



# Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático

## Sector Transporte

**Edita:**

Consejería de Medio Ambiente, 2012

**Consejero de Medio Ambiente:**

José Juan Díaz Trillo

**Director General de Cambio Climático y Medio Ambiente Urbano:**

José Fiscal López

**Dirección facultativa:**

Miguel Méndez Jiménez

**Equipo de trabajo:**

*Consejería de Medio Ambiente*

Miguel Méndez Jiménez

Rafael Barba Salcedo

*Agencia de Medio Ambiente y Agua*

Carlos Juan Ceacero Ruiz

Eduardo Navarrete Mazariegos

Francisco Manuel Jiménez Brenes

Susana Álvarez Peláez

Ana Isabel Mesas Robles

Jorge Soria Tonda

**Fotografías:**

Luana Fischer Ferreira: portada, 21, 43, 82

Teresa Miró Matín: 103

No autor: 4, 11, 47, 48, 60, 152

**Diseño gráfico y maquetación:**

Carlos Manzano Arrondo

<b>1. Objeto</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Objetivos, alcance y limitaciones</b> .....	<b>9</b>
<b>4. Metodología</b> .....	<b>12</b>
<b>5. Análisis de los Escenarios regionalizados de cambio climático</b> .....	<b>15</b>
5.1. Temperaturas medias de las máximas y mínimas anuales y precipitación anual .....	15
5.2. Aumento de temperaturas y variación de la precipitación en 2050 respecto a 1961-90... 19	
<b>6. Caracterización del sector transporte en Andalucía</b> .....	<b>22</b>
6.1. Transporte de mercancías .....	30
6.2. Transporte de pasajeros .....	32
6.3. Transporte no motorizado.....	36
6.4. Escenario socioeconómico actual .....	37
6.5. Escenario socioeconómico futuro.....	39
<b>7. Evaluación de la vulnerabilidad</b> .....	<b>44</b>
7.1. Vulnerabilidad asociada al efecto directo de la temperatura y la precipitación .....	44
7.2. Vulnerabilidad asociada a la erosión.....	46
7.3. Vulnerabilidad asociada a la geología (arcillas expansivas).....	50
7.4. Vulnerabilidad asociada a la variación en la altura de las olas (evolución del clima marítimo) .....	51
7.5. Vulnerabilidad asociada a eventos climáticos extremos (avenida e inundación) .....	53
7.6. Conclusiones.....	58
<b>8. Identificación de impactos potenciales</b> .....	<b>61</b>
8.1. Identificación de impactos potenciales.....	61
8.2. Clasificación de impactos .....	65
8.3. Impactos indirectos.....	71
<b>9. Opciones y medidas de adaptación</b> .....	<b>80</b>
9.1. Respuestas operacionales .....	80
9.2. Cambios en el diseño de infraestructuras.....	81
9.3. Planificación y ordenación territorial .....	82
9.4. Resumen de medidas .....	82
9.5. Principales necesidades de investigación .....	90
9.6. Conclusiones.....	91
<b>10. Anejo 1: Cartografía</b> .....	<b>94</b>
<b>11. Anejo 2: Revisión de Publicaciones</b> .....	<b>102</b>
<b>12. Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040.</b> .....	<b>119</b>
<b>13. Anejo 4: Escenarios regionalizados de Cambio Climático: conceptos básicos</b> ....	<b>151</b>
<b>14. Bibliografía</b> .....	<b>153</b>

# 1 Objeto

El cambio climático y sus implicaciones ambientales y socioeconómicas constituyen, sin duda, uno de los mayores retos al que se enfrenta la humanidad en la actualidad. Por ello, las distintas administraciones y organismos internacionales, nacionales y regionales están elaborando planes y programas de trabajo con el objeto de combatir esta situación.

En este contexto, se debe destacar el trabajo realizado por el Gobierno andaluz, que en 2002 elaboró la **Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático** (Consejería de Medio Ambiente, 2002), anticipándose al Gobierno de la nación, que lo haría en 2007. Entre los principales objetivos de la Estrategia Andaluza se encuentran el profundizar en el conocimiento de la variabilidad climática, garantizar una adecuada coordinación institucional, adaptar la legislación y normativa andaluzas a la española y europea, analizar la vulnerabilidad e impactos del cambio climático en distintos sectores económicos considerados de especial interés y establecer medidas para la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Para materializar estos objetivos, la Junta de Andalucía aprobó en 2007 el **Plan Andaluz de Acción por el Clima**, que incluía tres programas de trabajo: el de Mitigación (2007-2012) (Consejería de Medio Ambiente, 2007), el de **Adaptación** (Consejería de Medio Ambiente, 2010) y por último, el de **Comunicación y Participación**.

El presente estudio se enmarca en el Programa de Adaptación, cuyo objetivo principal es hacer menos vulnerables a los sectores y sistemas andaluces, aumentando su capacidad de adaptación gracias a instrumentos de planificación y analizar los impactos del cambio climático sobre estos sectores con un fin preventivo o, cuando esto no sea posible, alcanzar la adaptación a los mismos.

Es obvio que el cambio climático tendrá efectos directos sobre el sector del transporte andaluz. Todas las infraestructuras de transporte y sus servicios relacionados (incluyendo aquí las operaciones de mantenimiento y la prestación de servicios) son sensibles a los cambios del clima, que incluirán las condiciones de humedad y temperatura, así como en la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos.

Por ello, en el presente trabajo se tratará de evaluar estos efectos y se propondrán una serie de medidas de adaptación y líneas de investigación necesarias para abordarlos con éxito.





## 2 Introducción

A nivel internacional, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), en su **III y IV Informe de Evaluación del II Grupo de Trabajo** (IPCC, 2001b; IPCC, 2007) describe brevemente las principales amenazas y opciones de adaptación para el sector del transporte, dentro del ámbito de la energía, que pueden derivarse del cambio climático.

Este segundo grupo de trabajo considera necesaria la integración del cambio climático en las políticas nacionales de transporte y la inversión en I+D, previendo situaciones especiales que requieran de soluciones novedosas en las infraestructuras y en los medios de transporte. Igualmente, como estrategia de adaptación, considera nuevas normas de diseño y planificación de carreteras, ferrocarriles y otras infraestructuras para hacer frente a nuevas situaciones originadas por el impacto del cambio climático, como el calentamiento o el drenado del suelo.

Se han publicado también diversos estudios ad-hoc en los que se analizan los impactos sobre las infraestructuras y los servicios de transporte originados por el cambio climático, en sus correspondientes Planes de Adaptación, en países tales como Reino Unido, Canadá y Estados Unidos. Ciudades como Londres han elaborado también documentos acerca de los impactos específicos sobre el sector transporte y sus opciones de adaptación (*The impacts of climate on London*; UKCIP, 2002), cuya revisión resulta de interés para el tema bajo estudio. En el Anexo 2 de este estudio, se presenta una revisión de estas publicaciones, donde se resumen los objetivos, las metodologías y las conclusiones de cada uno de estos documentos.

La Comunidad Europea, desde su creación en 1957, se ocupó de dotarse de una política común de transportes, en los ámbitos terrestre (carretera y ferrocarril) y marino (fluvial y marítimo) en un primer momento y, a partir de los años 70, también en el aéreo.

Y es que desde el inicio comunitario, se entendió que una política común de transportes serviría para cohesionar económica y socialmente la Unión Europea, y la ha ido configurando a lo largo del tiempo, como un instrumento capaz de garantizar la movilidad de las personas y de las mercancías en el mercado interior europeo y, posteriormente, también respecto a terceros países. Esta garantía, cada vez se ve más asociada a la seguridad y a la protección del medio ambiente, como pueda ser la disminución de las emisiones de GEI o la reducción del ruido.

Con estos parámetros apareció un primer Libro Blanco de la Comisión Europea en 1992 sobre el futuro de la política común de transportes, que incidía como objetivo primordial en la apertura del mercado del transporte en los tres ámbitos mencionados anteriormente, lo que una década más tarde era ya una realidad, con un aumento de la movilidad de las personas y un incremento del transporte transnacional de mercancías por tierra, mar, ríos y aire.

En septiembre de 2001, surgió la necesidad de que la Unión Europea aprobase un nuevo **Libro Blanco sobre el Transporte**, ahora con el lema de “**La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad**” (Comisión de las Comunidades Europeas, 2001), cuyo objetivo era el de recoger las medidas necesarias para configurar una movilidad sostenible en Europa, a través de las iniciativas y propuestas legislativas oportunas.

El Libro Blanco constaba de un Programa de Acción con 60 medidas concretas que intentarían compatibilizar el desarrollo económico con la movilidad de las personas y de las mercancías, apostando por un equilibrio entre los diferentes medios de transporte, luchando contra la congestión y los efectos adversos medio ambientales y, finalmente, reorientando la política de transportes hacia el ciudadano, con un aumento de la seguridad y de la calidad en los desplazamientos de pasajeros y mercancías.

El Libro Blanco contemplaba, además del Plan de Acción, un mecanismo de seguimiento y la previsión de un informe de seguimiento intermedio del Libro, para llevar a cabo un estudio del cumplimiento de los objetivos planteados. Esa revisión intermedia del Libro Blanco que se hizo en 2006 y que supuso un conjunto de reflexiones fruto de una amplia participación, desembocó en la aprobación en 2007, por parte de la Comisión Europea, del **Libro Verde: hacia una nueva cultura de la movilidad** urbana (Comisión de las Comunidades Europeas, 2007).

El Libro Verde viene a suponer una aportación crucial al programa de adaptación del sector del transporte al cambio climático en la Unión Europea, señalando que para adaptar las infraestructuras de transporte existentes a condiciones climáticas cambiantes, garantizando en todo momento su funcionamiento seguro, habrá que realizar inversiones suplementarias considerables. En este sentido, se propone que las nuevas infraestructuras ligadas al transporte se proyecten y construyan teniendo en cuenta esos cambios climáticos, citando, a modo de ejemplo, la variación del régimen hidrológico y del nivel del agua en los ríos navegables, que ha tenido ya efectos sobre la arquitectura de los buques de navegación interior.

Por otro lado, el Libro Verde recomienda que toda planificación prudente debe tener en cuenta las condiciones climáticas previstas para el futuro, por ejemplo, a la hora de seleccionar la ubicación de las infraestructuras. Igualmente, propone que sería de gran utilidad proporcionar ya a las autoridades portuarias y a los gestores de infraestructuras de ríos navegables, las orientaciones oportunas para que adapten las infraestructuras previstas al marco comunitario vigente, en el que se enmarca el Libro Verde.

Al tiempo que se elaboraba la revisión del primer Libro Blanco, la Comisión Europea aprobó en ese año 2006 la Estrategia Temática sobre Medio Ambiente Urbano (Comisión de las Comunidades Europeas, 2006a), con el objetivo de mejorar la calidad ambiental de las ciudades para hacer de ellas centros de vida, trabajo y ocio, en un contexto atractivo, saludable y respetuoso con el entorno.

La Estrategia tenía cuatro ámbitos de aplicación, uno de los cuales era el de la movilidad que, entre otras medidas recomendadas, contemplaba la del impulso de planes de transporte urbano sostenible en los países miembros de la Unión Europea, orientando dicha planificación hacia la consecución de unos modos de transporte seguros y eficaces, con criterios de calidad y de reducción de la contaminación inherentes a su funcionamiento.

En España, el gobierno aprobó en 2005 el **Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020** (PEIT) (Ministerio de Fomento, 2005), que trataba de manera integral todos los aspectos relacionados con el transporte y la movilidad.

El PEIT marca las directrices generales de actuación que las distintas administraciones han de llevar a cabo, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Potenciar el ferrocarril y el transporte marítimo frente al efectuado por carretera, al tiempo que fomentar la intermodalidad de viajeros y mercancías, para optimizar todos los modos de transporte. Y, en cualquier caso, mejorar la accesibilidad de cualquier viajero a cualquier punto del territorio nacional. En el transporte urbano, se primará siempre el transporte público sobre el vehículo privado, cuyo uso se promoverá para que sea más racional.

- Mejorar la seguridad en todos los modos de transporte, para lo cual se incidirá en la política de conservación de las infraestructuras existentes, así como impulsando la I+D+i, redundando todo ello en una movilidad más sostenible.
- Coordinación entre las distintas administraciones del Estado, así como con los países europeos para conseguir un transporte nacional más coherente y una mayor inserción en el sistema de transporte internacional.

En la **Estrategia Española de Desarrollo Sostenible** (Ministerio de Medio Ambiente, 2007b), que aprobó el gobierno en 2007, se contemplan diferentes áreas prioritarias, siendo una de ellas el transporte sostenible, que recoge las directrices del PEIT, y cuyo objetivo principal es la optimización energética y ambiental de las personas y del flujo de mercancías. Se trataría, en definitiva, de conseguir un transporte más sostenible y eficiente, logrando un mayor equilibrio modal en el transporte interurbano de pasajeros y mercancías, reduciendo los niveles de accidentes por carretera, al tiempo que en el ámbito urbano, reducir la congestión y siempre disminuyendo los niveles de ruido. La huella del PEIT se encontrará además en ese afán de la Estrategia de promover la racionalidad de la movilidad, impulsando tecnologías eficientes y limpias que, por ejemplo, hagan que los diferentes modos de transporte contaminen menos utilizando, para ello, combustibles alternativos.

Muy en sintonía con esta Estrategia, y también en 2007, el entonces Ministerio de Medio Ambiente y la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, elaboraron el borrador de la Estrategia de Medio Ambiente Urbana (Ministerio de Medio Ambiente, 2007a), que supuso, por otra parte, la traslación a España de la Estrategia Temática Europea de Medio Ambiente Urbano. El objetivo de la nueva estrategia española era el establecimiento de las directrices que condujeran a las ciudades hacia la sostenibilidad, en la actual era de la información, para lo cual promovía un modelo de ciudad compacta, compleja, eficiente y cohesionada socialmente.

La Estrategia diferenciaba cinco ámbitos de actuación, el segundo de los cuales era el de la movilidad. Una nueva cultura de la movilidad que integraba objetivos de transformación física, por un lado, y, por otro, de transformaciones sociales y económicas del territorio urbano, siempre en el marco de la sostenibilidad y en el del nuevo modelo de ciudad.

Estos objetivos tendrían que traducirse en actuaciones que supusiesen, por ejemplo, la disminución del peso del automóvil en el reparto modal y la potenciación de los medios de transportes alternativos, como la marcha a pie, la bicicleta o los transportes colectivos. Otra actuación fundamental, puramente de planificación urbanística, será la que evitase el surgimiento de nuevos espacios urbanos periféricos a los que hubiese que acceder necesariamente con el automóvil privado. La proximidad tomará un valor urbano, de un urbanismo que supeditase el automóvil a los medios de transporte colectivo y a una reducción de los desplazamientos motorizados que, entre otras ventajas, traerá consigo una disminución de la emisión de GEI.

En 2009, los Ministerios de Fomento y de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino aprobaron la **Estrategia Española de Movilidad Sostenible**, que tenía como objetivo convertirse en el marco estratégico, con sus correspondientes líneas directrices y medidas, que condujera al desarrollo de un modelo de movilidad sostenible.

Para llegar a este nuevo modelo de movilidad no basta sólo con planificar en el sector transporte, sino que también hay que actuar sobre otros sectores que guardan relación estrecha con la movilidad, como el sector de la energía y el del urbanismo.

Las directrices generales de actuación que caracterizan al nuevo modelo de transporte inciden en el fomento del transporte público y del no motorizado, la intermodalidad y la coordinación de las administraciones públicas para promover y cofinanciar las infraestructuras de transporte, con criterios de calidad e innovación.

Estas directrices, de las que se derivarán 48 medidas, se articulan en torno a 5 ejes de actuación:

1. Territorio, planificación del transporte y sus infraestructuras.
2. Lucha contra el cambio climático y reducción de la dependencia energética.
3. Mejora de la calidad del aire y reducción del ruido.
4. Mejora de la seguridad y salud.
5. Gestión de la demanda.

Básicamente, la Estrategia gira en torno al fomento del transporte público frente al privado, reduciendo el consumo energético y las emisiones de carbono. Igualmente, considera necesario un cambio en el reparto modal de pasajeros y bienes, fomentando el uso de los autobuses urbanos o el del transporte de mercancías por ferrocarril.

Finalmente, la Estrategia considera necesario incidir en la gestión de la demanda, garantizando la accesibilidad de las personas a los diferentes modos de transporte. De nuevo aquí, el transporte constituye un elemento de cohesión social.

Por su parte, el Gobierno andaluz, consciente de la relevancia que supone el sector transporte en la lucha contra el cambio climático, aprobó, en 2008, el **Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía – PISTA (2007-2013)** (Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2008b), un instrumento de carácter estratégico, que constituye, a día de hoy, la principal referencia para el establecimiento de las políticas de transporte y sostenibilidad andaluzas, en lo que concierne a competitividad, cohesión territorial y sostenibilidad ambiental. Por tanto, incorpora las estrategias necesarias para afrontar con éxito los retos asociados a la lucha contra el cambio climático. En definitiva, la ejecución de sus previsiones constituye un avance decisivo en el reforzamiento de la articulación, tanto interior como exterior, de la Comunidad Autónoma andaluza.

El PISTA, en su **Informe de Sostenibilidad Ambiental** (Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2008a), evalúa las posibles alternativas del sistema de movilidad en Andalucía, atendiendo al impacto producido sobre la fragmentación del territorio, los espacios naturales protegidos y, de manera especial, sobre el consumo energético.

Pero las medidas a adoptar no sólo afectan a las administraciones públicas, sino que éstas van dirigidas además a la ciudadanía en general, a sus organizaciones empresariales y sociales diversas, pues si no fueran asumidas por la comunidad globalmente, no se alcanzaría el nuevo modelo de movilidad, que necesita del concurso de todos, utilizando los recursos energéticos, por ejemplo, de una manera más eficiente y sostenible. Así, toda la sociedad estará propiciando una movilidad más sostenible, luchando, en consecuencia, contra el cambio climático.

### 3 Objetivos, alcance y limitaciones

La estrecha relación entre el clima y el transporte está en paralelo con la vinculación de éste al territorio por el que discurren sus variadas infraestructuras, siendo diferente esta conexión según los diferentes medios y modos de transporte, así como los riesgos y los mecanismos de adaptación a esas consecuencias adversas del cambio climático motivado por este sector económico.

De este modo, los objetivos del presente estudio serán los siguientes:

- Realizar un análisis de la vulnerabilidad del territorio, considerando sus capacidades de acogida para el funcionamiento y el desarrollo del sistema de transporte.
- Llevar a cabo una identificación y evaluación de los impactos más previsibles del cambio climático sobre el sistema de transporte.
- Identificar las posibles oportunidades que puedan surgir y tratar de aportar medidas y opciones de adaptación frente a dichos impactos.

En función de estos objetivos, se ha estructurado también el presente documento, tras la contextualización nacional e internacional de las políticas andaluzas que relacionan el cambio climático y el transporte. En apartados posteriores se procede a una **caracterización** del sector, que, si en el estudio de todos los sectores socioeconómicos es siempre importante partir de ella, en este caso es más relevante, en tanto que el grado de desarrollo de las infraestructuras y servicios de transporte coadyuva notablemente al desarrollo general de una región, siendo uno de los indicadores más importantes de su desarrollo económico.

Para ello, se analiza el funcionamiento de transportes de mercancías, de pasajeros y no motorizado, tanto en la actual situación socioeconómica, como en la previsible del futuro, que tendrá una tendencia similar a la del PIB, habida cuenta de la correlación mencionada con el desarrollo económico.

Posteriormente, se lleva a cabo el **análisis de la vulnerabilidad del territorio** frente a los efectos del cambio climático, que serán debidos a causas como la variabilidad de las temperaturas y los cambios en la precipitación, la erosión, las inundaciones, los riesgos geológicos o el incremento en la altura de las olas.

Seguidamente, se trata de identificar y clasificar los impactos potenciales del cambio climático en el transporte, en sus distintas modalidades, a lo largo de todo el siglo XXI.

Estudiados los impactos asociados al cambio climático en el sector, se finalizará la parte conceptual del estudio con el análisis de las oportunidades que éstos ofrecen, con diferentes **opciones y medidas de adaptación**, tanto en las respuestas operacionales como en los cambios en el diseño de las infraestructuras de transporte, así como en la ordenación y planificación del territorio, aspecto éste, el territorial, tan ligado al sector económico objeto de estudio.



La **investigación** es también crucial en este estudio, porque se entiende que puede aportar mucho en la predicción de las variables climáticas y los modelos climáticos de proyección a escala regional, por lo que se ha considerado necesario incrementar la actual actividad investigadora.

En este sentido, se realiza una revisión del estado del conocimiento actual sobre la relación entre el cambio climático y el transporte, señalando que son escasos los trabajos realizados en nuestro país acerca de la evaluación de los costes del clima y los fenómenos meteorológicos extraordinarios sobre las infraestructuras y los servicios de transporte, así como los estudios acerca de cómo influyen los distintos climas peninsulares sobre la vida útil de las infraestructuras de transporte. Se trata, por tanto, de una labor necesaria, sobre la cual se puede sustentar una evaluación y análisis más pormenorizado de los impactos del cambio climático sobre el sistema de transporte andaluz.

Finalmente, se han aportado **conclusiones** con recomendaciones sobre la elección de los modos de transporte y las tecnologías más eficientes energéticamente hablando, y la adaptación de las infraestructuras y los servicios de transporte a la previsible nueva situación climatológica.

Por otro lado, señalar que la publicación termina con cuatro **Anejos** que, entre otros aspectos como el análisis estadístico de máximas precipitaciones diarias y escenarios climáticos generalizados, explican que el trabajo se ha llevado a cabo en su mayor parte en el contexto de una labor prospectiva de carácter documental, en la que, para aquellos documentos que han servido como referente para la elaboración de este trabajo, se ha creído conveniente realizar una revisión más pormenorizada de los mismos (Anejo 2).

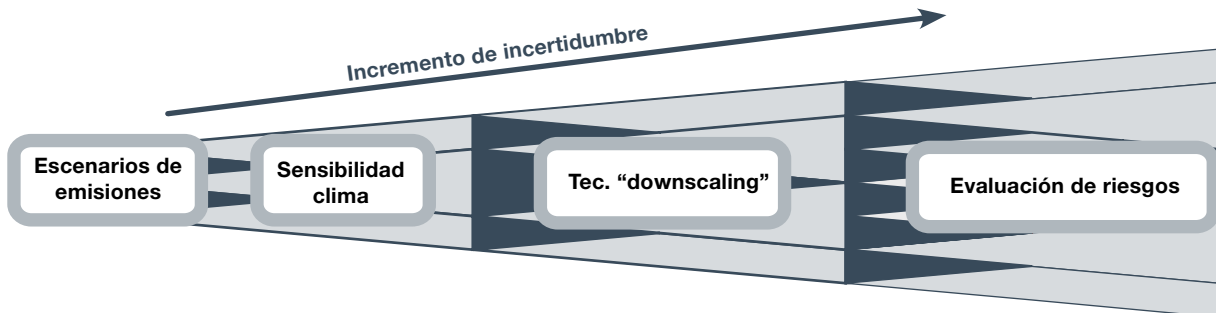
No obstante, a pesar de todo lo expuesto anteriormente, se han encontrado una serie de limitaciones en el estudio: unas ligadas a aspectos más puramente formales, como la escala de trabajo y la información disponible, y otras más propias de la naturaleza del sector económico estudiado, como es la complejidad intrínseca de las interrelaciones existentes entre el clima y los modos de transporte.

Estas limitaciones tienen como consecuencia que en algunos casos sólo haya sido posible llevar a cabo un análisis de vulnerabilidad de carácter general, en base a la información y a la cartografía disponible, mientras que en otros casos, en concreto para la vulnerabilidad al efecto directo de las temperaturas y las inundaciones, sí ha sido posible llevar a cabo un análisis más específico.

