos clave bajo umbrales concretos de calentamiento aún no se encuentra documentada a escala nacional. Es por ello que la información recopilada en las fichas sobre estos temas es una aproximación preliminar, y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de estas cuestiones.

- Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente analizados se enfocan en evaluar peligros climáticos específicos y aspectos particulares del sector. Como resultado, no se han encontrado análisis que ofrezcan una visión integral de los riesgos e impactos, especialmente en aquellos con un alto potencial de ser compuestos, lo que dificulta representar con precisión la realidad del sector.

Por ello, es crucial ampliar el conocimiento sobre las interacciones entre los riesgos dentro del sector y con otros sectores. Esto permitirá comprender mejor cómo los riesgos compuestos pueden afectarlo en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y eficaces.

VERSIÓN NO EDITADA

8 REFERENCIAS

AdapteCCa. (s.f.). *Visor de Escenarios de Cambio Climático*. Recuperado 11 de junio de 2025, de https://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE

ADIF. (2018). *Plan de Lucha Contra el Cambio Climático 2018—2030*. Disponible en: https://www.adif.es/documents/20124/1809001/PLCCC_publicacion.pdf

ADIF. (2021). *Adif analiza la eficacia de pintar de blanco tramos de carril para evitar su deformación por altas temperaturas*. Disponible en: https://www.adif.es/w/adif-analiza-la-eficacia-de-pintar-de-blanco-tramos-de-carril-para-evitar-su-deformaci%C3%B3n-por-altas-temperaturas?p_l_back_url=%2Fsearch%3Fq%3Dtemperaturas

ADIF. (2023a). *ADIF adjudica el suministro de energía verde para el sistema ferroviario*. Disponible en: https://www.adif.es/-/adif-av-adjudica-el-suministro-de-energ%C3%ADa-verde-para-el-sistema-ferroviario-por-1.741-m%E2%82%AC

ADIF. (2023b). *Adif destina 7,3 millones de euros a actuaciones para el control de la vegetación en vías de alta velocidad*. Disponible en: https://www.adif.es/w/adif-destina-7-3-millones-de-euros-a-actuaciones-para-el-control-de-la-vegetaci%C3%B3n-en-v%C3%ADas-de-alta-velocidad?p_l_back_url=%2Fsearch%3Fq%3Dtemperaturas

ADIF. (2023c). *Renovación del viaducto Itsmo Embalse Contreras (LAV Madrid-Valencia)*. Disponible en: https://www.adif.es/w/renovacion-viaducto-itsmo-embalse-contreras-lav-madrid-valencia?p_l_back_url=%2Fsearch%3Fq%3Dtemperaturas

AEMET. (s.f.). *Cálculo de rutas y Predicción de las condiciones meteorológicas en las carreteras*. Agencia Estatal de Meteorología. Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/Meteoruta/CalculoRutas_ayuda.pdf

AEMET. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Agencia Estatal de Meteorología.

AEMET. (2025). *Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos metereológicos adversos. Meteoalerta*. Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/avisos/plan_meteoalerta/plan_meteoalerta.pdf

AESA. (2024). *Informe General de Actividad 2024*. Disponible en: https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/SIG-IGA-MEM04%20Ed.01_Version%20Web.pdf

Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (s.f.). *Empresas ferroviarias | AESF: AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD FERROVIARIA*. Recuperado 2 de junio de 2025, de https://www.seguridadferroviaria.es/agentes-sector-ferroviario/empresas-ferroviarias

Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (2018). *Limitaciones de velocidad máxima por vientos laterales*.

Aguado, M., Del Viso, N., Tirado, S., Narocki, C., Sánchez, Á. R., Contreras, C., & Blanca, R. (2022). *Desigualdades climáticas: Impactos y responsabilidades de los eventos meteorológicos extremos*.

VERSIÓN NO EDITADA

Alguacil Denche, L., Canals Botas, L., Llano Ortiz, J. C., Sanz Angulo, A., & Urbano Molina, C. (2024). *El estado de la pobreza 2024. Primer avance de resultados*.