Para las medidas y opciones de adaptación ocurre lo mismo que en lo comentado para el análisis de vulnerabilidad pero, en este caso, están asociadas a la elaboración de los escenarios climáticos. Esto origina que, aunque parece existir un consenso acerca de las proyecciones del incremento de temperatura para el presente siglo, existe menor certeza de muchas otras proyecciones, tales como el patrón de precipitaciones a escala regional/local y los cambios en la frecuencia y la severidad de las tormentas, lo cual es de particular interés para las infraestructuras de transporte y sus servicios.

Además de esta incertidumbre aportada por las técnicas de “downscaling”, habría que sumar la asociada a la sensibilidad del clima y los escenarios de emisiones, tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Pirámide de incertidumbre.



Fuente: Adaptado de Viner (2002).

Tal y como recoge el último informe del IPCC (IPCC, 2007), se han producido notables mejoras en la simulación de escenarios climáticos regionales a través de las técnicas de "downscaling". En Andalucía, se cuenta con los escenarios climáticos regionalizados (Anejo 4), los cuales ayudan considerablemente a reducir la incertidumbre en la elaboración y planificación de una estrategia de adaptación para cualquier sector objeto de estudio.

Aún más determinante que la incertidumbre ligada a los factores anteriormente comentados, es la debida a la transversalidad económica del sector transporte y también de su dependencia respecto de otros factores socioeconómicos a escala global. A causa de la multitud de factores que afectan a la demanda y a la oferta de los servicios e infraestructuras de servicio, resulta complejo predecir con certeza cómo evolucionarán éstos a largo plazo.

Por este motivo, cualquier estudio que trate las implicaciones del cambio climático sobre el sector transporte sólo puede ser una aproximación de lo que podría suceder y un ejercicio para la identificación de respuestas adaptativas que puedan reducir la vulnerabilidad y/o incrementar la fortaleza para afrontar los cambios proyectados.

A medida que se vayan acumulando conocimientos que reduzcan estas incertidumbres, se podrán hacer evaluaciones y determinar la magnitud de los impactos con mayor precisión y exactitud; por este motivo, la estrategia de adaptación debe posibilitar su actualización y retroalimentación.



## 4 Metodología

Según la definición del IPCC (2001), la adaptación es el conjunto de iniciativas y medidas llevadas a cabo para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados del cambio climático.

El objetivo del Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático y sus planes sectoriales es el establecimiento de este conjunto de iniciativas y medidas (medidas de adaptación). Para ello, y en base a esta definición, es necesario analizar la vulnerabilidad y conocer los impactos asociados al cambio climático de cada uno de los sectores de interés, en este caso, en lo relativo a los Incendios Forestales en Andalucía.

Partiendo de la caracterización climática de la región que se expone en el apartado 5 y siguiendo la metodología planteada en el Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático, el presente trabajo desarrolla dos objetivos fundamentales: por un lado, un **análisis de la vulnerabilidad** de los Incendios Forestales frente al cambio climático y por otro, plantear una serie de **medidas de adaptación** para el sector.

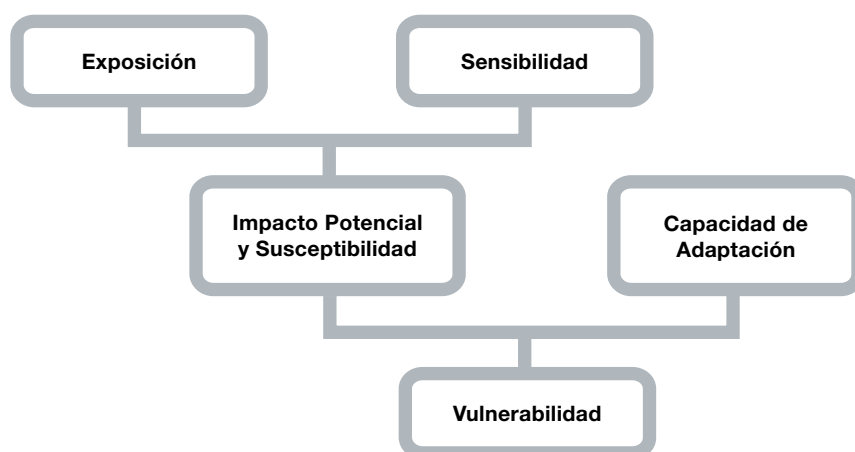
En 2001, el IPCC expone la siguiente definición de vulnerabilidad en el contexto del cambio climático: “Vulnerabilidad es el grado en que un sistema, subsistema o componente de ellos es susceptible o incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y fenómenos extremos”.

En base a esta definición, se puede decir que los estudios de vulnerabilidad proporcionan una idea de la susceptibilidad o predisposición intrínseca a sufrir un daño o una pérdida, de los elementos expuestos a un peligro. Además, introduce también la necesidad de llevar a cabo medidas de adaptación debido a la incapacidad del sistema de hacer frente a los efectos negativos del cambio climático.

### Esquema Metodológico

Para evaluar la vulnerabilidad se ha desarrollado una metodología basada en el desarrollo del IPCC (2001) y en lo ilustrado por Schröter *et al.* (2004).

**Figura 2.** Modelo conceptual de vulnerabilidad.



Fuente: Adaptado de Schröter *et al.* (2004).

La vulnerabilidad, entendida como una medida del daño potencial que se producirá en el futuro, puede descomponerse en los siguientes tres elementos:

### Exposición

Especifica el cambio proyectado del clima que va a afectar al sistema y por tanto, indica el grado en que un sector o sistema (en este caso el del transporte) está expuesto a estímulos externos que actúan sobre el mismo. Los estímulos son los asociados al cambio climático en cualquiera de sus componentes: subida de temperatura, pérdida de precipitaciones, elevación del nivel del mar, etc. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad.

### Sensibilidad

Hace referencia a la reacción del sistema ante el cambio climático, es decir, es el grado de afectación del sector. Cuanto más sensible es un sistema, mayor es la magnitud de la respuesta adversa ante un cambio y, por lo tanto, mayor será su vulnerabilidad.

### Capacidad de adaptación

Define la habilidad de un sistema para ajustarse a los cambios del clima con objeto de reducir daños potenciales, aprovechar oportunidades y hacer frente a las consecuencias derivadas del mismo. Mide el grado en el que un sistema está mejor preparado para afrontar su exposición al cambio y la sensibilidad del mismo en el nuevo contexto climático. La mayor parte de los estudios de vulnerabilidad revelan la dificultad de evaluar la capacidad de adaptación debido a la complejidad en la toma de decisiones así como la incertidumbre en la evolución de contexto físico, social y económico.

Relacionado con este esquema metodológico, el estudio realizado para la Unión Europea Design of guidelines for the elaboration of regional climate change adaptation strategies (Ribeiro *et al.*, 2009), utiliza la siguiente relación entre estos términos:

**Vulnerabilidad = Función [exposición (+); sensibilidad (+); capacidad de adaptación (-)]**

Una gran parte de los análisis de vulnerabilidad se construye analizando estos tres términos. Algunos de ellos agrupan el término de exposición y sensibilidad y diferencian así entre vulnerabilidad bruta y neta. La vulnerabilidad bruta la conforman los términos de exposición y sensibilidad y es entendida como un indicador de la susceptibilidad potencial del sistema ante impactos adversos antes de la aplicación de las medidas de adaptación. Por otro lado, la capacidad de adaptación refleja el grado en que el sistema puede contrarrestar la vulnerabilidad bruta asociada al mismo. La integración de los tres componentes es lo que se define como vulnerabilidad neta.

Un sistema puede tener una vulnerabilidad bruta alta y una vulnerabilidad neta moderada debido a su elevada capacidad de adaptación o por el contrario, una alta vulnerabilidad neta asociada a una limitada capacidad de adaptación.

## Opciones de Adaptación

La capacidad de adaptación es diferente entre sectores, además de cambiante, dependiendo de las opciones y los recursos disponibles para su desarrollo. A nivel teórico, las opciones de adaptación se clasifican como aquellas que:

- 1. Soportan el daño:** sucede cuando los afectados no tienen capacidad de responder o cuando los costes de la adaptación son considerados altos en relación a los daños previstos.
- 2. Comparten el daño:** reconstrucción y rehabilitación mediante inversión pública o seguros.
- 3. Modifican la amenaza:** suelen abarcar obras de infraestructura como presas y diques para la contención de la subida del nivel del mar o inundaciones.
- 4. Previenen los efectos:** en agricultura, por ejemplo, el control del riego o del uso de fertilizantes y el control de enfermedades y plagas.
- 5. Cambian de uso:** como por ejemplo, los cambios de forma de riego o de cultivo.
- 6. Cambian la localización:** traslado de áreas de mayor a menor aridez.
- 7. Promueven la investigación:** son las que permiten avanzar en investigación sobre nuevas tecnologías y nuevos métodos de adaptación.
- 8. Promueven la educación, información y cambio de comportamiento.**

## Tipos de respuestas adaptativas

Cada sector o sistema requiere un paquete de medidas de adaptación diferente atendiendo a las diferentes opciones y posibilidades del mismo. Las respuestas adaptativas pueden ser de tipo autónomo o planificado. Las primeras son aquellas que se llevan a cabo en el momento en que tienen lugar los impactos y las planificadas son las que atienden al principio de prevención. Las medidas recogidas en este trabajo son medidas planificadas, las cuales permitirán que el sector Seguro sea menos vulnerable y como consecuencia, se minimicen los impactos asociados.

Sin embargo, la adaptación autónoma será requerida en su momento debido a la imposibilidad de predecir con exactitud la vulnerabilidad del sector y los impactos futuros.

La adaptación planificada procura una mayor capacidad de minimizar daños potenciales y maximizar las oportunidades que se puedan presentar. Para ello, las medidas de adaptación planificadas deberán tener asociadas estudios de viabilidad económica integrales que permitan tomar las decisiones más eficientes en los momentos adecuados. Para asegurar la elección de las mejores opciones adaptativas deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Minimizar los mayores daños o pérdidas.
- Maximizar las menores oportunidades o ganancias.
- Minimizar los (mayores) costes por la elección de la alternativa incorrecta.
- Primar objetivos para minimizar daños o pérdidas y maximizar las oportunidades o ganancias.



## 5 Análisis de los escenarios regionalizados de cambio climático

El objetivo de este apartado es la comparación de las características climáticas de Andalucía, en una situación previa al desarrollo de las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático (datos de la serie 1961–1990) y en una situación futura marcada por el año horizonte 2050, atendiendo a estudios previos y a la duración mínima de las series climáticas (30 años), en línea del análisis de Moreira (2008).

Mediante el uso de los sistemas de información geográfica (SIG), se han elaborado para Andalucía, mapas de precipitación anual y de temperatura media máxima y mínima anual tanto para la serie climática 1961-1990 (periodo de referencia) como para el año horizonte 2050 bajo los escenarios A2 y B2. En el Anejo 1 se incluye información relativa al concepto de escenario de emisiones y a las características de los escenarios seleccionados.



Para los mapas asociados a la serie 1961-1990, se han interpolado los datos de precipitación anual y temperatura media máxima y mínima anual obtenidos de los modelos desarrollados por la Agencia Estatal de Meteorología (Brunet *et al.*, 2009; Ribalaygua *et al.*, 2008). Para la elaboración de los mapas del año horizonte 2050 correspondientes a los escenarios A2 y B2 se han usado datos modelizados obtenidos del trabajo que la Fundación para la Investigación sobre el Clima realizó para la Consejería de Medio Ambiente en 2006 (FIC, 2006).

Como dichos datos se corresponden con las observaciones puntuales de temperaturas y precipitación de estaciones meteorológicas del territorio andaluz, en un SIG, se ha aplicado el método geoestadístico Kriging para la obtención de mapas de superficie. Este método interpola los datos puntuales de las estaciones al resto del territorio (Peña, 2006). Los resultados obtenidos se explican a continuación:

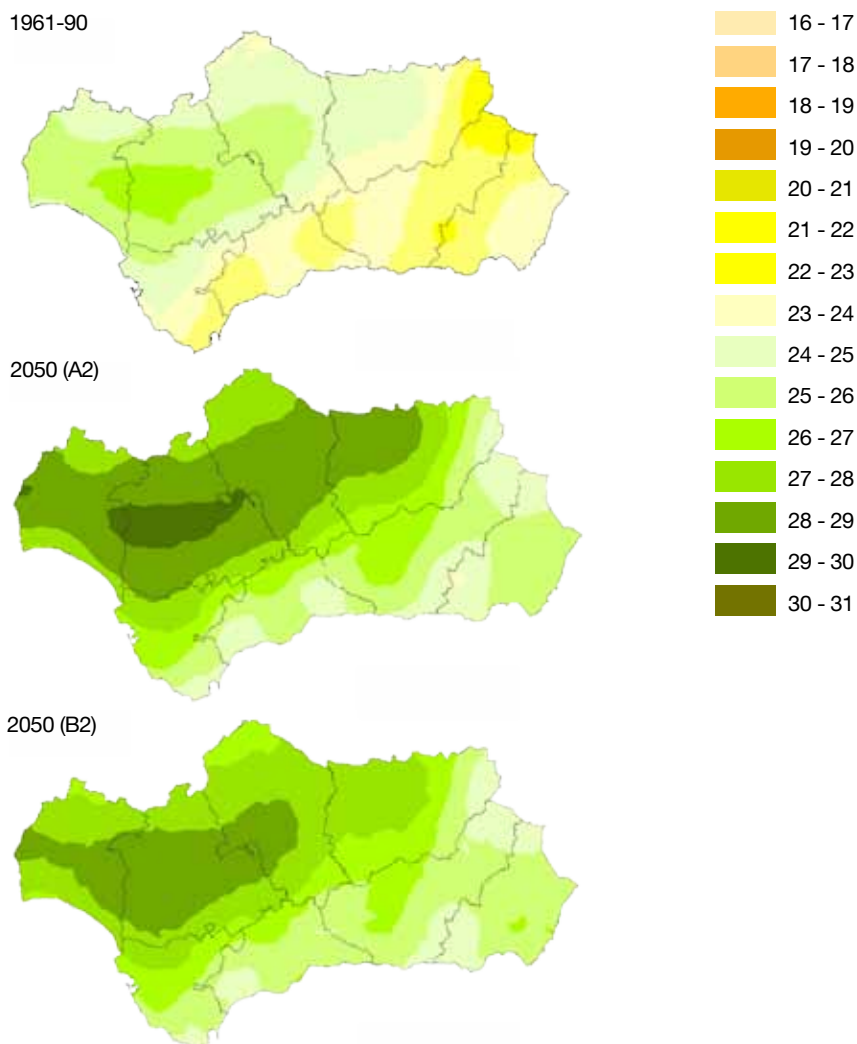
### 5.1. Temperaturas medias de las máximas y mínimas anuales y precipitación anual

#### 5.1.1. Temperatura media de las máximas anuales

Las isotermas de las máximas anuales durante el periodo 1961-90 presentan unos rangos de temperatura entre 26 a 27°C en la zona central del Valle del Guadalquivir, y entre 21 a 22°C en la Sierra de Segura y Altiplanicie Norte (Figura 3). En este caso, las máximas más frías coinciden con las mínimas más frías. Sin embargo, las máximas más elevadas no se producen en el mismo espacio geográfico que las mínimas más elevadas, que en este caso se producen en las tierras centrales del Valle del Guadalquivir.

Las temperaturas medias de las máximas anuales modelizadas para el año 2050 bajo el escenario A2 presentan un aumento respecto a 1961-90 de 2,8°C de promedio. En el Valle del Guadalquivir, el umbral de temperatura máxima se ha estimado en 29 a 30°C, mientras que en la Sierra de Segura y Altiplanicie Norte se dibuja la isoterma de 24 a 25°C.

**Figura 3.** Temperatura media (°C) de las máximas en 1961-90 y 2050 (A2 y B2).



Fuente: Elaboración propia.

Bajo el escenario de emisiones B2, las temperaturas máximas modelizadas son, en promedio, 0,25°C más bajas respecto al escenario de emisiones A2. No obstante, existen diferencias, tanto al alza como a la baja, según las distintas localizaciones. En líneas generales, las máximas más elevadas, localizadas en el Valle del Guadalquivir, presentan una tendencia a la baja en el escenario B2 respecto al A2, mientras que en donde las máximas son más frías, éstas se muestran más elevadas en el B2 respecto al A2.

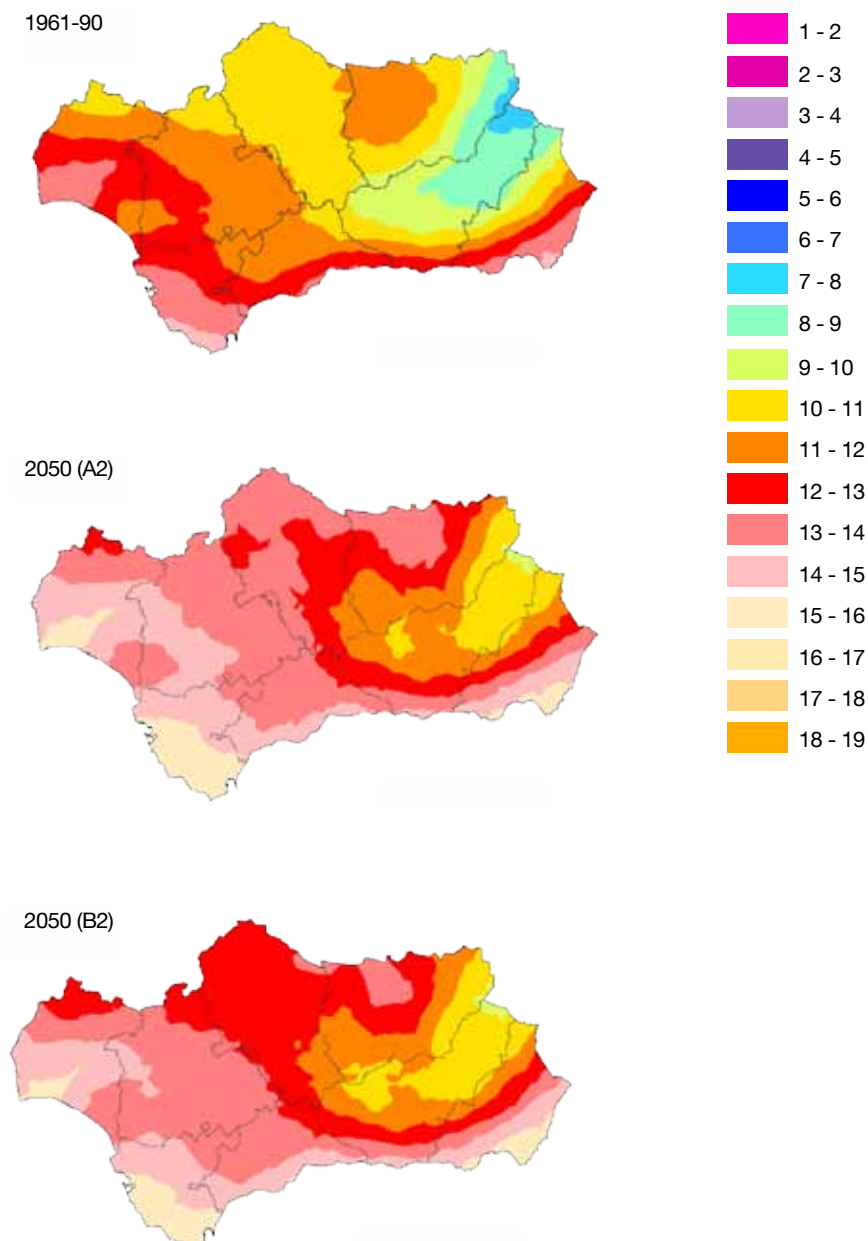
### 5.1.2. Temperatura media de las mínimas anuales

Las temperaturas medias de las mínimas anuales correspondientes al periodo 1961-90 oscilan entre 7 - 8°C en la zona de Sierra de Segura en Jaén y Altiplanicie Norte en el área septentrional de Granada, y 14 - 15°C en el litoral atlántico de Cádiz. En líneas generales, se puede confirmar el efecto atemperador de las aguas marinas, siendo más suaves y cálidas las temperaturas mínimas en todo el litoral andaluz, mientras que las tierras más alejadas y aisladas del mar, tanto por distancia, como por la existencia de obstáculos orográficos, se ven afectadas por unas mínimas más extremas y frías.

En cuanto a las mínimas modelizadas para el año 2050 bajo el escenario de emisiones A2, éstas presentan un aumento generalizado respecto a las registradas en el periodo 1961-90, en torno a 2,5°C. El patrón espacial que seguirían las mínimas es igual que en la actualidad, siendo más suaves en las zonas costeras y más frías en las zonas serranas o muy continentalizadas.

Las temperaturas medias de las mínimas modelizadas para el 2050 bajo el escenario B2 son algo superiores que para el A2, con diferencias que oscilan entre 0,3°C aproximadamente en las áreas de mínimas más bajas, como la Sierra de Segura, y 0,7°C en las tierras con mínimas más elevadas (Figura 4).

**Figura 4.** Temperatura media (°C) de las mínimas en 1961-90 y 2050 (A2 y B2).

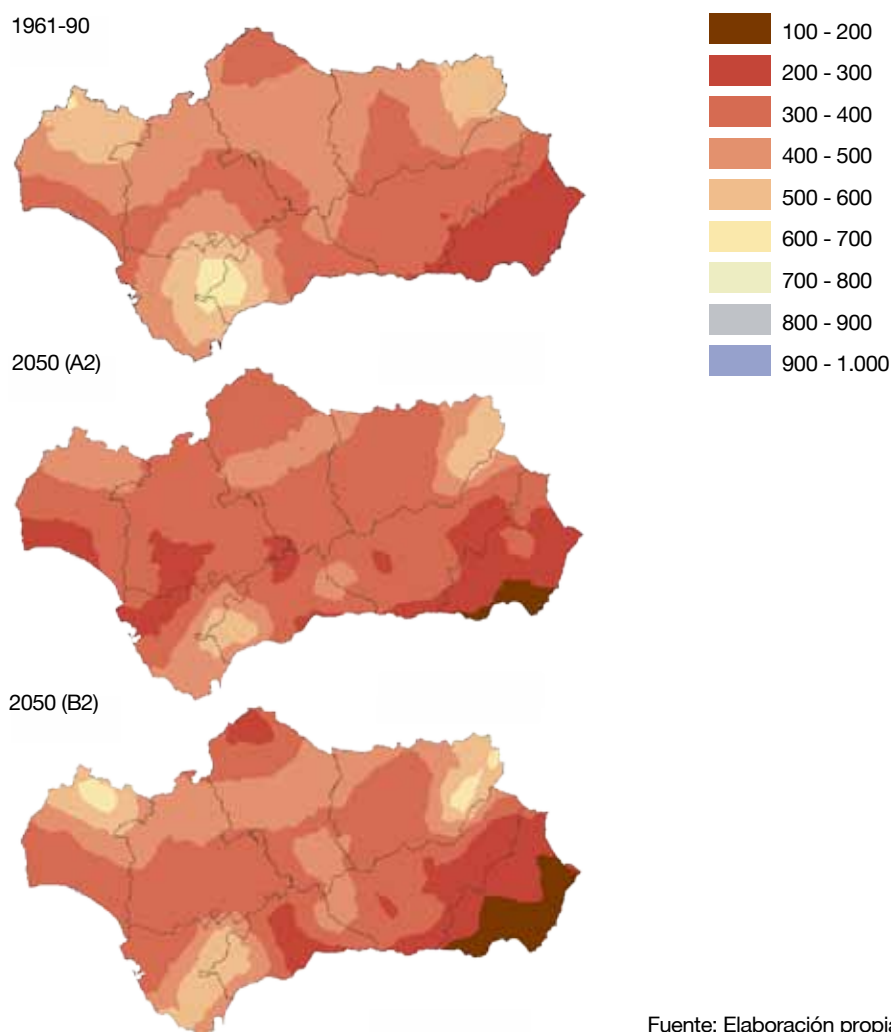


Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3. Precipitación anual

La precipitación anual presenta una distribución espacial que difiere entre Andalucía Oriental y Occidental (Figura 5). Durante el periodo 1961-90, la provincia de Almería es la que se ve sometida a una escasez mayor de precipitaciones, marcada por la isoyeta de los 200 mm anuales y con localizaciones en donde las precipitaciones no llegan a superar los 140 mm.

**Figura 5.** Precipitación anual (mm) en 1961-90 y 2050 (A2 y B2).



Por el contrario, en la Janda y la Campiña de la provincia de Cádiz, así como en la Serranía de Ronda en Málaga, se llegan a sobrepasar en determinadas localizaciones más de 1.000 mm anuales, estando la zona bajo la isoyeta de 700 mm.

Bajo el escenario A2, para el año 2050, los valores de precipitación anual modelizados indican una tendencia a la disminución para el conjunto de la región. También bajo este escenario se repiten las zonas con los máximos y mínimos pluviométricos de toda Andalucía, así como otros sectores destacados por su mayor precipitación respecto a su entorno, como es el caso de la Sierra de Aracena en Huelva, o la Sierra de Segura en Jaén.

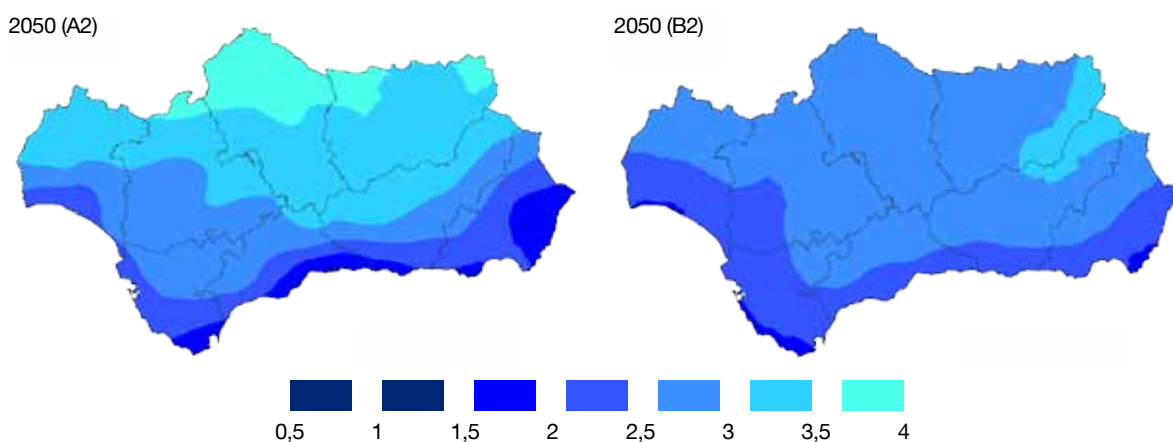
Bajo el escenario B2, la tendencia para la precipitación también muestra una reducción respecto a 1961-90, aunque más moderada que la del escenario A2. El esquema espacial de la pluviometría anual también es el mismo, aunque en este caso, algunas zonas como el litoral almeriense, presentan una disminución de la precipitación más acusada incluso que en el escenario A2. Es decir, allí donde la precipitación es menor, la modelización realizada indica un descenso más drástico en el B2 que en el A2.

## 5.2. Aumento de temperaturas y variación de la precipitación en 2050 respecto a 1961-90

### 5.2.1. Aumento de las temperaturas medias de las máximas anuales

En la siguiente figura se ha reflejado el aumento de las temperaturas máximas en el año 2050 respecto al periodo de referencia 1961-90, bajo el escenario de emisiones A2 y B2, respectivamente.

**Figura 6.** Aumento de temperatura máxima (°C) modelizada para el 2050 (A2 y B2) respecto a 1961-90.



Fuente: Elaboración propia.

Los aumentos más importantes se han modelizado en las áreas más continentalizadas; bajo el escenario A2, el norte de la provincia de Córdoba y algunas tierras septentrionales de Jaén se encuentran bajo la isoterma que representa un aumento de 3,5 a 4°C. Bajo el escenario B2, son las provincias de Jaén, en el extremo nororiental, y el noreste de Granada, en donde se prevé que se produzca el mayor aumento de temperatura, que oscilaría entre 3 a 3,5°C.

Las zonas litorales son las que se verían menos afectadas por el ascenso de las temperaturas máximas, con rangos entre 1,5 a 2°C en el litoral mediterráneo y 2 a 2,5°C en el litoral atlántico bajo el escenario A2. Bajo el escenario B2, el umbral de 1,5° a 2°C se sitúa sobre las aguas atlánticas gaditanas, mientras que el resto de las zonas costeras estarían expuestas a un aumento térmico en 2050 entre 2 y 2,5°C.



El patrón seguido para la magnitud del cambio respecto a las temperaturas máximas presenta una gradación norte-sur, con aumentos de casi 4°C hasta 0,5°C en las zonas meridionales litorales, tanto para el escenario A2 como para el B2.

Entre ambos escenarios las diferencias no son considerables, si bien bajo el escenario B2 los cambios son algo más modestos.

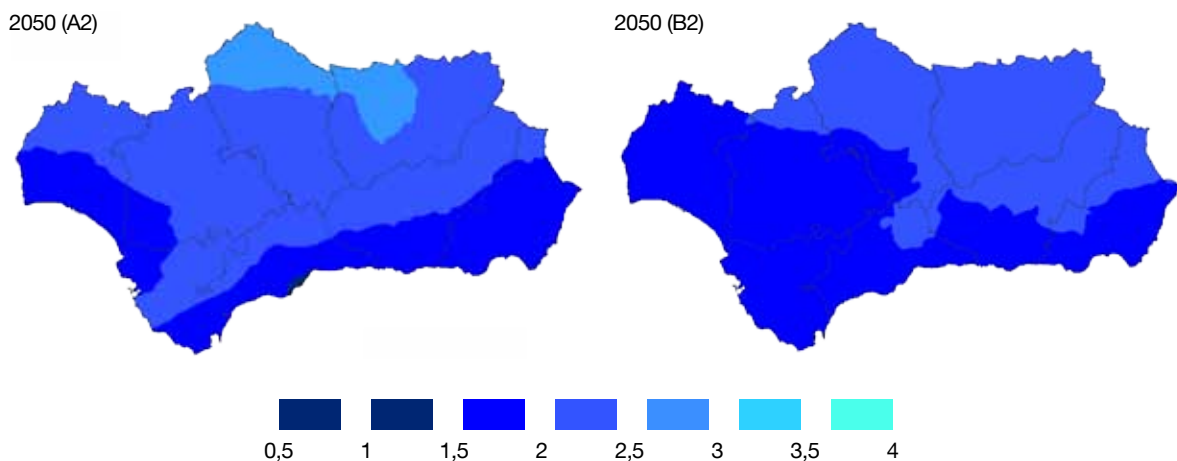
### 5.2.2. Aumento de las temperaturas medias de las mínimas anuales

Las temperaturas mínimas presentan el mismo esquema espacial que las temperaturas máximas (Figura 7), con una gradación desde las costas, en donde los aumentos son moderados, hacia las tierras interiores, en donde los aumentos son más significativos.

Es probable que las temperaturas mínimas aumenten, bajo el escenario A2, entre 1°C en la costa malagueña y 3°C en el norte de las provincias de Córdoba y Jaén.

Bajo el escenario B2, la magnitud del cambio térmico se ha modelizado entre 1,5°C en toda la mitad meridional de la comunidad, y 2,5°C en la mitad septentrional, con un cambio respecto a 1961-90 caracterizado por una relativa homogeneidad para el conjunto del territorio regional.

**Figura 7.** Aumento de temperatura mínima (°C) modelizada para el 2050 (A2 y B2) respecto a 1961-90.



Fuente: Elaboración propia.

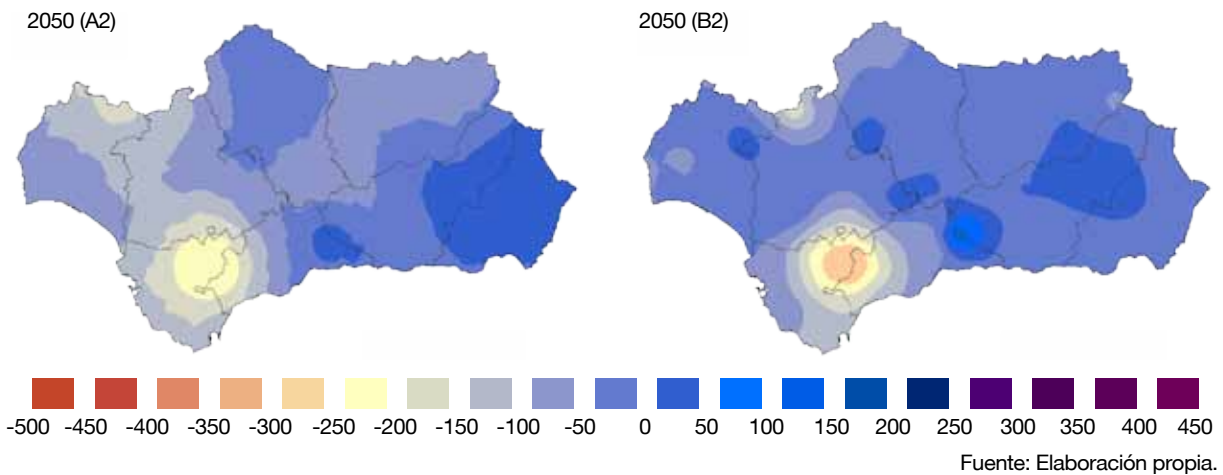
### 5.2.3. Variación de la precipitación anual

La precipitación modelizada para el año 2050 presenta tendencias opuestas según los distintos territorios de la Comunidad, que apuntan tanto a un descenso de las mismas como a un aumento respecto a 1961-90 (Figura 8).

Bajo el escenario A2, en Andalucía Occidental se prevé, en líneas generales un descenso de la precipitación en 2050, que oscilaría entre -250 mm en el noreste de la provincia de Cádiz, y -50 mm, afectando este umbral a las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz. Por el contrario,

en Andalucía Oriental se prevé un aumento de las precipitaciones, siendo Almería la provincia que alcanzaría los aumentos más elevados, llegando a superarse en algunas estaciones unos aumentos superiores a los 100 mm anuales. En Granada, la precipitación se mantendría en el mismo orden de magnitud, con un aumento generalizado en su mitad nororiental y una disminución moderada en la mitad suroccidental.

**Figura 8.** Variación de la precipitación (mm) en el año 2050 (A2 y B2) respecto a 1961-90.



Bajo el escenario B2, los resultados muestran un descenso general de las precipitaciones para toda la Comunidad de Andalucía, a excepción del norte de Granada, en donde se observan algunos observatorios en donde la precipitación aumenta de manera modesta. En general, la mayor parte del territorio andaluz se encuentra bajo la isolínea de disminución de 0 a -50 mm. Únicamente en la provincia de Cádiz (Sierra de Grazalema) y en el norte de Sevilla se observan descensos más acusados.



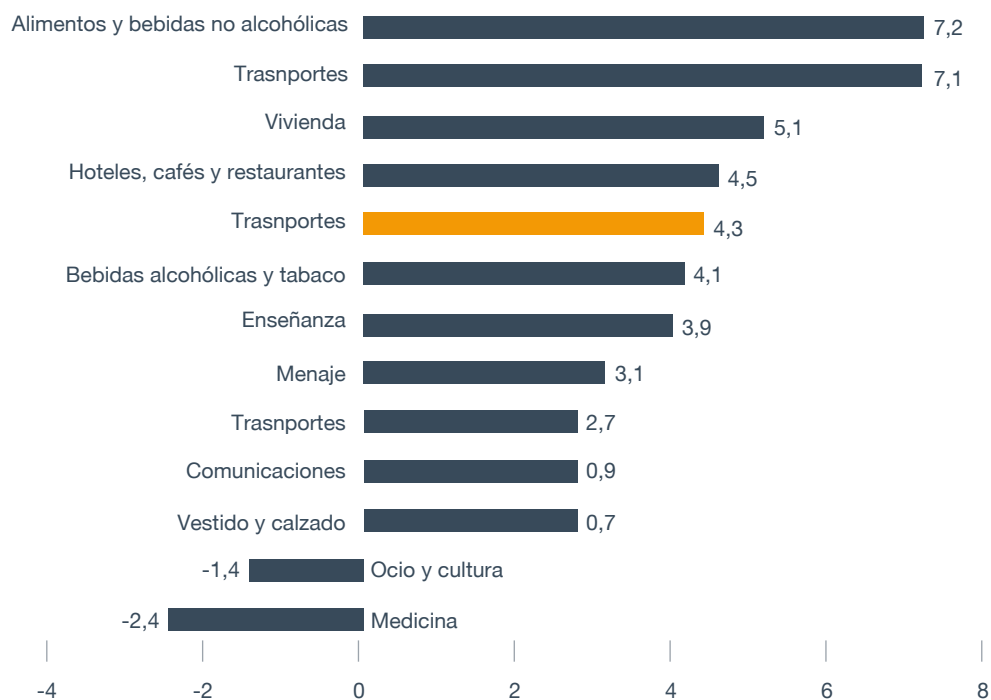
## 6 Caracterización del sector Transporte en Andalucía

El presente epígrafe ha sido extraído en su mayor parte del PISTA (Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2008b).

El nivel de desarrollo de las infraestructuras y servicios de transporte es uno de los indicadores más claros del grado de desarrollo económico de una región o un país. El transporte, junto con el desarrollo de las telecomunicaciones, supone uno de los pilares básicos sobre los que se sustentan todas las actividades socio-económicas, mejorando la calidad y el nivel de vida de las personas.

El transporte es a la vez una actividad económica relevante (Figura 9) y una función estratégica para el desarrollo del resto de sectores económicos. Las infraestructuras de transportes y comunicaciones constituyen un elemento de primer orden para mejorar la calidad de vida de las personas, la competitividad de su economía y la cohesión territorial.

**Figura 9.** Componentes del IPC en Andalucía.

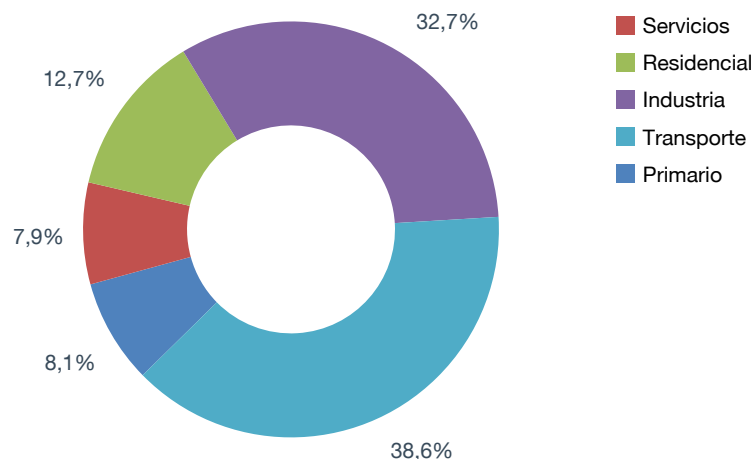


Nota: Tasas de variación interanual en febrero de 2008.

Fuente: Consejería de Economía y Hacienda (2008).

La distribución sectorial de la energía final en Andalucía muestra al actual modelo de movilidad de personas y mercancías **como el mayor consumidor energético** (Figura 10), con 5.514 ktep en el año 2006, un 38,6% del total de la energía regional final, cifra superior incluso a la correspondiente al sector industrial. Más aún, la cifra de consumo del transporte ha experimentado un crecimiento del 31% desde el año 2000, consecuente con el destacado aumento de la movilidad de personas y bienes en el ámbito andaluz, especialmente en sus espacios metropolitanos, tanto internamente, como en su relación mutua; todo ello, a pesar de los avances tecnológicos conseguidos en los sistemas de propulsión de los vehículos (*PISTA*).

**Figura 10.** Distribución de la energía por sectores en 2006.

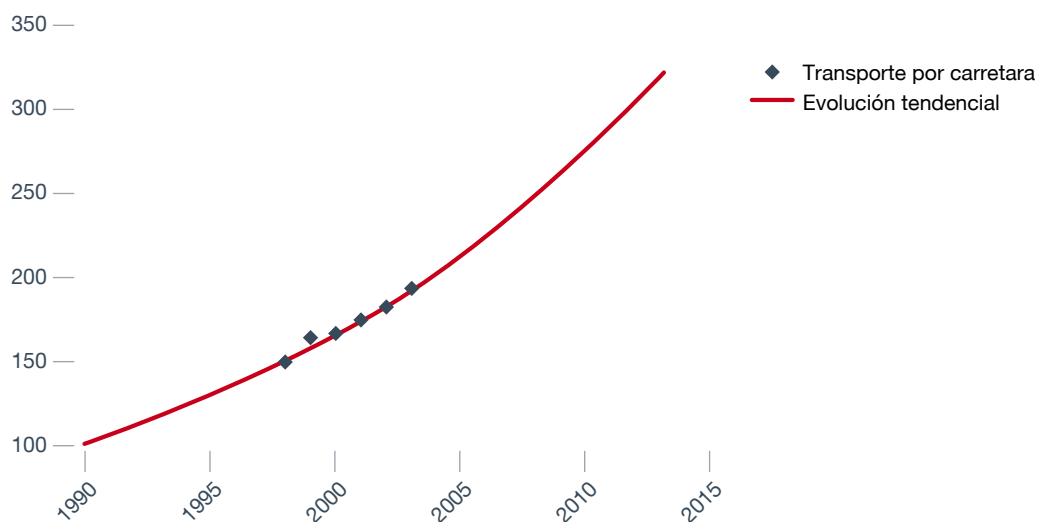


Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

La fuente de energía más consumida en el sector transporte son los derivados del petróleo, que representan el 61,1% del consumo final de éstos y el 98,7% de la energía total del sector, lo que conlleva un problema adicional muy complejo asociado a las situaciones de incertidumbre e inestabilidad que periódicamente se dan en torno al abastecimiento energético.

Específicamente, en lo referente al transporte por carretera (Figura 11), el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo 1990-2003 ha sido de más del 96%, pasando de 6,7 millones de toneladas a 13,3. En otros tipos de transporte, el incremento, aunque se ha producido, ha sido sensiblemente inferior llegando a un porcentaje cercano al 18%, pasando de 2,4 a 2,9 millones de toneladas.

**Figura 11.** Evolución previsible de las emisiones de CO<sub>2</sub> (1990-2015) en%.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008a).

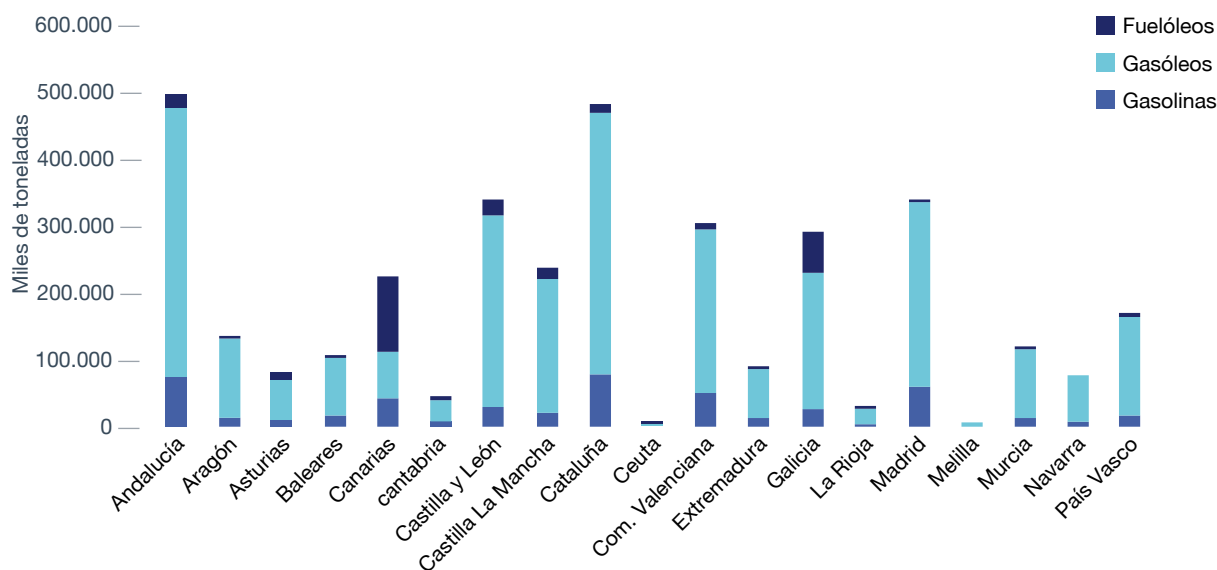
En el panorama nacional, Andalucía representa un 13,92% y un 14,40% frente al total del consumo de gasolina y gasóleo, respectivamente (Tabla 1 y Figura 12).

**Tabla 1.** Consumo de gasolina y gasóleo (Tm) por CC.AA. en España (Noviembre, 2008).

Comunidad	Gasolina	Gasóleo	Fuelóleos	Total
Andalucía	75.081	400.771	18.857	494.708
Aragón	13.173	118.354	2.85	134.412
Asturias	9.257	60.180	8.567	78.004
Baleares	16.400	5.375	4.066	105.840
Canarias	42.801	67.732	113.240	223.774
Cantabria	5.578	344.500	1.728	41.806
Castilla y León	28.312	285.179	22.736	336.228
Castilla La Mancha	19.578	201.372	13.893	234.844
Cataluña	77.219	390.551	9332	447.102
Ceuta	841	1.602	2.800	5.243
Comunidad Valenciana	50.053	245.437	5.240	300.730
Extremadura	11.478	74.410	2.863	88.751
Galicia	25.631	203.469	59.022	288.122
Las Rioja	2.718	23.770	1.595	28.083
Madrid	59.747	274.720	2.400	336.866
Melilla	659	1.156	2.190	4.005
Murcia	13.141	99.991	3.653	116.786
Navarra	6.752	67.668	1.926	76.346
País Vasco	17.842	14.214	4.241	167.296
<b>España</b>	<b>476.259</b>	<b>2.781.452</b>	<b>281.235</b>	<b>3.538.945</b>

Fuente: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa (2009).

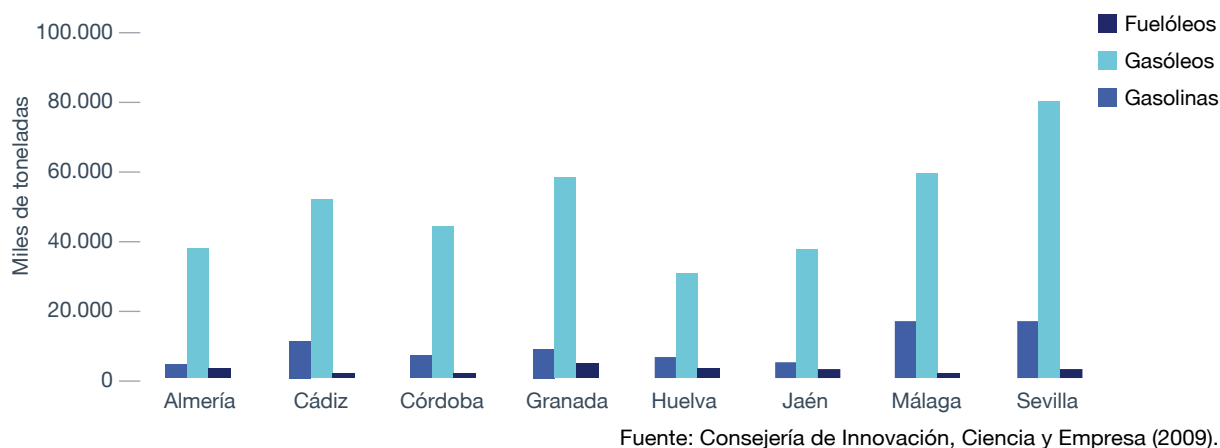
**Figura 12.** Consumo de hidrocarburos por CC.AA. en España (Noviembre, 2008).



Fuente: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa (2009).