Almeida, A., & Picado-Santos, L. (2022). Asphalt road pavements to address climate change challenges—an overview. *Applied Sciences*, 12(24), 12515. https://doi.org/10.3390/app122412515

Betts, R. A., & Brown, K. (2021). *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*. Disponible en: https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Technical-Report-The-Third-Climate-Change-Risk-Assessment.pdf

Cadena SER. (2024). *Adelpa se suma a la petición de ayudas directas a los afectados por el cierre del Somport*. Disponible en: https://cadenaser.com/aragon/2024/09/27/adelpa-se-suma-a-la-peticion-de-ayudas-directas-a-los-afectados-por-el-cierre-del-somport-radio-jaca-ser-pirineos/?utm_source=chatgpt.com

Castañares, G. (2018). La adaptación al cambio climático en el transporte ferroviario en España. *Ingeniería Civil*. Disponible en: https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2353

Castellón al día. (2024). *El transporte de mercancías por carretera en alerta al quedarse fuera de las ayudas del gobierno por la Dana*. Disponible en: https://castellonaldia.elmundo.es/economia/otros-sectores/el-transporte-de-mercancias-por-carretera-en-alerta-al-quedarse-fuera-de-las-ayudas-del-gobierno-por-la-dana-PM21875381

CEDEX. (2011). *Infraestructuras de transporte y cambio climático*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/seminarioPNACC/16-Infraestructuras%20transporte-CETA-CEDEX_tcm30-169544.pdf

CEDEX. (2013). *Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Informe final septiembre de 2013*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/ACC&IT_tcm30-178333.pdf

CEDEX. (2018). *Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambios climáticos*. Disponible en: https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/accit_informe_final_cedex.pdf

CEDEX. (2021). *Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España*.

Christodoulou, A., & Demirel, H. (2018). *Impacts of climate change on transport: A focus on airports, seaports and inland waterways*. EU Publications. https://doi.org/10.2760/378464

CIIR (2023). Plà d'adaptació al canvi climàtic dels ports de Catalunya. Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners.

Climate-KIC. (2018). *Annual damage to Europe's critical infrastructure may increase tenfold this century*. Disponible en: https://www.climate-kic.org/news/annual-damage-europes-critical-infrastructure-may-increase-tenfold-century/

Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno. (2024). *Estrategia Nacional de Seguridad Marítima 2024*. Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/o/2024/05/27/pjc501

DGT. (2024). *Efecto Dana en carreteras*. Dirección General de Tráfico. Disponible en: https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/20241103-efecto-dana-carreteras?utm_source=chatgpt.com

VERSIÓN NO EDITADA

Diario Oficial de la UE. (2021). *Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027*. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ%3AC%3A2021%3A373%3AFULL

Dottori, F., Kalas, M., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., & Feyen, L. (2017). An operational procedure for rapid flood risk assessment in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7), 1111-1126. https://doi.org/10.5194/nhess-17-1111-2017

Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, Alfieri L and Feyen L, Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change, EUR 29955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12946-2, doi:10.2760/14505, JRC118425

EEA. (2024). *European Climate Risk Assessment* (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://data.europa.eu/doi/10.2800/204249

Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., & Corbane, C. (2023). *Towards a European wide vulnerability framework: A flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators*. Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2760/353889

Fernandez-Perez, A., Lara, J. L., Lucio, D., & Losada, I. J. (2024). Compound climate change risk analysis for port infrastructures. *Coastal Engineering*, 193, 104560. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104560

Forzieri, G., Bianchi, A., Silva, F. B. E., Marin Herrera, M. A., Leblois, A., Lavalle, C., Aerts, J. C. J. H., & Feyen, L. (2018). Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Global Environmental Change*, 48, 97-107. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007

Generalitat de Catalunya. (2021). *Pla d'adaptació al canvi climàtic de 10 ports representatius de Catalunya*. Disponible en: https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/02_OFICINA/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Estudis_i_docs_adaptacio/PIMA_Adapta_Costas/PACC_2021-PIMA-Ports-Catalunya_v4_definitiu.pdf