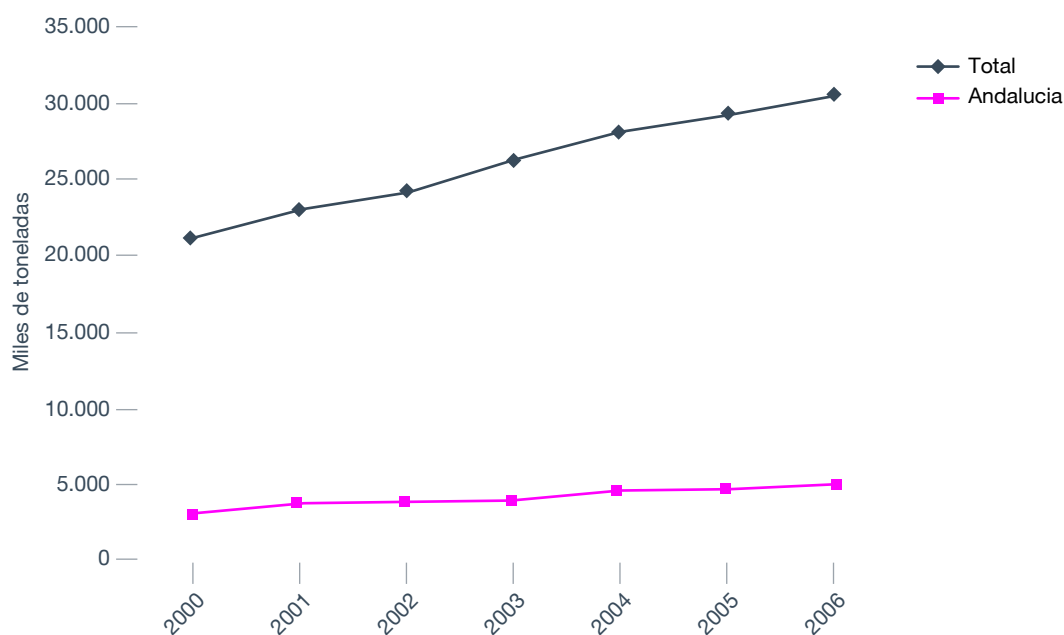


**Figura 13.** Consumo de hidrocarburos por provincias en Andalucía (Noviembre, 2008) en toneladas.



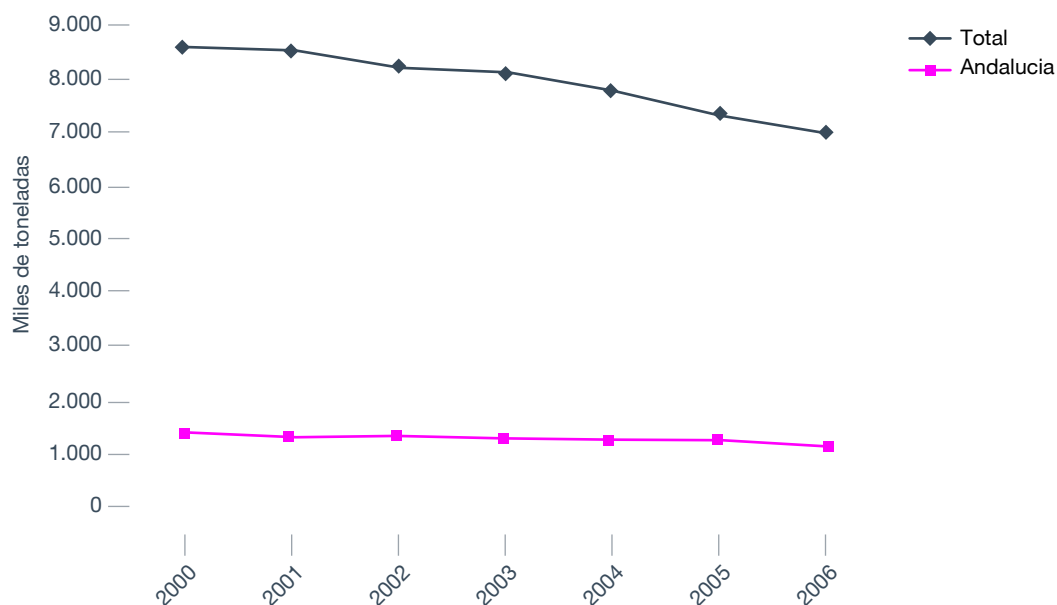
Como se muestra en las Figuras 14 y 15, la evolución en el consumo de gasolina en los últimos años ha sido decreciente. Sin embargo, para el sector del gasóleo A y B, se aprecia un notable ascenso, debido en gran parte al aumento del parque de vehículos diesel.

**Figura 14.** Evolución del consumo de gasóleo A y B.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística ([www.ine.es](http://www.ine.es)).

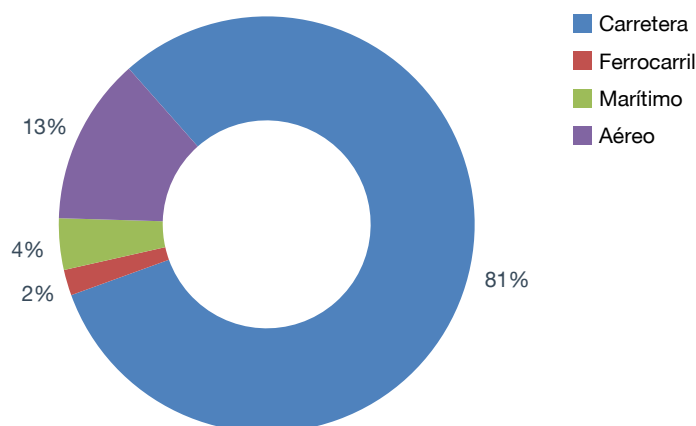
**Figura 15.** Evolución del consumo de gasolinas.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística ([www.ine.es](http://www.ine.es)).

El liderazgo de Andalucía en el consumo de combustibles se debe, sobre todo, a la participación del transporte por carretera, que ha experimentado en España y en Andalucía un crecimiento más acelerado que en el resto de los países de la UE, fruto de la mayor utilización relativa del transporte por carretera frente al ferrocarril, y de hacerlo con mayores recorridos.

**Figura 16.** Consumo final de energía por modos de transporte en España (2007).



		Petróleo	Gas	Electricidad	Biocarburantes	Total
2007	Carretera	32.746	0	0	382	33.128
	Ferrocarril	482	0	473	0	955
	Marítimo	1.488	0	0	0	1.488
	Aéreo	5.513	0	0	0	5.513
	Total	40.229	0	473	382	41.084

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDAE (www.idae.es).

La movilidad en vehículo privado es totalmente dominante, ya que **el coche absorbe el 81% de la movilidad motorizada total**. Teniendo en cuenta el volumen poblacional de Andalucía, cada habitante realiza una media de casi 260 viajes al año en medios motorizados.

La otra cara del crecimiento de la movilidad en vehículo privado ha sido la **disminución continuada de la proporción de desplazamientos realizados en modos no motorizados**, especialmente los efectuados a pie. En ámbitos metropolitanos, todavía al inicio de la década de los noventa, prácticamente la mitad de los desplazamientos se realizaban a pie y en bicicleta; esta proporción no alcanza hoy día apenas una tercera parte del total (Tabla 2).

**Tabla 2.** Movilidad motorizada generada por las personas residentes en Andalucía.

Período	Ámbito	Nº de personas (millones/año)	%	
Laborales	<b>Urbano/Metropolitano</b>			
	Bus urbano	240,0	22,0%	
	Bus metropolitano	50,0	4,6%	
	FFCC	20,0	1,8%	
	Vehículo privado	780,0	71,6%	
	<b>Total</b>	<b>1.090,0</b>	<b>100,0%</b>	
	<b>Interurbano</b>			
	Bus	30,0	7,9%	
	FFCC	5,0	1,3%	
	Vehículo privado	346,0	90,8%	
<b>Total</b>	<b>381,0</b>	<b>100,0%</b>		
Exterior	<b>Exterior</b>			
	Bus	2,8	3,8%	
	FFCC	3,8	2,4%	
	Avión	18,0	24,3%	
	Barco	6,4	8,6%	
	Vehículo privado	43	60,8%	
<b>Total</b>	<b>74,0</b>	<b>100,0%</b>	<b>66,4%</b>	
Vacaciones y festivos	<b>Todos los ámbitos</b>			
	Transporte público	47,0	6,0%	
	Vehículo privado	720,0	91,9%	
	Otros	16,0	2,1%	
<b>Total</b>	<b>783,0</b>	<b>100%</b>	<b>33,6%</b>	
<b>Total</b>	<b>Todos los ámbitos y modos</b>	<b>2.328,0</b>		<b>100%</b>

Todas las regiones de Andalucía no poseen las mismas condiciones y capacidades para el desarrollo de las infraestructuras de transportes y comunicaciones, siendo notablemente más difíciles y costosas en las áreas de montaña y en la mayor parte del litoral. Por este motivo, el medio físico en Andalucía continúa siendo un factor de gran incidencia en términos económicos y ambientales para la construcción de infraestructuras de transporte.

Existen una serie de corredores naturales que han sido aprovechados históricamente para la formación de ejes y redes principales de comunicaciones en Andalucía.

Uno de los objetivos fundamentales marcados por el PISTA en materia de transporte, es el de conseguir unos niveles adecuados de calidad y seguridad en la utilización de las redes de transporte y sus servicios asociados, por este motivo, la evaluación y posterior adaptación de dichas redes y servicios a las nuevas condiciones climatológicas resulta de vital importancia. Las principales implicaciones socioeconómicas del sector transporte en Andalucía se pueden agrupar en las siguientes:

- El reforzamiento y la diversificación de las relaciones entre los diferentes sectores y ámbitos geográficos de la estructura productiva andaluza; la estructura productiva sectorial andaluza es altamente dependiente del sistema de transporte; la falta de desarrollo y de una lógica regional de las infraestructuras han influido retrasando el desarrollo de la economía de la Comunidad Autónoma.
- El desarrollo de las funciones económicas de las ciudades, mediante la mejora de su accesibilidad desde el exterior y de su organización interior como espacio funcional y productivo.
- La extensión de las actividades industriales y terciarias a las ciudades medias y pequeñas y al medio rural.
- El mejor aprovechamiento de los recursos naturales para el desarrollo económico.
- La mejora de la integración económica con los países de la Unión Europea y con el norte de África.

Los sistemas de transportes y comunicaciones en los países y regiones más desarrollados se caracterizan por una dotación bastante completa de redes infraestructurales. Históricamente, Andalucía ha presentado una dotación general de redes de transporte, en relación con su superficie y población, por debajo de la media comunitaria y nacional. La dotación de carreteras era ligeramente inferior a la media nacional y estaba muy por debajo de la comunitaria. Sin embargo, estos déficits relativos en autovías y autopistas han desaparecido en los últimos años. Lo mismo ha ocurrido con la red ferroviaria andaluza, que presentaba unas dotaciones inferiores a la media nacional y comunitaria, debido a un discreto y poco homogéneo desarrollo histórico y a la supresión de servicios en las últimas décadas por falta de rentabilidad económica. Se trataba de una red con niveles de servicio insuficientes por problemas de trazado y obsolescencia de los materiales en algunas de las líneas.

En este sentido, el Plan Director de Infraestructuras de Andalucía, 1997-2007 (PDIA, Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2000) tuvo como objetivo, una profunda renovación y

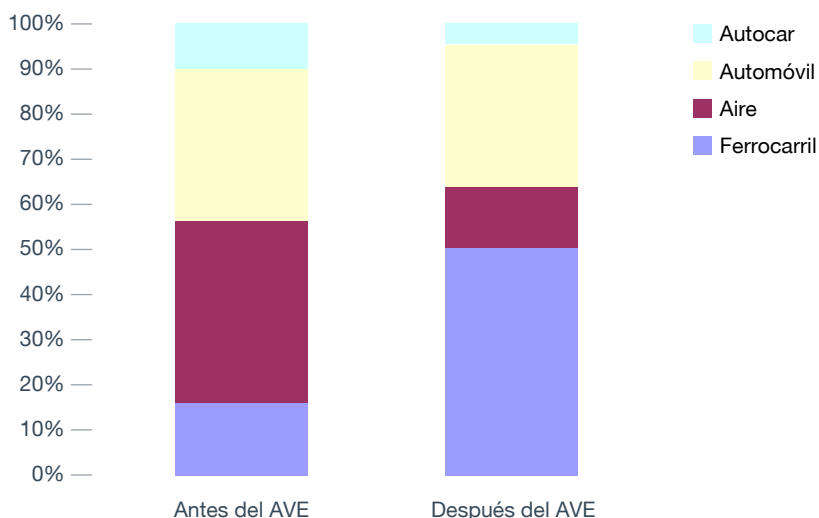
transformación del conjunto e incluyó la creación de nuevas líneas en las áreas más dinámicas de la región andaluza y, en particular, del desarrollo de la red de alta velocidad.

Andalucía se caracteriza por el claro predominio de un modo de transporte, la carretera, lo que es una pauta generalizada en las economías de los países industrializados. La carretera concentra aproximadamente el 70% del tráfico de mercancías, porcentaje inferior a la media nacional por la mayor participación del tráfico marítimo, en tanto que el ferrocarril tiene una menor importancia relativa.

La evolución del tráfico de mercancías en la última década indica que la carretera concentra de modo creciente este tráfico ante la evolución negativa de otros modos de transporte.

La importancia de la carretera es aún mayor para el tráfico de pasajeros (superior al 80%), aunque la evolución de otros modos de transporte en la última década ha sido menos negativa. En este sentido, los nuevos servicios ferroviarios (AVE, regionales y cercanías) están demostrando la capacidad de los modernos ferrocarriles y de los servicios de calidad para la captación del tráfico de viajeros (Figura 17).

**Figura 17.** Porcentaje de viajeros por medio de transporte antes y después de la construcción del AVE Madrid-Sevilla.



Fuente: Comisión de las Comunidades Europeas (2001).

El predominio de la carretera como medio de transporte se explica, además de por sus ventajas características (es el modo universal de transporte, capaz de integrar a los demás y de conectar todos los núcleos de población), por las insuficiencias heredadas en las infraestructuras de otros medios de transporte. En este sentido, las principales limitaciones proceden de la existencia de una inadecuada red ferroviaria y el escaso peso de la navegación fluvial y de cabotaje.

La funcionalidad de los **puertos comerciales de interés general del Estado** ha mejorado sensiblemente en este período. Como consecuencia de estas mejoras, se ha producido un incremento importante de los tráficos portuarios:

- El tráfico de personas se ha incrementado en 2 millones, más de un 65% desde 1997.
- El tráfico de mercancías ha crecido en más de 36 millones de toneladas, más del 50% desde 1997.

Por su parte, los **puertos náutico-recreativos** han incrementado el número de atraques a un ritmo de 480 nuevos puestos anuales, gracias a la puesta en marcha de los programas impulsados por la Consejería de Obras Públicas y Transportes, que prevén, para el horizonte del año 2012, la duplicación de atraques en los puertos deportivos andaluces de competencia autonómica.

Por lo que respecta a los **aeropuertos**, los indicadores de tráfico señalan un crecimiento de la actividad aeroportuaria andaluza superior a la media nacional; así, el número de personas que ha utilizado el avión para sus desplazamientos se ha incrementado en un 86% en los aeropuertos andaluces entre 1997 y 2005, mientras que en el conjunto nacional el incremento ha sido de un 65%.

### 6.1. Transporte de mercancías

En cuanto al transporte de mercancías, el transporte por carretera es el principal medio utilizado para asegurar las comunicaciones interiores en la región andaluza. A pesar de sus inconvenientes (congestión urbana, distancias de recorrido, etc.), la carretera no es superada por el momento por otros medios de transporte alternativos.

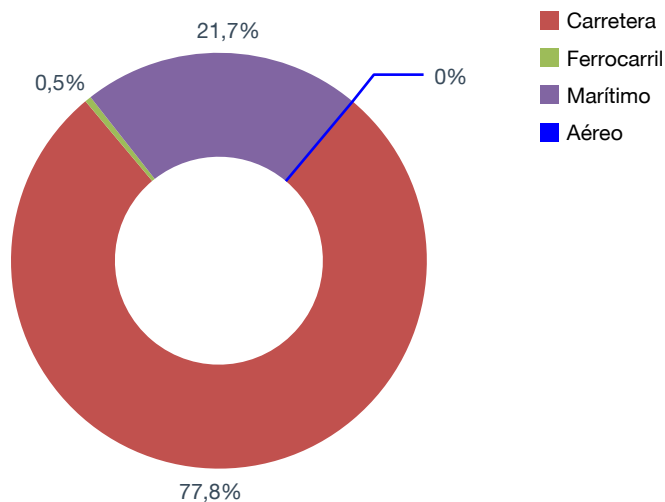
En este sentido, el tráfico marítimo de cabotaje tiene escasa importancia, mientras que el tráfico ferroviario regional ha disminuido en las últimas décadas, y el transporte fluvial ya lo hizo anteriormente. El fomento del tráfico marítimo de cabotaje podría ser una alternativa sólo a medio-largo plazo para solucionar los problemas de congestión del tráfico en la franja litoral. Para el tráfico interregional se mantiene el predominio de la carretera, aunque el transporte marítimo de cabotaje y el transporte ferroviario son modos complementarios, relativamente importantes, especialmente para mercancías transportadas en grandes volúmenes.

Para el tráfico de mercancías con el exterior, el transporte marítimo es el modo predominante, ocupando la carretera el segundo lugar en importancia, aunque la progresiva creación de una red transeuropea de gran capacidad y su vinculación intermodal en los Centros de Transporte de Mercancías, Zonas de Actividades Logísticas y puertos, favorece el crecimiento del transporte por carretera para los tráficos con origen/destino nacional y en los países de la Unión Europea. La capacidad del ferrocarril para el transporte de mercancías está infrautilizada. Su aprovechamiento pleno se considera del mayor interés estratégico para el conjunto de la movilidad de las mercancías.

El reparto modal (Figura 18), revela la **preponderancia de la carretera, que desplaza a más de las tres cuartas partes de las mercancías transportadas**. El transporte marítimo, en segundo lugar, mueve algo más de una quinta parte del total, siendo poco relevantes los volúmenes movidos por el ferrocarril y, menos aún, por vía aérea, si bien este último modo cobra significado en el transporte de determinadas mercancías de elevada relación precio/peso.



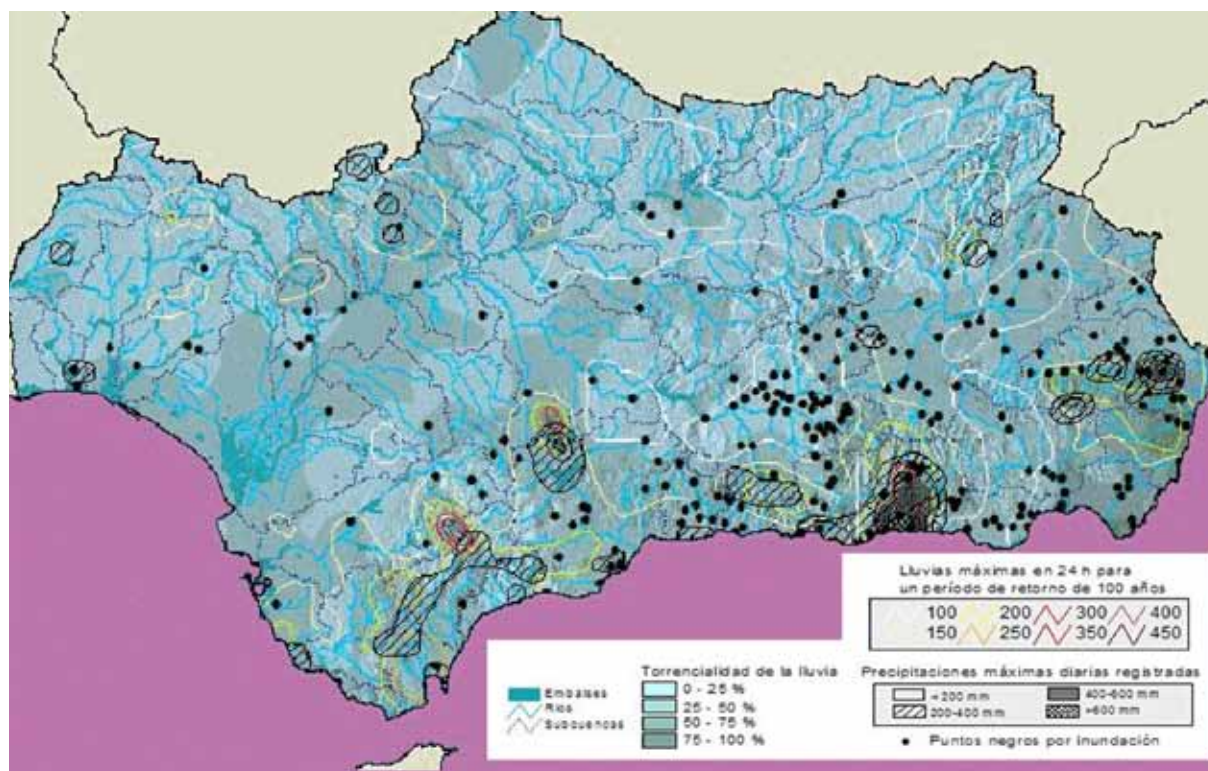
Figura 18. Reparto modal en el transporte de mercancías en Andalucía en 2006.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

En la Figura 19 se muestra la principal red de infraestructuras de transporte en Andalucía para el transporte de mercancías.

Figura 19. Red de infraestructuras para el transporte de mercancías.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

El volumen de mercancías movidas se ha duplicado desde 2001 y triplicado desde 1998, valores que sitúan el dinamismo de la movilidad de las mercancías muy por encima de la de personas. La tasa de crecimiento medio asciende al 20,3% anual acumulado, valor superior al ya muy elevado del conjunto del transporte de mercancías, lo cual revela que la carretera crece por encima del resto de modos, ganando cuota de mercado. Las repercusiones sobre el medio ambiente regional de estas cifras son evidentes y claramente preocupantes. El transporte marítimo de mercancías, con casi un 22% del total, es el segundo modo en volumen movido. La **privilegiada posición geoestratégica de Andalucía para el transporte marítimo** aporta al conjunto del sistema una cualificación especial, de la que carecen otras regiones (PISTA).

### 6.2. Transporte de pasajeros

El transporte por carretera es también el principal modo de transporte de pasajeros en las comunicaciones interiores de la región andaluza. El transporte ferroviario fue muy importante en décadas pasadas, y sus expectativas a medio-largo plazo dependen de la implantación de modernos medios, con garantías de competitividad y horario en los tiempos de recorrido con otros modos de transporte.

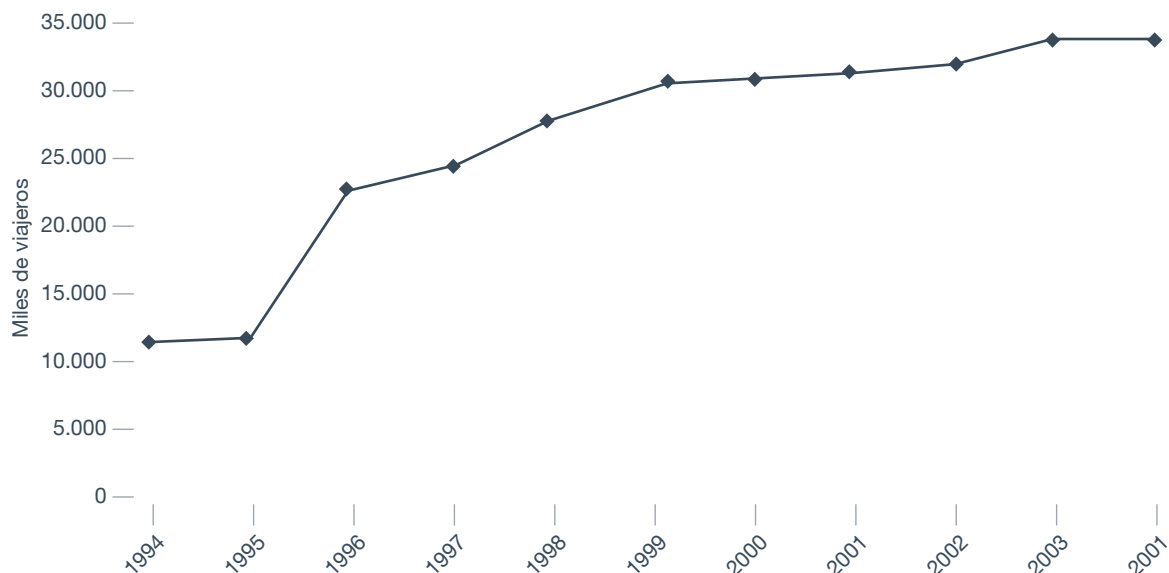
En el medio urbano, la participación del transporte por carretera es también superior a la media de los países comunitarios. En ello hay una explicación histórica, ya que tanto los vapores marítimos como los tranvías urbanos, dejaron de funcionar hace décadas y no se han recuperado como en otras ciudades europeas. Por otra parte, las líneas de cercanías ferroviarias no corresponden todavía, a pesar de las importantes mejoras introducidas en los últimos años, a las principales demandas de movilidad actual, y sus niveles de servicio no son siempre adecuados. Las alternativas a estos medios de transporte a corto-medio plazo son los servicios ferroviarios en áreas metropolitanas, destacando, por sus posibilidades, el ferrocarril litoral de la Costa del Sol occidental así como los sistemas de tranvías y metros ligeros especialmente, en las aglomeraciones urbanas de Málaga, Sevilla y Bahía de Cádiz.

En las áreas metropolitanas litorales, como es el caso de la Bahía de Cádiz, las alternativas incluyen el transporte marítimo de cercanías, como componente del sistema de transporte metropolitano.

El transporte por carretera es también, aunque en menor medida, el medio de transporte predominante para el tráfico de viajeros con otras regiones españolas y con el exterior. El transporte interregional de viajeros experimentó una fuerte transformación en la década de los noventa, ya que la entrada en funcionamiento del tren de alta velocidad supuso cada vez mayor captación de tráfico de medio recorrido (entre 200 y 1.000 kilómetros) por este medio de transporte en detrimento de la carretera y del transporte aéreo. Este efecto se limita, evidentemente, al área de servicio de la línea de alta velocidad existente, Madrid-Sevilla y la reciente extensión a Málaga-Costa del Sol. Este efecto se hará más notable cuando se extiendan las conexiones a Cádiz, Huelva, Granada, Jaén y Almería.

El transporte de viajeros por ferrocarril ha crecido en los últimos años, tal y como muestra la Figura 20.

**Figura 20.** Evolución del número de viajeros transportados por ferrocarril en Andalucía.



Fuente: Anuario estadístico de Andalucía 2005. Instituto de Estadística de Andalucía ([www.ieca.junta-andalucia.es](http://www.ieca.junta-andalucia.es)).

Para el tráfico internacional, el transporte aéreo ocupa la primera posición, especialmente por su utilización masiva para la entrada de turistas y para las distancias más largas (superiores a los 1.000 kilómetros), mientras que el segundo modo de transporte en importancia es la carretera. Por su parte, el tráfico marítimo es puntualmente importante para el paso del Estrecho con destino a África o Europa, utilizado por los emigrantes magrebíes en sus desplazamientos masivos estacionales, pero también por un turismo creciente.

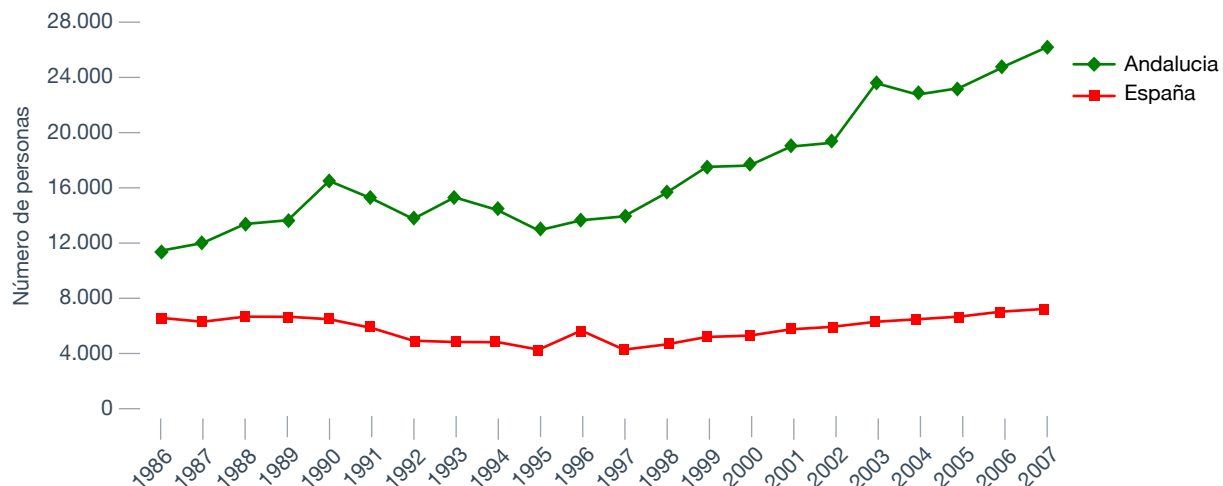
**Figura 21.** Evolución del tráfico aéreo en %.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

Los datos ponen de manifiesto un crecimiento continuo también del tráfico aeroportuario andaluz, que ha duplicado en los últimos diez años el número total de personas que han utilizado este modo de transporte hasta superar la cifra de 20 millones en el año 2006 (Figura 21).

**Figura 22.** Evolución del tráfico total de pasajeros en cabotaje y exterior en los puertos dependientes del Estado (1986-2007).



Fuente: Puertos del Estado (www.puertos.es).

El transporte marítimo de pasajeros, presenta una evolución más o menos constante desde 1986 (Figura 22), con dos mínimos en 1995 y 1997, no obstante en el año 2006, ha experimentado un cierto crecimiento respecto a años anteriores.

En las Figuras 23, 24 y 25, se presenta la principal red de infraestructuras de transporte en Andalucía para el transporte de pasajeros (no exclusivamente).

**Figura 23.** Red ferroviaria de Andalucía.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).



Figura 24. Red viaria de Andalucía.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

Figura 25. Red de instalaciones portuarias para el transporte de viajeros.

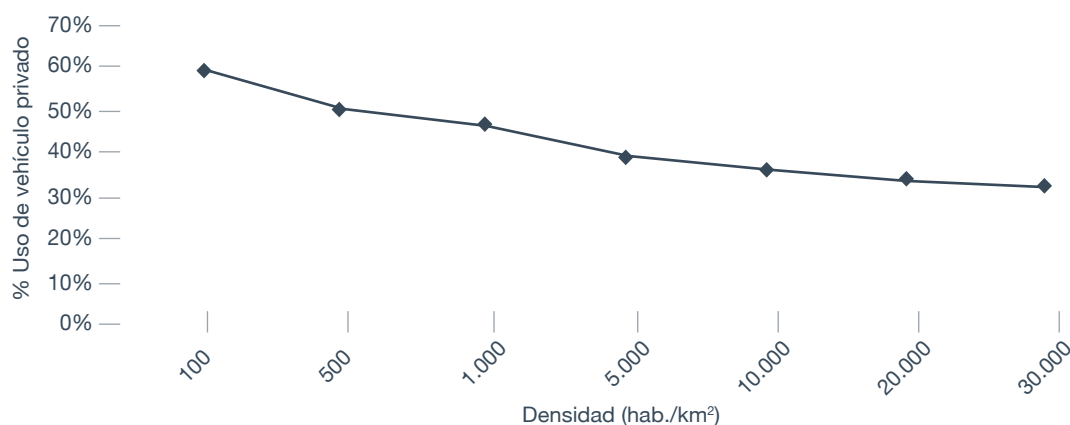


Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

### 6.3. Transporte no motorizado

En el modelo territorial desarrollado en los espacios metropolitanos andaluces, como consecuencia del desarrollo residencial de las coronas metropolitanas, se produce una fuerte segregación espacial entre la vivienda, el lugar de trabajo y las áreas de equipamiento. Esta segregación estimula la movilidad motorizada en general y, de manera especial, la generada en vehículo privado. Así, en los ámbitos metropolitanos, la movilidad en modos motorizados ha pasado del orden del 40% en la década de los 80, al 50% en 1990 y a más del 65% en la actualidad, crecimiento que se ha realizado a costa de los desplazamientos a pie y en bicicleta.

**Figura 26.** Relación entre densidad de población y el uso del vehículo privado.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

La potenciación del uso del transporte público (y, en las escalas urbana y metropolitana, de los desplazamientos a pie y en bicicleta) es una de las políticas básicas impulsadas con las actuaciones programadas en el PISTA.

Con este objetivo, el Plan propone el fomento de los desplazamientos en modos de transporte autónomos mediante las siguientes actuaciones:

- Creación de redes equipadas específicas para los modos autónomos de transporte (bicicleta y a pie), en tanto que son medios de transporte de máxima eficiencia ambiental.
- Impulso a programas de fomento del uso de la bicicleta, buscando facilitar su disponibilidad y seguridad, así como su uso combinado con el transporte público.
- Programas de difusión de las ventajas del uso de los modos autónomos de transporte.

El cambio climático favorecerá el uso de modos de transporte no motorizados, al aumentar los períodos del año con una temperatura apropiada para realizar los desplazamientos en



bicicleta o a pie. No obstante, el efecto que pueda tener el cambio climático no resulta muy significativo en comparación con el beneficio que tendría la adopción de medidas, tales como las descritas en el PISTA, para fomentar el uso de estos medios de transporte.

### 6.4. Escenario socioeconómico actual

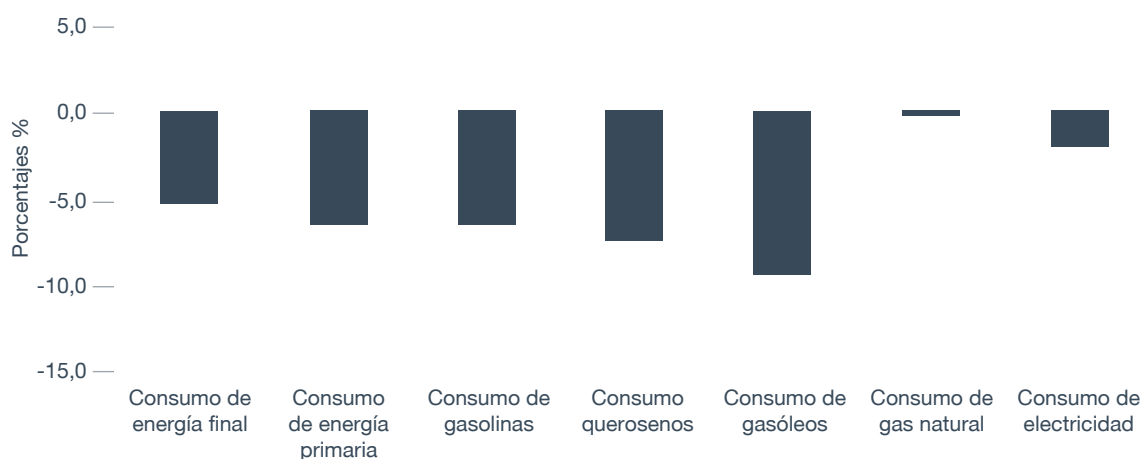
La actual situación económica está teniendo repercusiones en el sector transporte, al igual que en el resto de sectores de importancia para el desarrollo socioeconómico. De este modo, la Figura 27 muestra la evolución del consumo de gasolinas, querosenos y gasóleos para el transporte. La demanda de estos combustibles en España en el primer trimestre de 2009 ha sido significativamente inferior a la del mismo período de 2008, continuando la tendencia de descenso de los tres trimestres anteriores. De Marzo de 2008 a Marzo de 2009 (Tabla 3), las tasas de variación son claramente negativas para los tres tipos de combustibles, alcanzando un -9,4% para el consumo de gasóleos.

**Tabla 3.** Indicadores energéticos para el 1<sup>er</sup> trimestre de 2009.

Indicadores energéticos	2007/06	2008/07	2007			2008				2009
			II Trim.	III Trim.	VI Trim.	I Trim.	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	I Trim.
Tasas de variación	%	%								
Consumo de energía final	3,1	-2,9	4,9	1,80	4,9	0,7	-3,1	-3,0	-6,2	-8,9
Consumo de energía primaria	1,7	-3,6	3,0	0,3	5,8	1,5	-4,0	-4,4	-7,3	-10,3
Consumo de gasolinas	-5	-5,7	-6,4	-5,3	-4,0	-4,1	-7,1	-5,3	-6,3	-7,3
Consumo de querosenos	5,5	-1,4	7,8	6,7	7,5	12,4	2,3	-5,2	-11,9	-16,5
Consumo de gasóleos	3,4	-8,8	5,1	2,9	3,1	-6,5	-9,7	-10,3	-9,0	-8,6
Consumo de gas natural	4,5	10,1	2,3	1,7	21,1	18,8	15,4	14,4	-5,3	-17,2
Consumo de electricidad	2,9	-0,1	4,0	0,4	5,1	0,7	0,8	0,9	-2,8	-6,2

Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2009).

**Figura 27.** Tasa de variación del consumo de energía para el 1<sup>er</sup> trimestre de 2009.



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

Estos datos constatan el hecho de que la crisis económica está teniendo repercusiones significativas en el volumen de mercancías transportadas (Tabla 4).

**Tabla 4.** Transporte interior de mercancías, toneladas transportadas en Andalucía.

Año trimestral	Total transportado (a+b+c)	Total cargado (a+b)	Total descargado (a+c)	Tipo de desplazamiento			
				Transporte intraregional (a)	Transporte interregional		
					Total	Expedido (b)	Recibido (c)
2008 1T	67.792	60.000	61.874	54.082	13.711	5.918	7.793
2T	57.956	49.916	51.178	43.138	14.819	6.779	8.040
3T	50.212	44.105	45.279	39.172	11.040	4.933	6.107
4T	52.555	45.996	47.164	40.605	11.950	5.391	6.559
2009 1T	47.478	41.434	41.659	35.615	11.862	5.818	6.044
<b>V. Ul. Trl.:</b>	<b>-29,97</b>	<b>-30,94</b>	<b>-32,67</b>	<b>-34,15</b>	<b>-13,48</b>	<b>-1,68</b>	<b>-22,44</b>
<b>V. acumul.:</b>	<b>-29,97</b>	<b>-30,94</b>	<b>-32,67</b>	<b>-34,15</b>	<b>-13,48</b>	<b>-1,68</b>	<b>-22,44</b>
<b>V. Intera.:</b>	<b>-20,69</b>	<b>-21,63</b>	<b>-21,72</b>	<b>-22,95</b>	<b>-12,51</b>	<b>-11,18</b>	<b>-13,61</b>

Fuente: Seguimiento trimestral PEIT (2005 - 2050) Ministerio de Fomento.

En cuanto al transporte de viajeros, ha sufrido igualmente un retroceso sobre todo en los destinos de larga distancia. En cuanto al transporte urbano (Figura 28) e interurbano de corto recorrido, cabe esperar un detrimento del vehículo privado en favor del transporte público.

**Figura 28.** Transporte urbano regular en Andalucía. Variación interanual acumulada.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es)

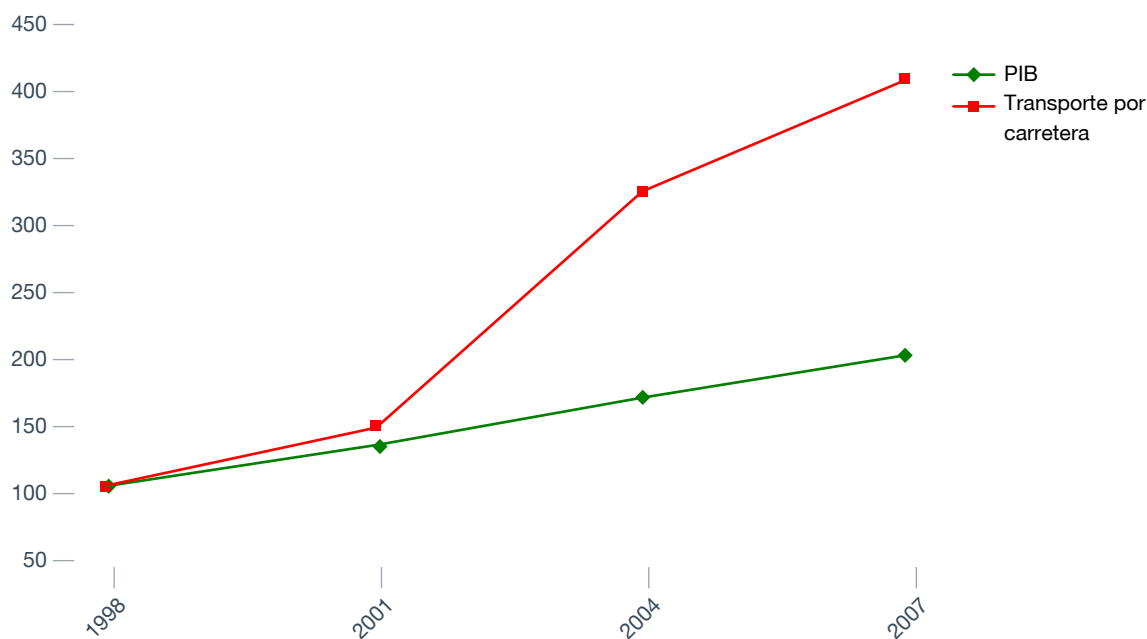
Se debe tener en cuenta, por tanto, que todas las proyecciones realizadas dependen en gran medida de la evolución de los escenarios socioeconómicos y la gran influencia que éstos tienen en la definición de los modelos de movilidad, tal y como se está observando en la actual crisis económica.

## 6.5. Escenario socioeconómico futuro

Las proyecciones acerca de la futura evolución del transporte en Andalucía han sido extraídas de diversos documentos que se basan en datos hasta el año 2007, por lo que no consideran la actual crisis económica y sus repercusiones futuras.

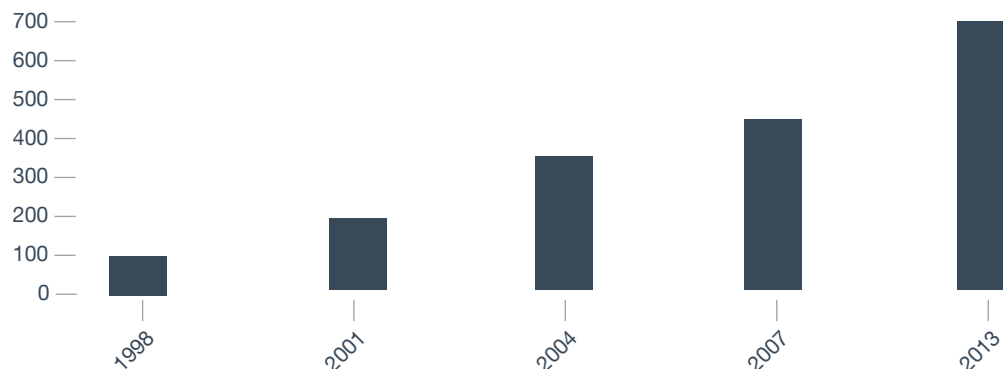
Se puede afirmar, de manera general, que tanto la movilidad de transporte de mercancías como de personas, presenta tendencias similares a la evolución del PIB. Si se tiene en cuenta que el PIB español se ha retraído en el último año en torno a un 3%, se debe incorporar este descenso a las proyecciones que se muestran en el presente apartado. No obstante, existe un elevado grado de incertidumbre acerca de las repercusiones que la actual crisis económica pueda tener sobre el transporte de mercancías y personas en el futuro.

**Figura 29.** Evolución comparativa del PIB y el transporte de mercancías por carretera (%).



Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

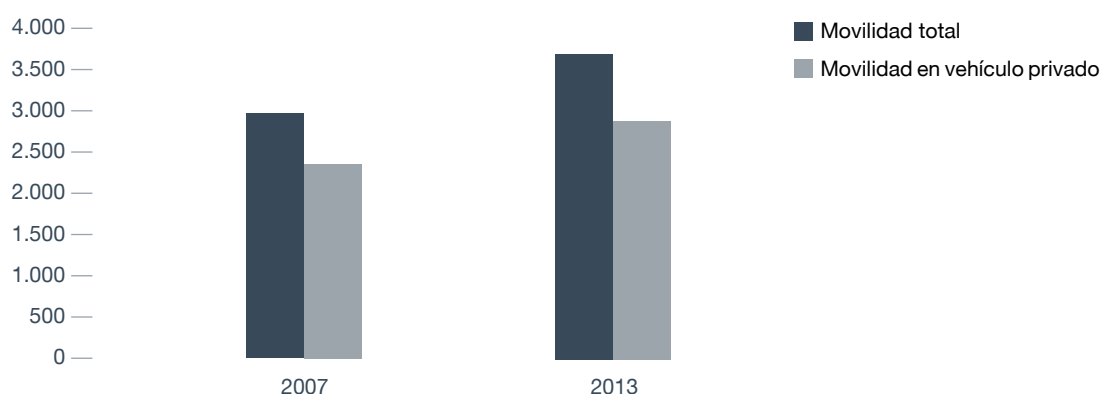
Los procesos de producción determinan unas necesidades de transporte cada vez mayores. Las tendencias del último período para las mercancías movilizadas por carretera, señalan que para el **año 2013 es previsible un volumen de mercancías movido que se situará en el entorno de las 900 millones de toneladas anuales**, cifra que supone un incremento del 50% respecto a la actual. Igualmente, de proseguir las tendencias de los últimos años, se producirá un incremento del papel de la carretera; casi 700 millones de toneladas serán movidas en dicho horizonte por este modo (Figura 30).

**Figura 30.** Evolución previsible del volumen de mercancías movilizadas por carretera (%).

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

Cabe señalar que con esta última cifra, y de mantenerse el tamaño medio de la carga por operación, supondría, prácticamente, incrementar el tráfico de camiones en un 30%, con las repercusiones sobre la congestión y la contaminación que este crecimiento implica. Hay que tener en cuenta que en el entorno de las mayores aglomeraciones urbanas –Sevilla y Málaga, fundamentalmente– existen ya tramos viarios con más de 10.000 camiones diarios, siendo significativamente generalizados los corredores con más de 5.000 vehículos pesados diarios, singularmente en una parte mayoritaria del tramo del corredor de la A-4 que discurre por el territorio regional.

La movilidad de las personas presenta tasas de evolución que debe situarse de forma sensiblemente próxima a la del PIB. La cifra resultante de esta hipótesis se traduce para el horizonte 2013 en un volumen de viajes personales de 3.700 millones. Esta cifra de movilidad supone un crecimiento del 22% con respecto a la situación actual. En cuanto al reparto modal, las actuaciones ya en curso, favorecedoras del transporte público –líneas de metro o tranvía en los principales ámbitos metropolitanos, líneas de ferrocarril de alta velocidad y mejora de los servicios de transporte público por carretera–, harían mejorar su situación en el reparto modal, permitiendo incrementarlo en dos puntos porcentuales y alcanzar una cuota total de participación del 23%, frente al poco más del 21% actual.