Gobierno de Canarias. (2021). *Informe PIMA ADAPTA COSTAS CANARIAS*. Disponible en: https://opendata.sitcan.es/upload/medio-ambiente/pima/INFORME_PIMA_ADAPTA_COSTAS_CANARIAS.pdf

Greenpeace. (2024). *Es urgente recuperar el Parque Natural de l'Albufera*. Disponible en: https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/greenpeace-demanda-la-actuacion-urgente-sobre-el-parque-natural-de-lalbufera-y-su-cuenca-hidrografica-para-recuperar-el-espacio-tras-la-devastacion-provocada-por-la-dana/

Huffpost. (2025a). *La borrasca Martinho golpea en forma de inundaciones y desalojos antes de sus peores horas*. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/tiempo/la-borrasca-martinho-golpea-forma-inundaciones-desalojos-peores-horas.html

Huffpost. (2025b). *Varias personas desaparecidas, clases suspendidas, carreteras cortadas y tráfico marítimo interrumpido: Así afecta a España la borrasca Laurence*. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/tiempo/colegios-cerrados-carreteras-cortadas-trafimo-maritimo-interrumpido-asi-afecta-espana-borrasca-laurence.html?utm_source=chatgpt.com&onetap=1&prod=REG&event_log=go

IHCantabria (2021a). Plan de adaptación de los puertos autonómicos de Cantabria.

IHCantabria (2021b). Plan autonómico de adaptación de los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos a la comunidad autónoma de Murcia.

VERSIÓN NO EDITADA

IHOBE. (2022a). *Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en escenarios de cambio climático en Euskadi*. Disponible en: https://www.ihobe.eus/publicaciones/inundacion-pluvial-asociada-a-eventos-extremos-previpitacion-en-escenario-cambio-climatico-en-euskadi

IHOBE. (2022b). *Kostaegoki I. Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático*. Disponible en: https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-i-analisis-vulnerabilidad-y-riesgo

INE. (2024). *Viajeros transportados por destino*. Disponible en: https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=24363#_tabs-tabla

International Labour Organization. (2023). *Documento de la OIT sobre la protección de los trabajadores en el transporte*. Disponible en: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@travail/documents/publication/wcms_869188.pdf

International Trade Magazine. (2023). Will climate change alter trade routes around the world? Disponible en: https://intrademagazine.com/will-climate-change-alter-trade-routes-around-the-world/

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group

Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L., & Stenek, V. (2021). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change, 11*(1), 14-20. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z

Jebbad, R., Sierra, J. P., Mösso, C., Mestres, M., & Sánchez-Arcilla, A. (2022). Assessment of harbour inoperability and adaptation cost due to sea level rise. Application to the port of Tangier-Med (Morocco). *Applied Geography, 138,* 102623. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102623

Jordà, G., Cacho, I., Argueso, D., Ayarzagüena, B., & Ballabrera-Poy, J. (2024). *Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España*. SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico (MITECO).

La Moncloa. (2024). Recuperación de cercanías y alta velocidad dañadas. Disponible en: https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transportes-movilidad-sostenible/paginas/2024/261124-recuperacion-cercanias-alta-velocidad-dana.aspx

La Voz Digital. (2025). La circulación de trenes entre Cádiz y Sevilla queda interrumpida por inundaciones. Disponible en: https://www.lavozdigital.es/provincia/circulacion-trenes-cadiz-sevilla-queda-interrumpida-inundaciones-20250318163643-ntv.html

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. (2021). *Boletín Oficial del Estado*, No. 7/2021. Disponible en: https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/21/pdfs/BOE-A-2021-8447.pdf

Losada Rodríguez, I. J., Izaguirre Lasa, C., & Díaz Simal, P. (2014). *Cambio climático en la costa española*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf

Marcos, M., Orfila, A., Tintoré, J., & Gómez-Pujol, L. (2021). *Análisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears [Informe]*. SOCIB. Disponible en: https://www.caib.es/sites/adaptcalamillor/ca/n/analisis_de_riesgos_en_la_costa_ante_el_cambio_climatico_en_las_illes_balears