**Figura 31.** Evolución previsible de la movilidad en vehículo privado (en millones de desplazamientos).

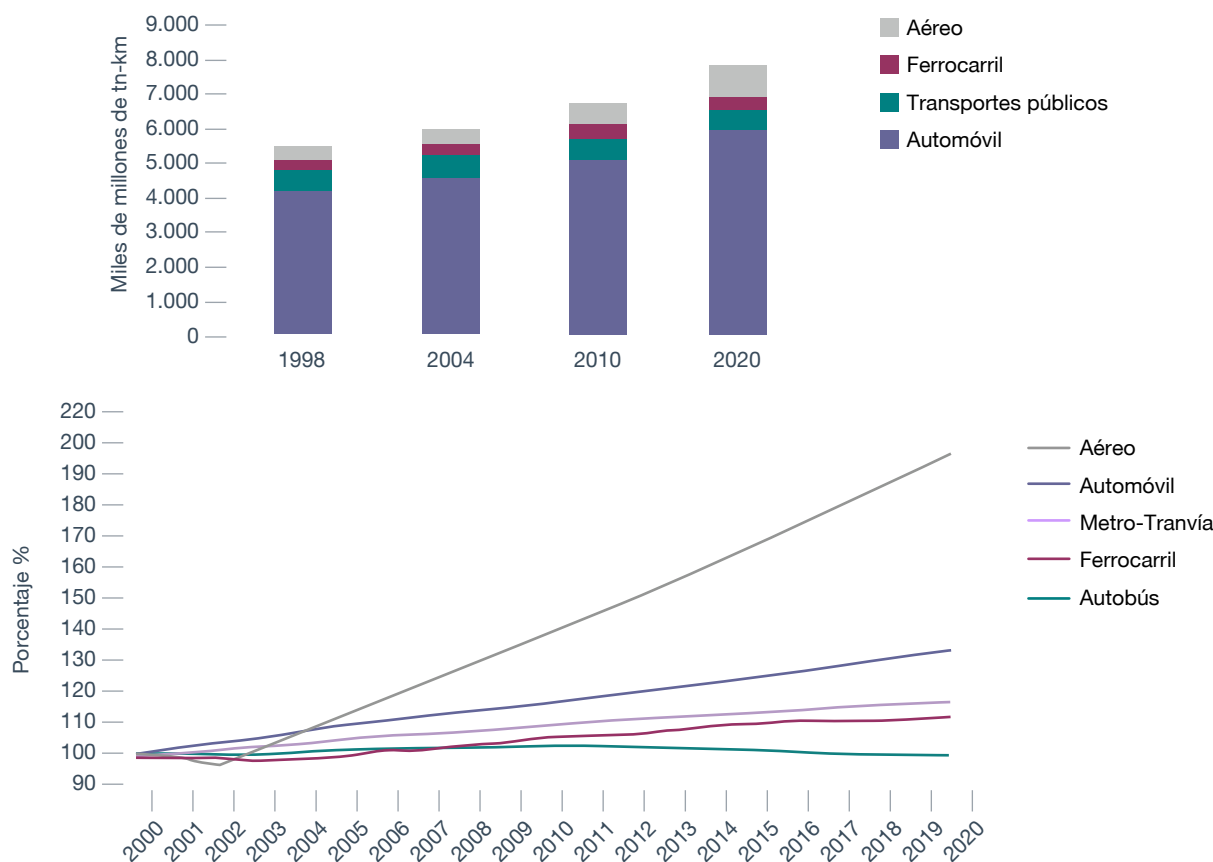
Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2008b).

Las perspectivas de evolución señaladas para la movilidad de personas y mercancías determinan un claro empeoramiento tendencial de las condiciones de sostenibilidad del sistema de transporte andaluz.

La responsabilidad en el consumo de combustibles por el sistema de transporte se reparte de forma sensiblemente igual entre el transporte de personas y de mercancías. Dados los crecimientos tendenciales de cada uno de estos componentes, los 5.700 ktep en los que se puede estimar el consumo en 2007 se habrán convertido **en 2013 en 7.057 ktep**, con una tasa de crecimiento anual del 3,6%. Consecuentemente con este incremento, también aumentará tendencialmente la emisión de GEI, pasándose de las aproximadamente 18 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> de 2007 a una cifra en torno a **22 millones de toneladas en 2013**, con un incremento total de un 23% en el período considerado.

En el contexto europeo del transporte, las tendencias son similares, de acuerdo con el estudio ASSESS, que fue elaborado por la Comisión de la UE en los trabajos previos a la Revisión del Libro Blanco del Transporte realizada en 2006. La evolución en el reparto del mercado del transporte y las predicciones establecidas hasta 2020 (a nivel europeo), ponen de manifiesto diversas tendencias que se resumen a continuación (Figura 32).

**Figura 32.** Crecimiento esperado del transporte de viajeros por modo de transporte.



Fuente: Comisión de las Comunidades Europeas (2006b).

Por una parte, el mercado del transporte de mercancías evolucionará de forma más dinámica que el de viajeros, dado que los modos interiores de transporte de mercancías (carretera, ferrocarril y navegación interior) aumentarán un 24% entre 2000 y 2010, y un 50% entre 2000 y 2020, mientras que para el transporte de viajeros, los crecimientos previstos serán de un 17% y un 35% en los mismos periodos.

El subsector de viajeros seguirá dominado en sus tres cuartas partes por el automóvil, que mantendrá un ritmo uniforme de crecimiento, mientras que el transporte aéreo de viajeros crecerá de forma muy significativa y restará cuota de mercado al ferrocarril y al autocar. Éste último, según el estudio de la Comisión, comenzará a tener ratios negativos de crecimiento a partir del año 2010. A nivel nacional y regional no cabe esperar dicho descenso, sino todo lo contrario a medida que se mejoren las infraestructuras ferroviarias.

En el reparto modal del subsector de mercancías se mantendrá hasta 2020 el dominio de la carretera, aunque se espera que el transporte marítimo de corta distancia se le aproxime de forma muy importante. Los modos de tubería y navegación interior mantendrán su cuota de mercado, mientras que el transporte ferroviario de mercancías continuará reduciendo su cuota.

En relación con el mercado del transporte de viajeros lo más destacable de estas predicciones es la negativa evolución que asignan al transporte en autobús, único modo que presenta dicha tendencia a partir de 2010, de forma que al final del periodo (año 2020) se estima que este modo de transporte presente la misma magnitud que tenía al inicio (año 2000).

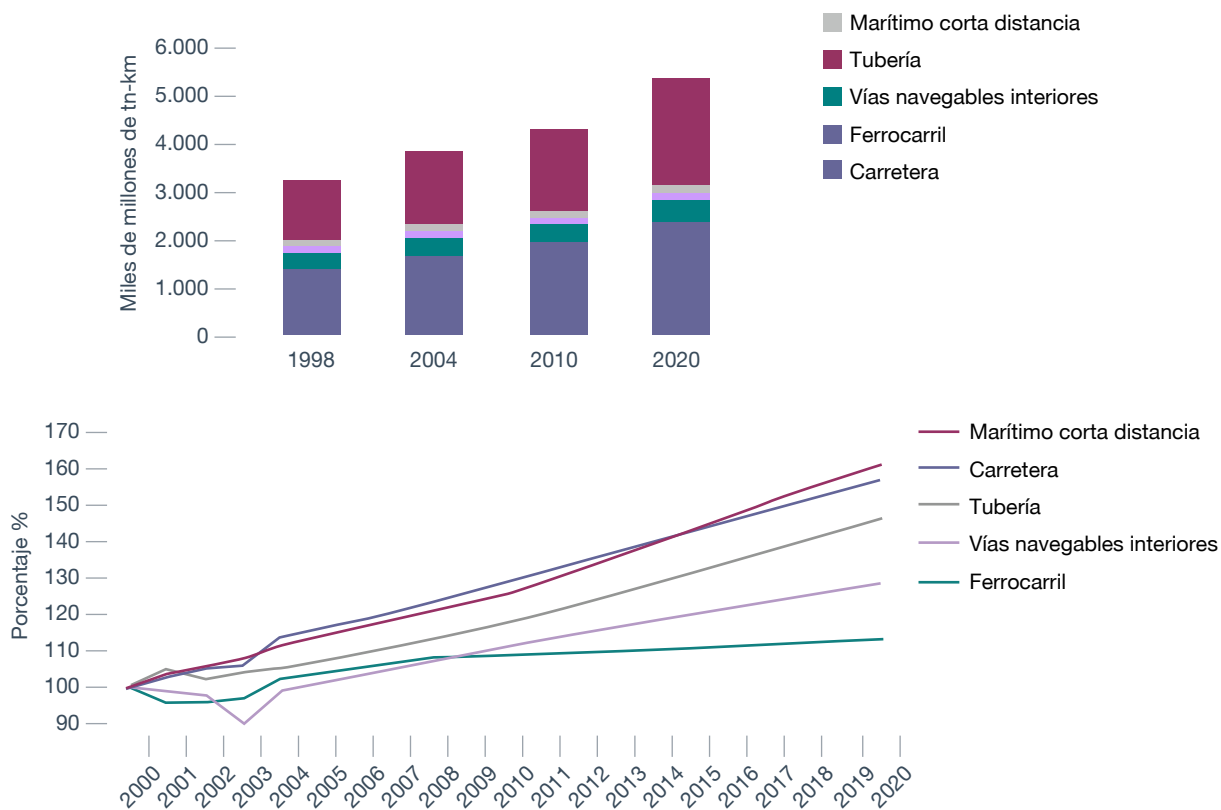
No obstante, estas proyecciones extraídas del estudio ASSESS se basan en el marco hipotético de política constante del *Libro Blanco de 2001*, cuyo fin es reducir el gran desequilibrio existente entre los distintos modos de transporte y, por lo tanto, hay que interpretarlas dentro de ese contexto. En cualquier caso, hay que considerar que existen diversos factores que, a priori, producirían el deslizamiento de viajeros desde el autobús/autocar hacia los modos aéreo y ferroviario, entre otros los siguientes: el progresivo incremento del nivel de renta de la población (en especial en las nuevas economías de la ampliación de la UE), el aumento de la oferta de la aviación comercial (en especial las aerolíneas de bajo coste) y de la alta velocidad ferroviaria, así como la sustitución del autobús por el metro, los tranvías y los metros ligeros en los sistemas de transporte urbano.

Las predicciones relativas al mercado del transporte de mercancías anticipan que la carretera continuará creciendo a un ritmo muy importante, del mismo modo que el transporte marítimo de corta distancia que, al final del período tendrá un crecimiento incluso superior, tendencia que presenta bastante coherencia con las políticas comunitarias de promoción de la intermodalidad.

Por otra parte, resulta destacable que el ferrocarril será el modo de transporte que menos crecimiento tendrá en el ámbito de las mercancías, aunque su aumento seguirá una línea muy similar al del transporte de viajeros. En relación al transporte por tubería y por vías navegables, pese a que sus proyecciones resultan importantes, su participación en cuota de mercado continuará siendo poco relevante (Figura 33).



**Figura 33.** Crecimiento esperado del transporte de mercancías por modo de transporte.



Fuente: Comisión de las Comunidades Europeas (2006b).

Las predicciones utilizadas por la Comisión para la revisión del *Libro Blanco del Transporte 2001* reafirman el liderazgo de la carretera en el ámbito de las mercancías, que continuará creciendo de forma significativa hasta 2020. En el caso del transporte de viajeros, sin embargo, se baraja un comportamiento recesivo del transporte en autobús a partir de 2010.



## 7 Evaluación de la vulnerabilidad

Los cambios en las condiciones de humedad y temperatura, los cambios en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos unidos a un ascenso del nivel del mar, tienen un efecto directo sobre las infraestructuras. En el primer caso, modificando la resistencia y duración de los materiales, alterando de este modo, tanto su operatividad, como su vida media y en el segundo caso, aumentando de manera general la exposición a perturbaciones naturales de origen climático.

Existen diversos factores relacionados con el clima que pueden aumentar la vulnerabilidad de las infraestructuras y que pueden ser empleados, por tanto, para el análisis de la vulnerabilidad del sector bajo estudio. En este caso, se han seleccionado los siguientes factores, por ser aquellos que agrupan la mayor parte de los impactos potenciales identificados:

- Vulnerabilidad asociada al efecto directo de la temperatura y la precipitación.
- Vulnerabilidad asociada a la erosión.
- Vulnerabilidad asociada a la geología (expansividad de las arcillas).
- Vulnerabilidad asociada a la variación en la altura de las olas (evolución del clima marítimo).
- Vulnerabilidad asociada a eventos climáticos extremos (avenida e inundación).

En páginas sucesivas, se exponen cada uno de estos puntos, el modo en el que afectan a las infraestructuras y, posteriormente, se procede a la identificación de las principales zonas vulnerables.

### 7.1. Vulnerabilidad asociada al efecto directo de la temperatura y la precipitación

Las zonas más vulnerables frente a los impactos directos producidos por el exceso de temperatura son las del interior, ya que son éstas las que sufrirán los mayores incrementos de temperaturas medias y máximas. En las figuras siguientes se muestran las proyecciones de cambio en las temperaturas máximas bajo los escenarios A2 y B2 junto con las principales autovías, carreteras nacionales y autonómicas, y ferrocarriles en Andalucía. Para el escenario A2, se aprecia cómo las carreteras y ferrocarriles ubicados en la mitad norte de la provincia de Córdoba serán los que sufrirán las consecuencias de un mayor aumento de las temperaturas máximas. Del análisis espacial de la Figura 34 se obtiene que alrededor de **2.200 Km de carreteras y 100 Km de vías férreas** pertenecientes a la red principal, se encuentran en un área geográfica en la que el cambio de temperaturas máximas bajo el escenario A2, respecto a 1961-1990, se estima entre 3,5 y 4°C con las consecuencias que esto supone para el grado de deterioro principalmente de los asfaltos. Para el escenario B2, los mayores incrementos de temperaturas se producirían en el este de la provincia de Jaén y en el norte de Granada. Del análisis espacial de la Figura 35, se obtiene que alrededor de **1.100 Km de carreteras y 50 Km de vías férreas** pertenecientes a la red principal, se encuentran en un área geográfica en la que el cambio de temperaturas máximas, bajo el escenario B2 respecto a 1961-1990, se estima entre 3 y 3,5°C.

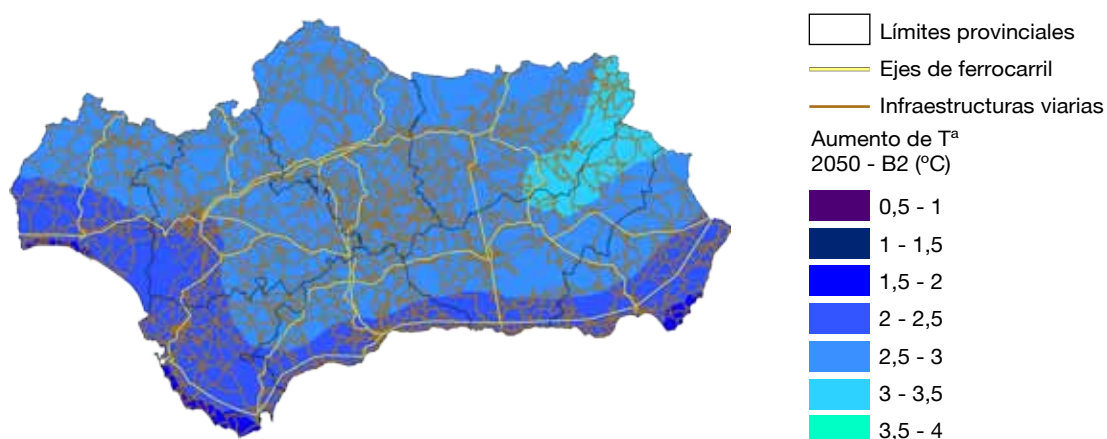
En cuanto a la variación de precipitación se observa de manera general (Figuras 36 y 37), un descenso en la mitad occidental, mientras que en la mitad oriental la situación no muestra grandes cambios. Estas variaciones tienen efectos directos sobre el grado de humedad del suelo y la vegetación, por ejemplo, lo que a su vez presenta implicaciones directas sobre otros factores que serán analizados con mayor detenimiento.

**Figura 34.** Variación de temperaturas máximas en 2050 bajo el escenario A2 respecto al período 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.



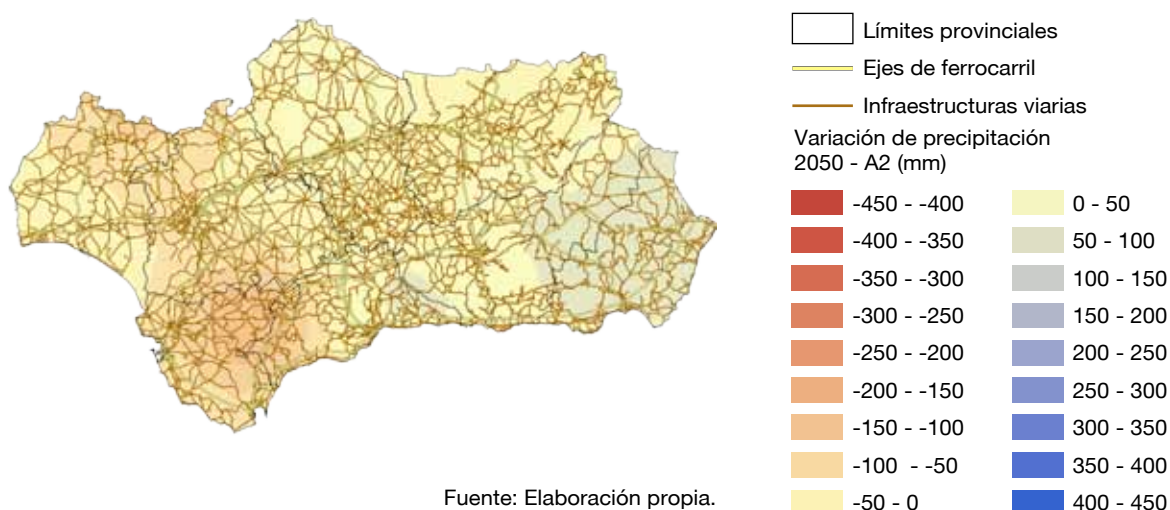
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 35.** Variación de temperaturas máximas en 2050 bajo el escenario B2 respecto al período 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.

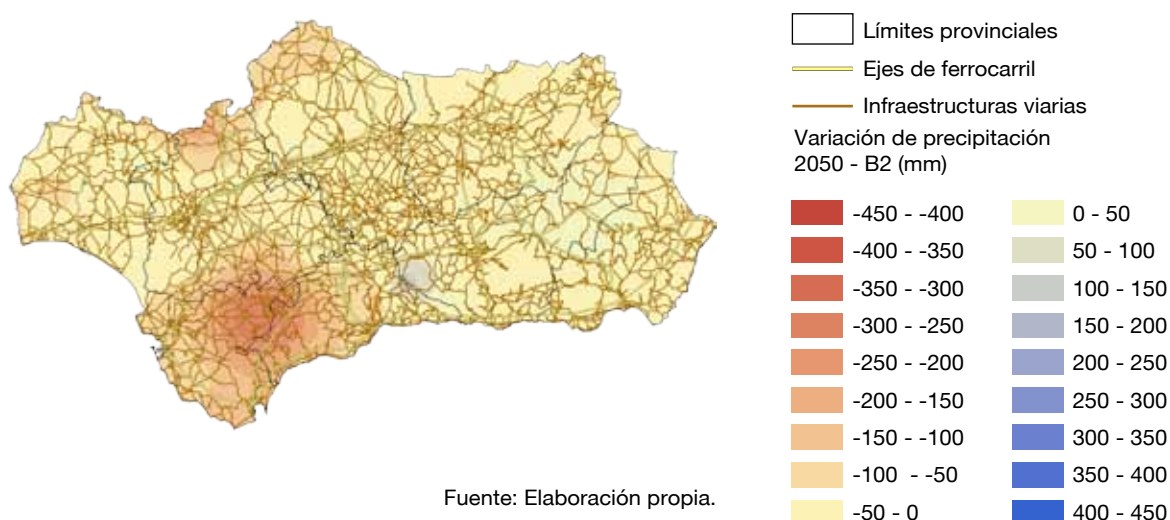


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 36.** Variación de la precipitación en 2050 bajo el escenario A2 respecto a 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.



**Figura 37.** Variación de la precipitación en 2050 bajo el escenario B2 respecto a 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.



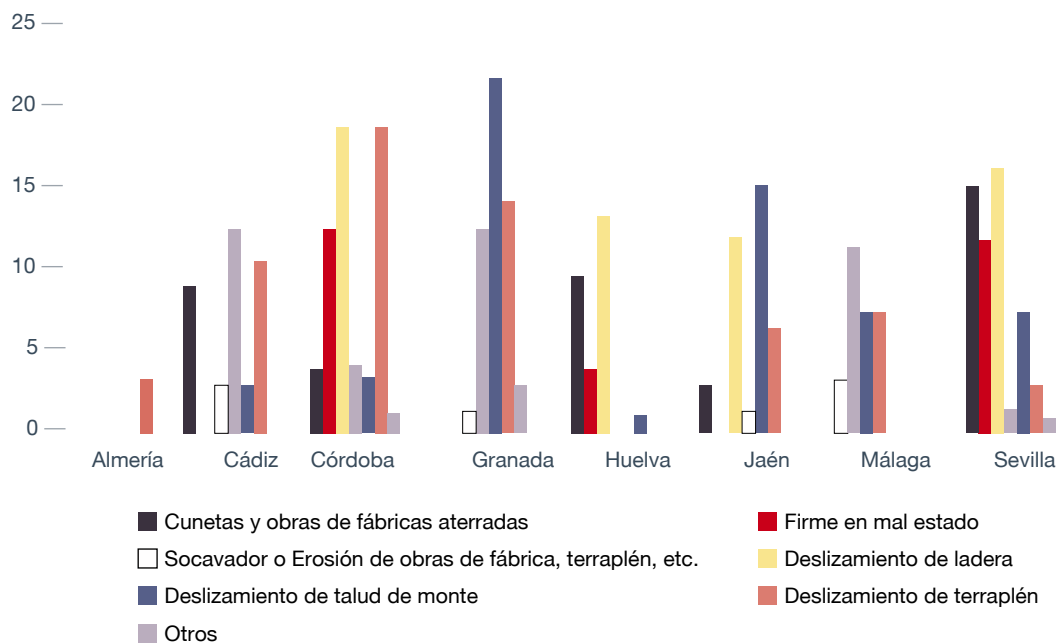
## 7.2. Vulnerabilidad asociada a la erosión.

Todas las infraestructuras son susceptibles a los procesos erosivos de alguno u otro modo. A modo de ejemplo, se presenta la Figura 38, que representa la tipología de los daños por provincia a las carreteras de la Junta de Andalucía debidas al temporal de lluvias del invierno del 96-97. Como puede apreciarse, la afección más común sobre las carreteras debido a las lluvias son los deslizamientos, un tipo de erosión hídrica en masa. En Granada, por ejemplo, destacan los deslizamientos de talud en desmorte y los deslizamientos de terraplén; en Córdoba, el deslizamiento de ladera y de terraplén, y en Sevilla, el deslizamiento de ladera y de talud en desmorte.



Cabe destacar que, con carácter muy general, puede decirse que son las obras de tierra (terraplenes y desmontes) una de las unidades que mayor trascendencia representan en las obras lineales, no sólo desde el punto de vista propiamente económico, sino sobre todo porque de su comportamiento depende la mayor parte del éxito o fracaso de la infraestructura (Garmendia *et al.*, 1997).

**Figura 38.** Tipología de daños por provincia a las carreteras de la Junta de Andalucía debidas al temporal de lluvias del invierno 96-97.