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). *Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española*. Disponible en:

VERSIÓN NO EDITADA

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategiaadaptacionccaprobada_tcm30-420088.pdf

Ministerio de Industria y Turismo. (2022). *Presentaciones sectoriales 2024: Sector industrial.*

Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. (s.f.). El cambio climático degradará las infraestructuras e incrementará los costes de mantenimiento | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030. Recuperado de https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/el-cambio-climatico-degradara-las-infraestructuras-e-incrementara-los-costes-de?utm_source=chatgpt.com

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s.f.). *Estudio socioeconómico del sector transporte por carretera.* Disponible en: https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/estudiosocioeconomicosectortteporcarreterav2.pdf

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2020). El cambio climático degradará las infraestructuras e incrementará los costes de mantenimiento. Disponible en: https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/el-cambio-climatico-degradara-las-infraestructuras-e-incrementara-los-costes-de

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024). Transportes habilita 94 millones de euros más de fondos de emergencia y ya suma 123 millones para recuperar las carreteras de València tras la DANA. Disponible en: https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/vie-22112024-1346

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenibles, Puertos del Estado. (s.f.). *Bienvenida del Presidente | Puertos del Estado.* Recuperado de https://www.puertos.es/institucional/bienvenida-del-presidente

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Puntos de especial importancia en zona inundable por periodo de retorno (T=10 años) y demarcación [Base de datos].* Disponible en: https://sig.mapama.gob.es/Docs/Agua/PtoRiesgoInundacion/PEI.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023a). *La protección de la costa en España: Diagnóstico de la situación actual.* Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/temas-pc/planestrategiconacional/Diagnostico%20de%20la%20protecci%C3%B3n%20de%20la%20costa%20en%20Espa%C3%B1a.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023b). *Metodología de adaptación al cambio climático en carreteras.* CEDEX, Servicio de Publicaciones.

Naturklima. (2020). *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa.* Disponible en: https://www.naturklima.eus/documentos/documentos/Informe-de-Impacto-y-Vulnerabilidad-CAS.pdf

Naturklima. (2021). *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa 2021.*

Nemry, F., & Demirel, H. (2012). *Impacts of climate change on transport: A focus on road and rail transport infrastructures.* Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2791/15504

Nokkala, M., Leviäkangas, P., & Oiva, K. (2012). *The costs of extreme weather for the European transport system.* Disponible en: https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/technology/2012/T36.pdf

Observatorio del Transporte y la Logística en España. (s.f.). *Portal del Observatorio del Transporte y la Logística en España [Base de datos].*

VERSIÓN NO EDITADA

Observatorio del transporte y la logística en España. (2022). 3.8.3 El transporte en el comercio exterior | OTLE. Disponible en: https://otle.transportes.gob.es/inform/es/2022/3competitividad/38-internacionalizacion/383el-transporte-en-el-comercio-exterior-

Observatorio del transporte y la logística en España. (2023). 3.1.1 Ocupados en el sector transporte según género | OTLE. Disponible en: https://otle.transportes.gob.es/monografico/perspectiva_genero_mayo24/3empleo-genero-sector-profesional-transporte/31-estructura-empleo-genero/311-ocupados-sector-transporte-genero

Observatorio del transporte y la logística en España. (2025). *Informe anual 2024.*

Ortega, E., Martín, B., & Aparicio, Á. (2020). Identification of critical sections of the Spanish transport system due to climate scenarios. *Journal of Transport Geography, 84,* 102691. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102691

Ports IB (2021). Plan de adaptación al cambio climático de los puertos de las Illes Balears.

Gobierno del Principado de Asturias (2021). Plan de adaptación al cambio climático de los puertos autonómicos del Principado de Asturias.