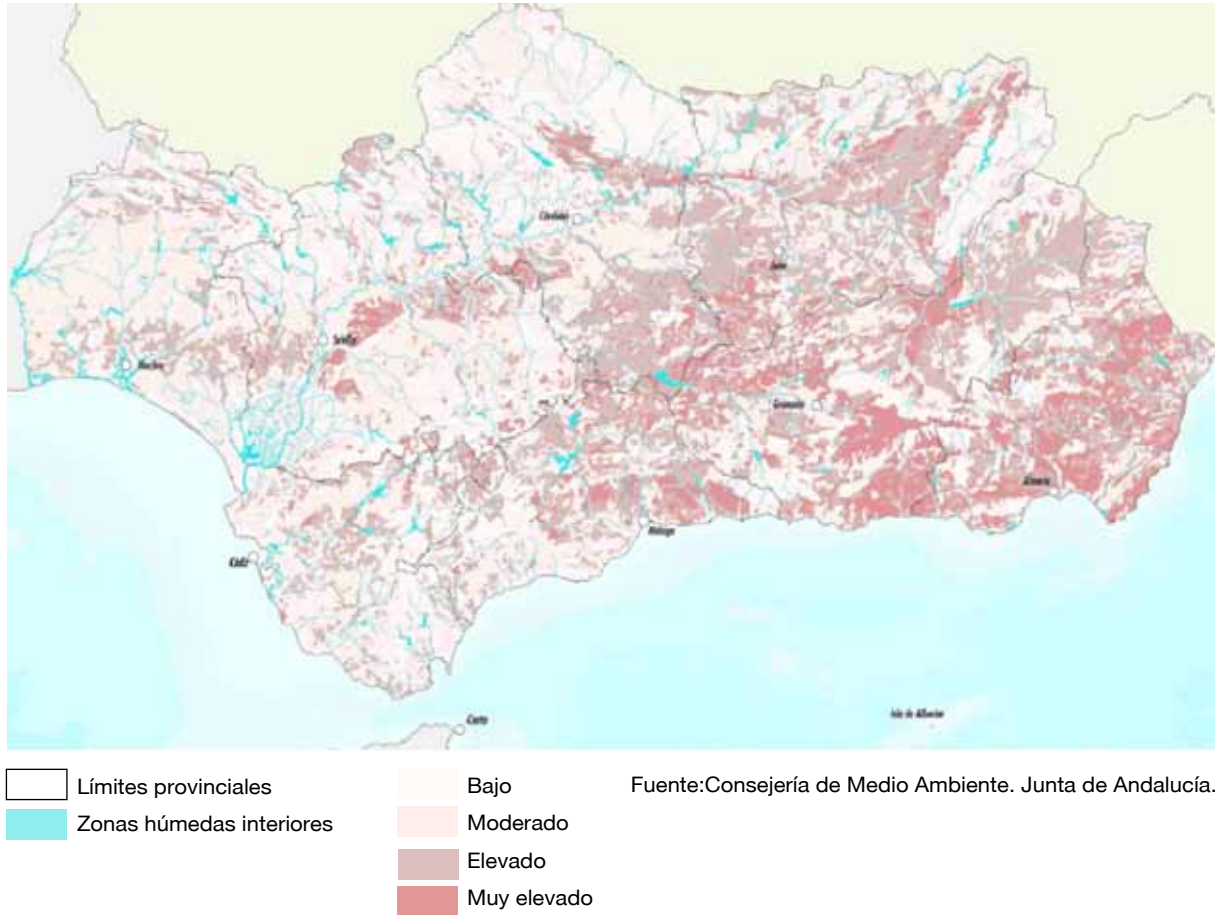


Fuente: Garmendia *et al.* (1997).



La distribución de la erosión en Andalucía se muestra en la Figura 39, apreciándose cómo la mitad oriental de Andalucía es con diferencia la zona con mayor riesgo.

**Figura 39.** Mapa de riesgos de erosión actual en Andalucía.

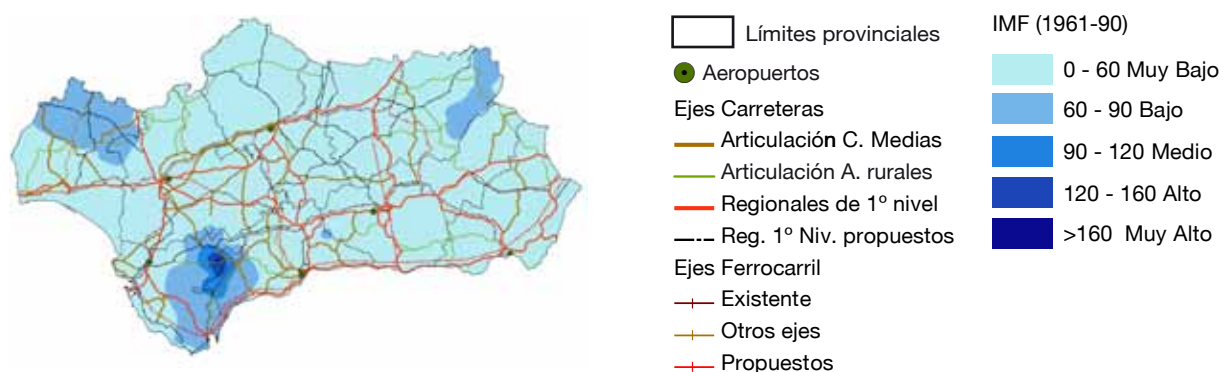


Si se atiende a la capacidad erosiva de la precipitación exclusivamente, ésta puede ser cuantificada mediante diversos índices, uno de los cuales es el “Índice Modificado de Fournier” (IFM). Este índice se expone de manera más detallada en el documento perteneciente al Sector Ordenación del Territorio y Urbanismo, documento del cual se han extraído los mapas que figuran más abajo. En dichos mapas se puede observar, cómo la agresividad de la precipitación es mayor para las proyecciones a 2050, tanto en intensidad como en área geográfica afectada, especialmente para el escenario B2.



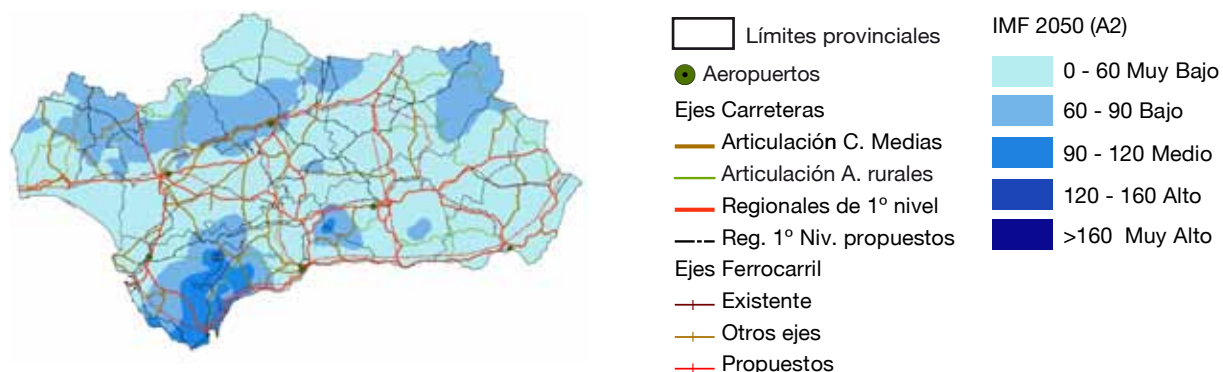


**Figura 40.** Agresividad Climática (IFM) según datos climáticos del periodo 1961-90 y su influencia sobre el Sistema de Articulación Regional de Transporte.



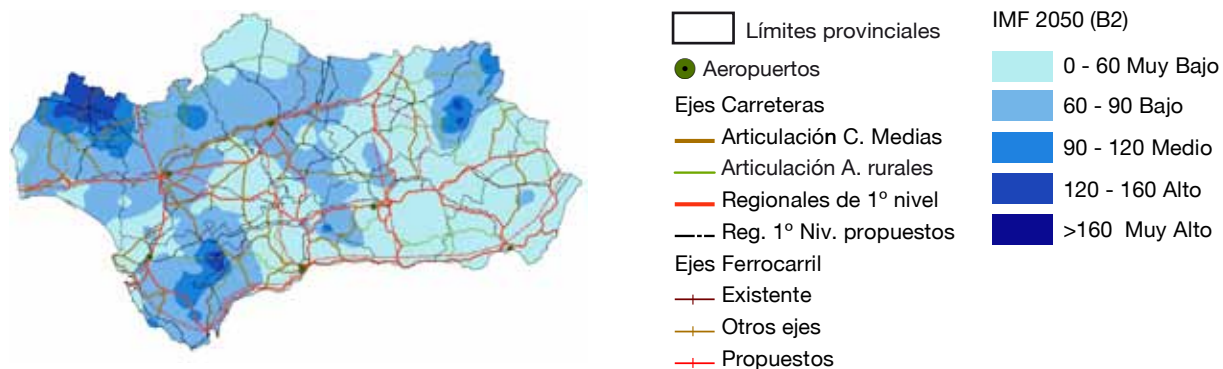
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 41.** Agresividad Climática (IFM) según datos climáticos modelizados a 2050 (A2) y su influencia sobre el Sistema de Articulación Regional de Transporte.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42.** Agresividad Climática (IFM) según datos climáticos modelizados a 2050 (B2) y su influencia sobre el Sistema de Articulación Regional de Transporte.



Fuente: Elaboración propia.

### 7.3. Vulnerabilidad asociada a la geología (arcillas expansivas)

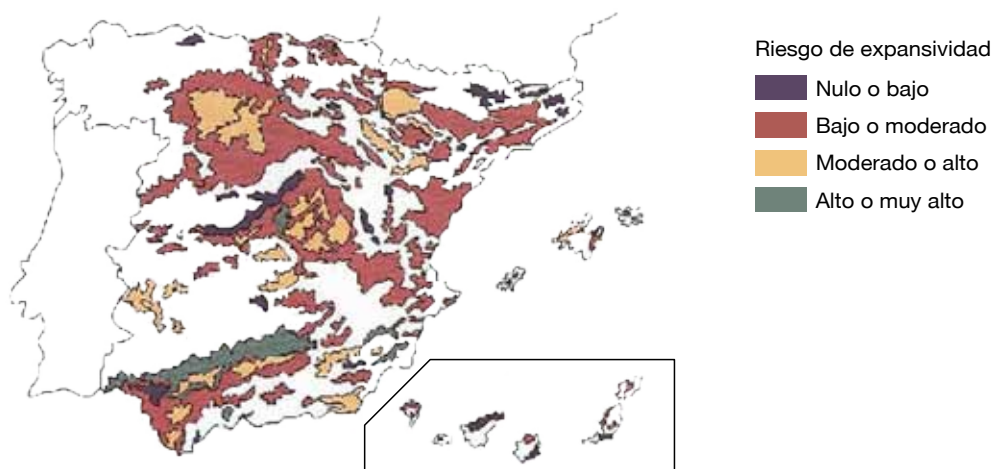
Los cambios en el nivel de humedad del suelo tienen una importancia determinante en la construcción y mantenimiento de las infraestructuras. Es el caso de la arcilla expansiva, que desde el punto de vista ingenieril, más que un tipo de suelo, es la manifestación de un fenómeno de cambio de volumen del terreno producido por cambios de humedad, en el que tienen una parte importante tanto la actividad de la arcilla como el clima (Macho, 1997).

El clima se puede caracterizar por su precipitación media anual y por un índice climático que exprese el balance hídrico entre evapotranspiración y precipitación como por ejemplo, el índice de Thornthwaite. Los problemas debidos a arcillas expansivas se pueden plantear sobre todo en climas que van desde el semiárido hasta el sub-húmedo, con precipitaciones entre 250 y 1.000 mm, e índices de Thornthwaite entre -40 y 15 y el nivel freático profundo. En estas circunstancias climáticas se encuentra gran parte de Andalucía, excepto la zona costera de Almería, en la que el clima es árido (De Justo, 1997).

En la Figura 43 se muestra la distribución de las zonas con diferentes grados de riesgo por expansividad, apreciándose que Andalucía es con diferencia la región más afectada por este tipo de riesgo en toda España, concretamente la zona comprendida por la depresión del Guadalquivir\*. Este riesgo, se encuentra asociado a los cambios de humedad en el suelo, de modo que el cambio en el balance hídrico de los mismos, (relacionado a su vez con la ETP y otros factores agroclimáticos), influye directamente sobre dicho riesgo. Como se muestra en las Figuras 36 y 37, cabe esperar (a 2050), un ligero descenso en el volumen de precipitaciones para la zona que comprende la depresión del Guadalquivir, lo que disminuiría el índice de humedad de estos suelos. No obstante, una mayor variabilidad interanual de años húmedos con años secos incrementaría el riesgo sobre las infraestructuras de transporte por expansividad de arcillas.

\*El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) elaboró un mapa de riesgo de expansividad por arcillas a escala 1:1.000.000, que define las zonas con riesgo alto o muy alto en Andalucía.

**Figura 43.** Mapa de presencia de arcillas expansivas en España.



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Además, existen otros parámetros dependientes del clima y de la naturaleza de los suelos, tales como la susceptibilidad a la meteorización o la capacidad portante de los materiales, que resultan de importancia en la construcción de infraestructuras lineales.

#### 7.4. Vulnerabilidad asociada a la variación en la altura de las olas (evolución del clima marítimo)

Sobre los territorios costeros, los impactos serán debidos sobre todo a las inundaciones, por la acción conjunta del incremento en la intensidad de los temporales y el ascenso del nivel del mar (ver Tabla 12 del epígrafe “Identificación de Impactos Potenciales”).

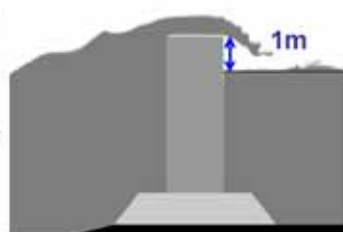
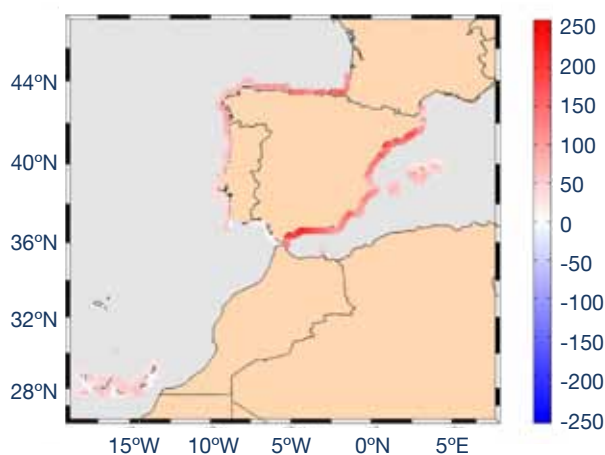
Para un análisis más exhaustivo de los impactos potenciales sobre las zonas costeras se ha partido de la evaluación realizada en *“Impactos en la Costa Española por Efectos del Cambio Climático (Fase III Estrategia frente al Cambio Climático en la Costa)”* de la Oficina Española para el Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente, 2004). En el marco de este proyecto, se realizó un estudio de reanálisis de 44 años de datos (1958-2001) obtenidos mediante simulación numérica en el que se consideraron variables meteorológicas y oceanográficas relevantes para evaluar los posibles efectos del cambio climático en la costa. El análisis ha servido para estudiar las tendencias de dichas variables y realizar la predicción de la evolución futura de las mismas.

La Fase III propone y evalúa un sistema de indicadores e índices que aportan información objetiva para el establecimiento de políticas y estrategias de actuación para corregir, mitigar y prevenir los efectos del cambio climático en el litoral español obtenidos en la Fase II de la citada Estrategia. A continuación, se recogen las principales conclusiones extraídas de este documento para la costa española, en general, y para Andalucía, en particular:

- A nivel global se asume que la tendencia actual de variación del nivel medio del mar en el litoral español es de 2,5 mm/año, por lo que extrapolando al año 2050, se tendría un ascenso del nivel medio de +0,125 m, teniendo en cuenta los modelos globales contemplados por el IPCC, se asume que en el año horizonte 2050, el ascenso del nivel del mar en el litoral español se situará en torno a +0,2 m.
- El Golfo de Cádiz presenta una tendencia negativa muy clara en energía del oleaje para todas las variables de oleaje estudiadas, lo que confirma la tendencia a un clima marítimo más suave.
- En el Mediterráneo y en el Golfo de Cádiz se obtiene una reducción de las tasas de transporte potencial, lo que indica que en las playas sometidas a erosiones progresivas, la tasa de erosión será más lenta, ya que la capacidad de transporte se reducirá.
- El rebase de obras marítimas es importante dada la gran cantidad de puertos e infraestructuras localizadas en la costa. Es un índice que muestra la pérdida de funcionalidad de las mismas por efecto del cambio climático; advierte del incremento de peligrosidad de daños a propiedades, personas, etc., por rebase en las mismas y aporta una indicación del coste que podría suponer el recrecimiento de los mismos. La Figura 44 representa la variación adimensional del rebase a lo largo de todo el litoral español,

donde se pone de manifiesto que esta variable sufrirá importantes modificaciones con respecto a los valores actuales, y que estas variaciones adimensionales, serán más notables en la zona del Mediterráneo, sobre todo en la zona comprendida entre Málaga y Algeciras, donde se pueden alcanzar hasta variaciones del 250% con respecto a los rebases actuales (en este tipo de estructuras).

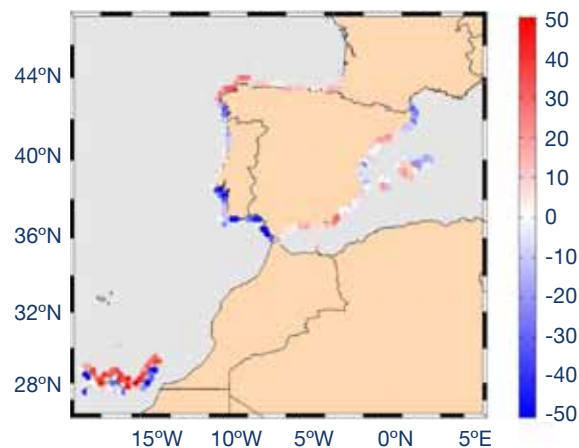
**Figura 44.** Porcentaje de variación adimensional del rebase de las obras costeras y portuarias a lo largo del litoral español. Altura de ola de cálculo limitada por fondo.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2004).

- El estudio realizado también puso de manifiesto que el cambio climático puede acarrear importantes consecuencias en cuanto a la estabilidad de los diques se refiere, de forma que si se produce un aumento del nivel medio del mar, en aquellas estructuras en las que la altura de ola de cálculo esté delimitada por fondo, se producirá una desestabilización de las mismas, de forma que si se desea que la estructura mantenga el mismo criterio de estabilidad, el tamaño de las piezas que componen una obra deberá aumentar. Por lo tanto, el aumento del peso de las piezas en obras marítimas es también relevante en cuanto a que aporta información sobre la potencial pérdida de estabilidad y el coste económico de posibles reparaciones.

**Figura 45.** Porcentaje de variación adimensional del peso en las obras costeras y portuarias a lo largo del litoral español. Altura de ola de cálculo no limitada por fondo.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2004).

La Figura 45 muestra cómo para la zona del Golfo de Cádiz las proyecciones apuntan hacia un descenso en la variación adimensional del peso de las piezas de las obras marítimas; lo que supone que con los parámetros de diseño actual, las obras que se ejecuten en el futuro quedarían sobredimensionadas. Por otro lado, esta situación aumenta el coeficiente de seguridad de las obras ya existentes.

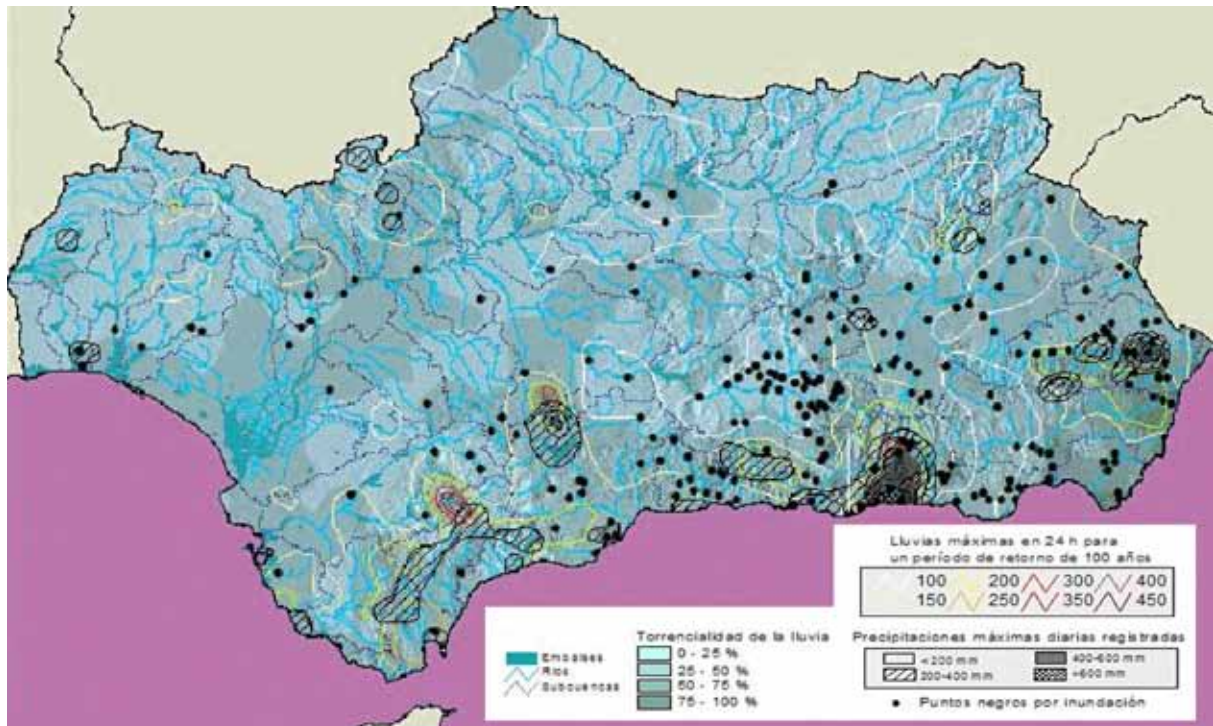
## 7.5. Vulnerabilidad asociada a eventos climáticos extremos (avenida e inundación)

El cambio climático podría suponer un cambio en la torrencialidad de las precipitaciones lo cual aumentaría la vulnerabilidad de todo tipo de infraestructuras de transporte y sus servicios asociados (ver Tabla 13 del epígrafe “Identificación de Impactos Potenciales”).

La torrencialidad de la lluvia se puede definir como el porcentaje que supone la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años, respecto a la precipitación total del año. En la Figura 46 se presenta un mapa de lluvias intensas e inundaciones con la representación del índice de torrencialidad (anteriormente descrito), las isopletas de lluvias máximas en 24 horas para el período de retorno de 100 años, y la distribución de las precipitaciones máximas diarias registradas y puntos negros de inundación. En la Figura 47, se representa exclusivamente el índice de torrencialidad descrito.

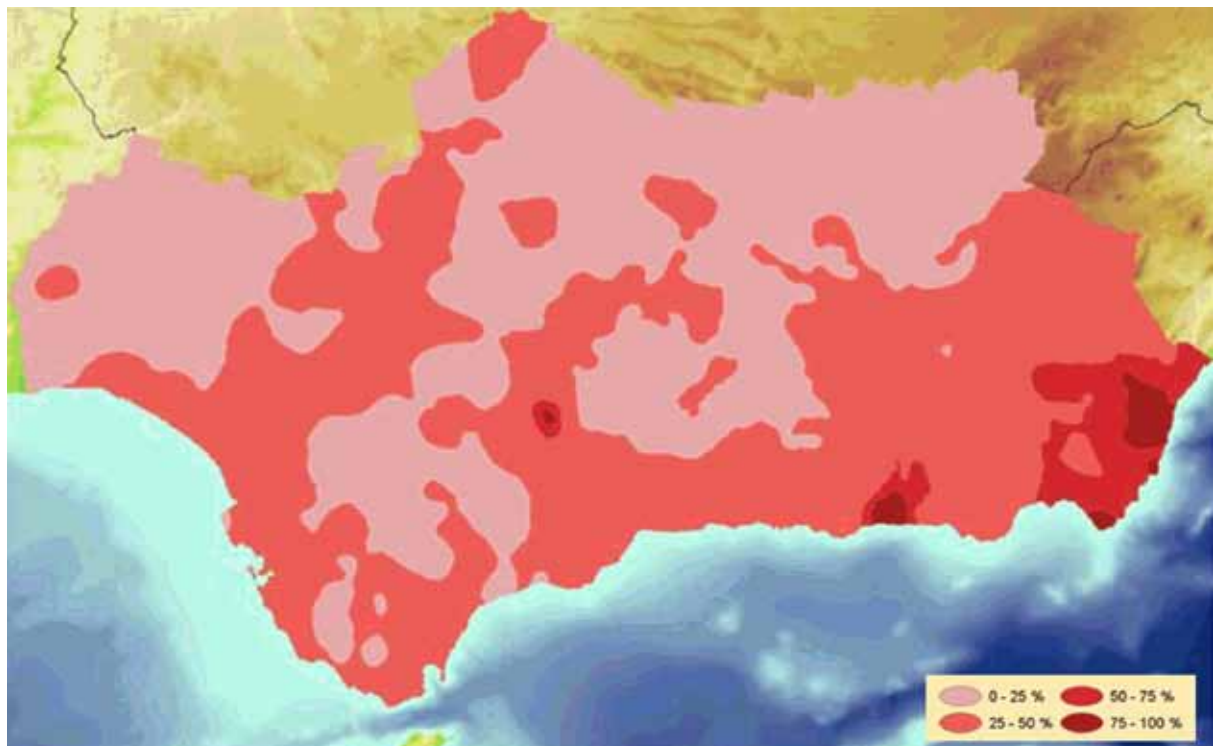


Figura 46. Mapa de lluvias intensas e inundaciones.