Puertos del Estado. (s.f.-a). *Cuadro de Mando anual [Base de datos].*

Puertos del Estado. (s.f.-b). *Estadísticas de datos [Base de datos].* Recuperado de https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOGNmZjE3MzEtNGI5OS00MTg3LWI3OWMtOWI1YzgzNWUyYzI5IiwidCI6IjNmODhkYzIyLTk5NTUtNDc0Yy04ODBhLTA4ZjEzNmI5NjU5YyIsImMiOjh9

Puertos del Estado. (2016). *Vulnerabilidad de los puertos españoles ante el cambio climático. Vol. 1: Tendencias de variables físicas oceánicas y atmosféricas durante las últimas décadas y proyecciones para el siglo XXI.* Disponible en: https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/8809

Puertos del Estado. (2024). *Dossier general de Puertos del Estado.* Disponible en: https://www.puertos.es/sites/default/files/2024-02/Puertos%20del%20Estado%20-%20Dossier%20general%20Desktop.pdf

Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K. J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Rojas Corradi, M., Sillmann, J., Aalst, M. van, Viner, D., Jones, R., Ruane, A. C., & Ranasinghe, R. (2020). *The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions.* Intergovernmental Panel on Climate Change.

Sánchez-Arcilla, A., Sierra, J. P., Brown, S., Casas-Prat, M., Nicholls, R. J., Lionello, P., & Conte, D. (2016). A review of potential physical impacts on harbours in the Mediterranean Sea under climate change. *Regional Environmental Change, 16*(8), 2471-2484. https://doi.org/10.1007/s10113-016-0972-9

Sancho, F. (2024, agosto 8). Medidas a seguir por los transportistas para combatir la enésima ola de calor de este verano. *TransporteAlDía.es - Noticias sobre transporte y logística*. Disponible en: https://www.transportealdia.es/medidas-seguir-transportistas-combatir-enesima-ola-calor-verano/

Sanz, M. J., & Galán, E. (2020). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España.* Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Serkan Arslanalp, Robin Koepke, Alessandra Sozzi, & Jasper Verschuur. (2023). *Climate change is disrupting global trade.* Disponible en: https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/11/15/climate-change-is-disrupting-global-trade

VERSIÓN NO EDITADA

Statista Research Department. (2024). *España: Llegadas de turistas en tren 2000-2023.* Statista. Disponible en: https://es.statista.com/estadisticas/474970/llegadas-de-turistas-internacionales-a-espana-en-tren/

TCFD. (2020). *Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Guidance on Risk Management Integration and Disclosure.*

UCMG. (2018). *Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s.XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro.* Disponible en: https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2018_uc_proyecciones_regionales_cc_vientos_extremos_0.pdf

UNDRR. (2022). *Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

United Nations. (2024). *Review of maritime transport: Navigating maritime chokepoints.* United Nations Publication.

URBAN KLIMA. (2050). *Adaptación de los puertos.* Disponible en: https://www.urbanklima2050.eu/es/adaptacion-de-los-puertos/accion/18/

Van Ginkel, K. C. H., Dottori, F., Alfieri, L., Feyen, L., & Koks, E. E. (2021). Flood risk assessment of the European road network. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 21*(3), 1011-1027. https://doi.org/10.5194/nhess-21-1011-2021

Van Ginkel, K. C. H., Koks, E. E., De Groen, F., Nguyen, V. D., & Alfieri, L. (2022). Will river floods 'tip' European road networks? A robustness assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 108,* 103332. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103332

Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2023). Systemic risks from climate-related disruptions at ports. *Nature Climate Change, 13*(8), 766-777. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01754-w

Zittis, G., Ahrens, B., Obermann-Hellhund, A., Giannakis, E., Risto, D., Agulles Gamez, M., Jorda, G., Quesada Peña, M., Lora Rodríguez, V., Guersi Sauret, J. L., Lionello, P., Briche, E., Collignan, J., Grätz, M., Arikas, D., Stylianou, C., Neophytou, H., & Serghides, D. (2023). Maritime transport and regional climate change impacts in large EU islands and archipelagos. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, 8*(2), 347-380. https://doi.org/10.1007/s41207-023-00370-6

VERSIÓN NO EDITADA