Fuente: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Figura 47. Índice de Torrencialidad.



Fuente: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.



Para el análisis de los posibles cambios, se ha realizado un análisis estadístico mediante ajuste de Gumbel de las series de precipitación diaria para los períodos 1961-1990 y 2011-2040 y para aquellas estaciones de cada provincia que presentaron una mayor precipitación diaria para el período de retorno de 100 años de la serie 1972-1989; se seleccionaron las siguientes 8 estaciones:

**Tabla 5. Estaciones seleccionadas**

Provincia	Nombre de la estación y código	Coordenadas UTM	Máxima P <sup>a</sup> diaria con T=100 (mm)
Granada	Albuñol (6275)	X: 481.746 / Y: 4.071.847	464,9
Cádiz	Grazalema (5911)	X: 288.570 / Y: 4.070.746	430,9
Huelva	Jabugo (4514)	X: 172.232 / Y: 4.203.104	201,0
Córdoba	La Jarsa (5442)	X: 331.701 / Y: 4.197.287	164,7
Sevilla	Constantina (5708)	X: 269.436 / Y: 4.195.100	185,5
Málaga	Benaoján 6035)	X: 296.071 / Y: 4.062.700	289,0
Jaén	Quesada (5001)	X: 502.529 / Y: 4.188.163	249,0
Almería	Gallardos (6339)	X: 594.048 / Y: 4.114.262	232,7

Fuente: Análisis estadístico ofrecido por web: Miliarium.com, a partir de datos de la AEMET.

La distribución Gumbel se ha utilizado con buenos resultados para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas, entre ellas precipitaciones y caudales máximos, y es el método empleado por Elías Castillo y Ruíz Beltrán en su estudio sobre las precipitaciones máximas (Elías y Ruíz, 1979).

Se admite, por tanto, la hipótesis contrastada por la experiencia, de que la distribución de probabilidad acumulada de las precipitaciones máximas diarias anuales, representadas por la variable x, se ajustan a la ley de distribución de Gumbel, cuya expresión es:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-u)}}$$

Los resultados obtenidos para las estaciones se presentan en la tabla que se muestra a continuación (los cálculos se incluyen en el Anejo 3):

**Tabla 6. Tabla de resultados del análisis estadístico por ajuste de Gumbel.**

Provincia	Nombre de la estación y código	Período	Valor medio	P <sup>a</sup> máx. diaria T=100	Índice de Torrencialidad
Granada	Albuñol (6275)	1961 - 1990	49,26	99,03	201%
		2011 - 2040	46,56	114,65	246%
Cádiz	Grazalema (5911)	1961 - 1990	156,33	276,41	176%
		2011 - 2040	129,63	260,63	201%
Huelva	Jabugo (4514)	1961 - 1990	71,13	110,65	155%
		2011 - 2040	64,80	113,21	174%

Córdoba	La Jarosa (5442)	1961 - 1990	59,93	101,83	170%
		2011 - 2040	55,10	103,34	187%
Sevilla	Constantina (5708)	1961 - 1990	64,86	94,87	146%
		2011 - 2040	60,36	96,86	160%
Málaga	Benaoján 6035)	1961 - 1990	100,40	149,33	148%
		2011 - 2040	90,70	158,10	174%
Jaén	Quesada (5001)	1961 - 1990	83,50	132,11	158%
		2011 - 2040	76,73	133,13	173%
Almería	Gallardos (6339)	1961 - 1990	54,00	112,08	207%
		2011 - 2040	55,56	97,72	175%

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Tabla 6 de resultados, el índice de torrencialidad aumenta para el período 2011-2040 para las estaciones seleccionadas de todas las provincias excepto para la estación de Gallardos en Almería, en la que el índice disminuye un 32%. De las estaciones en las que el índice aumenta, destaca la de Albuñol en Granada con un 45% y Grazalema, en Cádiz, con un 25%.

Sería preciso elaborar un análisis estadístico por este método en todas las estaciones de Andalucía para constatar la tendencia apuntada en la Tabla 6 de resultados y, de este modo, poder elaborar un mapa del índice de torrencialidad proyectado. No obstante, salvo en el caso puntual de Almería en el que el riesgo por inundación disminuiría al disminuir la torrencialidad de las precipitaciones, la torrencialidad aumenta y, con ello, el riesgo de inundación para el resto de las estaciones seleccionadas.

La torrencialidad de las precipitaciones no es el único factor que influye en el riesgo de inundación sobre todo en zonas urbanas; con el objetivo de evaluar este tipo de zonas más vulnerables, se está llevando a cabo el “*Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces (2002-2015)*” (Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2002). Este Plan, que tiene como objetivo prevenir y minimizar los riesgos por inundaciones en los núcleos urbanos andaluces, llevó a cabo una caracterización y cartografía de las zonas con mayor riesgo de inundación en cauces urbanos.

Para estos estudios de inundabilidad, se han considerado las relaciones entre precipitaciones (frecuencia e intensidad de lluvias, períodos de retorno), cobertura forestal de las cuencas (relacionado con las retenciones de lluvia e infiltración), concentración de población y actividades económicas, caracterización de cuencas vertientes: topografía (pendientes), tiempo de concentración, factor de almacenamiento, etc.

Como causas determinantes de las inundaciones se consideraron:

- Ocupación urbana, viaria o agrícola del cauce.
- Sección insuficiente del cauce o de obras de cruce.
- Falta de encauzamiento o deterioro del mismo.
- Red de alcantarillado o drenaje deficiente.
- Concentración de acarreo sólidos.
- Mareas y barra litoral.
- Accidente hipotético de presa.

Se asignó un nivel de riesgo en función de la tipología de los daños y la frecuencia de los mismos, tal y como se muestra en la Tabla 7. Los daños a las infraestructuras de transporte (red viaria) se clasificaron como nivel 3.

**Tabla 7. Niveles de riesgo por inundaciones o avenidas.**

Niveles de riesgo		Casi todos los años	Una vez cada 5 años	Una vez cada 10 años	Fenómenos aislados	Existe riesgo potencial
5	Niveles de daños a viviendas	A, B, C	A, B, C	A, B, C	B, C, D	B, C, D
4	Niveles de daños a equipamientos y servicios	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C, D	B, C, D
4	Niveles de daños a instalaciones industriales	A, B, C	A, B, C	B, C, D	B, C, D	C, D
3	Niveles de daños a la red viaria	A, B, C	A, B, C	B, C, D	C, D	C, D
1 - 2	Otros	C	D	D	D	D

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2002).

La Tabla 8 muestra la distribución de los puntos de riesgo caracterizados y su nivel de riesgo. La Figura 48 muestra la distribución de la Tabla 7 en Andalucía.

Las provincias más afectadas en cuanto al número de puntos de riesgo son Almería, Granada y Málaga, las cuales coinciden con las zonas que actualmente presentan una mayor torrencialidad.

**Tabla 8. Inventario de puntos de riesgo por inundación.**

Inventario de puntos de actuación	Niveles de Prioridad				Puntos	Total			
	A	B	C	D		Núcleos		Municipios	
						Nº	%	Nº	%
Almería	24	68	80	100	272	159	28,2	76	74
Cádiz	5	19	37	7	68	55	26,2	28	64
Córdoba	8	33	52	15	108	55	19,9	45	60
Granada	44	45	102	78	269	138	31,3	99	59
Huelva	3	26	20	6	55	33	15,9	29	37
Jaén	7	6	46	11	70	46	15,9	41	43
Málaga	12	61	85	27	185	103	28,0	65	65
Sevilla	12	20	31	9	72	50	14,6	45	43
Total	115	278	453	253	1099	639	23,7	428	56
<b>Media provincial</b>	<b>14</b>	<b>35</b>	<b>57</b>	<b>31</b>	<b>137</b>	<b>80</b>	<b>-</b>	<b>54</b>	<b>-</b>

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2002).

**Figura 48.** Distribución de los puntos de riesgo en Andalucía.

Plan de Prevención Avenidas e inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces.  
Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes (2002).

## 7.6. Conclusiones

Las provincias del interior son las más vulnerables frente a los impactos directos relacionados con el aumento de las temperaturas, tales como la degradación del pavimento por agrietamiento y ondulaciones. A esto se suma el hecho de que Sevilla, Córdoba y Jaén son las provincias con mayor presencia de arcillas con un grado de expansividad alto o muy alto. Este tipo de impactos no suponen, a corto plazo, una amenaza para las vías de transporte pero, a largo plazo, pueden incrementar de manera considerable los costes de mantenimiento, requiriendo, a su vez, del empleo de mezclas asfálticas más resistentes al calor.

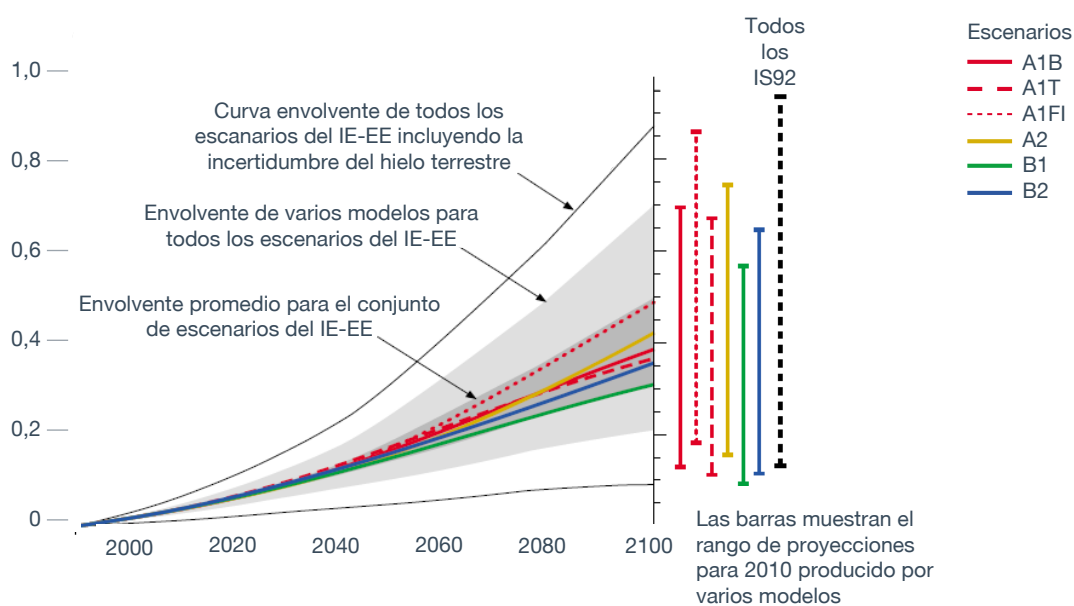
Por otro lado, los impactos sobre las provincias costeras son los más vulnerables frente al aumento en la torrencialidad e inundaciones, que dan lugar a todo tipo de deslizamientos y roturas en las infraestructuras. Este tipo de fenómenos son mayores para las provincias de Málaga, Granada y Almería debido al nivel de torrencialidad de las precipitaciones, el grado de erosión actual y la evolución del clima marítimo previsible. Por tanto, suponen una amenaza mayor para las vías de comunicación y otras infraestructuras de transporte, y requieren de la adopción de medidas relacionadas con la evaluación estratégica de las redes de transporte y el replanteo de las normas de diseño, entre otras.

Cabe mencionar que el análisis de vulnerabilidad presentado en este apartado, puede complementarse con los análisis realizados para otros sectores de actuación del presente Programa de Adaptación, tales como incendios forestales, inundaciones y, en general, todos aquellos relacionados con las perturbaciones naturales de origen climático. Las publicaciones citadas en el presente apartado llevan a cabo, en parte, este trabajo. Cabe citar, además de las anteriores, la publicación *“Atlas de Riesgos Naturales de la Provincia de Granada”* elaborado por la Diputación de Granada en colaboración con el Instituto Geominero de España (Ferrer, 2007), que ofrece un análisis pormenorizado con cartografía hasta 1:200.000, de diversos riesgos naturales de origen climático y geológico.

La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, en colaboración con la Fundación para la Investigación del Clima (FIC), ha realizado proyecciones de los cambios en el clima que podrían darse durante el presente siglo en Andalucía, bajo los distintos escenarios de desarrollo socioeconómico definidos por el IPCC. Estos escenarios climáticos regionalizados, se encuentran recogidos en el Anejo 4 del presente documento.

El ascenso global del nivel del mar como consecuencia del aumento de temperaturas es de especial importancia en Andalucía que cuenta con una gran extensión de costa. Según el IPCC, este ascenso se situará entre los 20 cm y los 50 cm hacia finales de siglo (Figura 49).

**Figura 49.** Aumento medio en el nivel del mar para los distintos escenarios.



Fuente: IPCC (2007).

Los impactos de estos cambios del clima sobre las infraestructuras y servicios de transporte, podrían agruparse en dos categorías, en función de la magnitud de los mismos y su prolongación en el tiempo. Tal y como se muestra en el cuadro adjunto, los impactos más severos pero de menor duración en el tiempo, son aquellos originados por los eventos meteorológicos extremos (lluvias torrenciales, fuertes vientos, granizo intenso, etc.) y los de menor severidad pero de mayor prolongación en el tiempo, serían los originados por el cambio de condiciones climatológicas a largo plazo (incremento en las temperaturas medias y máximas, régimen de precipitaciones, etc.).

En este epígrafe se abordan los impactos atendiendo a su clasificación, en primer lugar, por tipo de transporte y, posteriormente, por variable climatológica. Otros impactos fundamentales sobre el sector transporte, aunque no afecten directamente a las infraestructuras o a las condiciones para la operatividad de los servicios, son los relacionados con el sector energético.

Aparte de estos efectos directos, se pueden identificar otros efectos indirectos tales como la modificación en el emplazamiento de ciertas actividades económicas, alteración de los niveles de contaminación atmosférica o cambios en la demanda de los servicios de transporte.

Tabla 9.

Variables climáticas	Eventos desencadenados	Sensibilidad del Sistema de Transporte -Riesgos y Respuestas-		
Precipitación (nieve, lluvias, granizo, etc.)  Temperatura  Viento  Humedad  Condiciones climáticas que afectan a las características y la calidad del aire	Deslizamientos y derrumbamientos	<u>OPERACIONES</u>	<u>IMPACTO AGUDO</u>	<u>INFRAESTRUCTURAS</u>  Ej. Destrucción originada por inundaciones, fuertes vientos, granizo, etc.  Ej. Agrietamiento en los pavimentos  Ej. Cambios en el diseño de las infraestructuras, aceleración del deterioro en todos los materiales en general, etc
	Cambios en los ciclos de congelación / descongelación	Ej. Retirada de nieve en las carreteras;	(Fenómenos meteorológicos extraordinarios)	
	Reducción de la visibilidad	Ej. Fallos en el suministro eléctrico;	↓	
	Inundaciones	Ej. Condiciones que imposibilitan el tráfico	<u>CRÓNICOS/ ACUMULATIVOS</u>	
	Tormentas y cambio en la fuerza y dirección de los vientos	Ej. Dificultades para el tránsito marítimo en algunos canales	<u>A LARGO PLAZO</u> (Condiciones habituales)	
	Ascenso del nivel del mar	Ej. Presupuestos para el mantenimiento		
Altura y energía de las olas; temporales en la costa				

Fuente: Adaptado de Andrey y Mills (2003).





### 8.1. Identificación de impactos potenciales

#### 8.1.1. Genéricos

El clima tiene una influencia directa sobre todos los medios de transporte; en este sentido, se distinguen diversos impactos que afectarán de manera general a cada uno de ellos. Dichos impactos pueden resumirse en los siguientes:

- Aumento en el número de inundaciones debidas a mareas más altas combinadas con precipitaciones más intensas.
- Un deterioro más acelerado de todas las infraestructuras debido a la erosión provocada por el viento, las inundaciones y la lluvia, el agua de mar y temperaturas más elevadas. El deterioro debido a la exposición a nieves o heladas será menor en las áreas de montaña.
- Los episodios de inundación, seguidos de desecaciones rápidas de los terrenos, podrían provocar un aumento de los fenómenos de subsidencia, así como movimientos de tierra que afecten a las infraestructuras que sobre ellos se asientan.
- Mayor número de incendios debido a la desecación de la vegetación.
- Sobrecalentamiento de maquinaria y vehículos.
- Un clima más “extremo” conllevaría un mayor número de días con condiciones adversas o no aptas para viajar, afectando tanto a la seguridad como a la operatividad de los sistemas de transportes.
- Mayor consumo de energía de la maquinaria y de los vehículos debido al uso del aire acondicionado, lo que provoca mayor contaminación ambiental e incrementa la vulnerabilidad ante posibles colapsos de la red eléctrica. El uso de aire acondicionado en los vehículos incrementa el consumo de combustible aproximadamente en un 12% (National Research Council of the National Academies, 2008).
- Surge la necesidad de cuestionarse el dimensionamiento de todas las infraestructuras y sistemas de drenaje, ante una mayor vulnerabilidad asociada a la inundación.

#### 8.1.2. Sobre el transporte por calles, carreteras y autopistas

Los impactos más directos y probables sobre este tipo de infraestructuras, debidos a cambios en la climatología, podrían agruparse en los siguientes:

- Cortes y/o dificultades para la circulación de los vehículos por inundación de las vías.
- Afección o corte de las obras de paso por efecto de las crecidas fluviales.
- Obstaculización de las vías por caída de árboles, postes, paneles informativos, rocas u otros elementos debido a la fuerza del viento.
- Obstaculización de las vías por derrumbamientos de rocas debido a la desecación de taludes, desmontes y terraplenes.

- Obstaculización de las vías por deslizamientos de tierra debidos a las fuertes lluvias.
- Subsistencia de las vías por deslizamientos de tierra debidos a las fuertes lluvias.
- Levantamiento del firme y deterioro del asfalto (formación de roderas, pérdida de la capa bituminosa etc.) por exposición a mayores temperaturas.
- Un deterioro más acelerado de todas las infraestructuras en general, debido a un mayor estrés térmico de todos los materiales (los asfaltos más oscuros sufrirán un deterioro más acelerado que los claros).
- Mejora de las condiciones para las infraestructuras en las regiones altas y de montaña, debido a una reducción del número de días de helada y nieve.
- Mejora de las condiciones para el tránsito en las regiones altas y de montaña, debido a la reducción en el número de días de helada y nieve.
- Colapso de las vías ante una posible situación de contingencia, provocada en parte por el cambio climático, como pueden ser cortes puntuales por obstaculización de las vías.
- En el caso de cortes en el suministro de agua, durante periodos prolongados de tiempo, puede darse un deterioro de las vías debido al tránsito continuado de camiones cisterna para el abastecimiento de agua a la población.
- Un nivel de desecación mayor en la vegetación, puede dar lugar a incendios con mayor facilidad. Éstos constituyen un impacto que puede darse a diferentes escalas: grandes incendios forestales que afecten de forma general a todas las infraestructuras de la zona afectada, o a pequeña escala, por incendios de la vegetación próxima a las cunetas.
- Pérdida de estabilidad en los taludes, desmontes y terraplenes, por la desecación de la vegetación, lo que puede provocar deslizamientos con mayor frecuencia.

Todos estos impactos requieren una labor de monitorización e investigación más profunda (apoyándose en la comparación con otros países o regiones en las que estos fenómenos son más habituales) para comprender íntegramente su magnitud y alcance. Se puede afirmar que estos efectos tendrán un impacto seguro sobre el diseño y el mantenimiento de las infraestructuras de transporte en general (por ejemplo, el colapso de drenajes y desagües).

### 8.1.3. Sobre el transporte ferroviario

Dentro de este grupo de impactos se pueden identificar los siguientes:

- Cortes y/o dificultades para la circulación de los trenes, por inundaciones de parte de los tramos de vía y/o de las estaciones o por afección a los sistemas auxiliares, de seguridad y/o de mantenimiento.
- Derrumbamiento o corte de las obras de paso por efecto de las crecidas fluviales (puentes, túneles etc.).

- Obstaculización de las vías férreas por caída de árboles, postes, paneles informativos, pantallas acústicas, vallas, rocas u otros elementos debido a la fuerza del viento.
- Averías o caídas de la catenaria por la fuerza del viento.
- Averías en la catenaria y otros elementos por rayos.
- Obstaculización de las vías férreas por derrumbamientos de rocas debido a la desecación de taludes, desmontes y terraplenes.
- Obstaculización de las vías férreas por deslizamientos de tierra a causa de las fuertes lluvias.
- Subsistencia de los terrenos por los que atraviesa el ferrocarril motivada por los deslizamientos de tierra originados por las fuertes lluvias.
- Un deterioro más acelerado de todas las infraestructuras en general debido a un mayor estrés térmico de todos los materiales. (Los cementos más oscuros sufrirán un deterioro más acelerado que los claros).
- Dilatación de los ferrocarriles por exposición a mayores temperaturas, que hará que los trenes circulen a menor velocidad.
- Dilatación excesiva de la catenaria por la exposición a temperaturas mayores; en los tramos donde no se encuentre equilibrada mediante pesos, puede llegar a entrar en contacto con otras estructuras o elementos.
- Mejora de las condiciones para las infraestructuras y para el tránsito en las regiones altas y de montaña, debido a una reducción del número de días de helada y nieve.
- Disminución en la velocidad de circulación de los trenes, debido a la dilatación excesiva de las vías ante temperaturas veraniegas más elevadas.
- Un nivel de desecación mayor en la vegetación, puede dar lugar a incendios con mayor facilidad. Éstos constituyen un impacto que puede darse a diferentes escalas: grandes incendios forestales que afecten de forma general a todas las infraestructuras de la zona, o a pequeña escala por incendios de la vegetación próxima a los ferrocarriles.
- Excesivo calor en los vagones, con los consiguientes síntomas asociados en la salud de las personas o el estado de las mercancías que se transportan, sobre todo en los vagones y estaciones no climatizadas.
- Picos en la demanda eléctrica a consecuencia de las olas de calor que podrían provocar cortes en el servicio; al excesivo calor anteriormente mencionado, se uniría además, la falta de ventilación en los vagones parados.
- Inundaciones de las estaciones o las vías de metro debidas a las intensas lluvias.

- Posibles inundaciones de los transportes suburbanos próximos a la costa, por intrusión marina en el nivel freático (ej. Metro de Málaga). Si se tuvieran que realizar operaciones de bombeo, este hecho incrementaría el coste de las mismas.

### 8.1.4. Sobre el transporte aéreo

Se identifican los siguientes impactos sobre el transporte aéreo:

- Inundaciones de determinadas zonas de las pistas o del aeropuerto, que afecten a los sistemas auxiliares, de seguridad y/o de mantenimiento y, por ende, al tráfico aéreo.
- Dificultades para el despegue y aterrizaje debido a condiciones meteorológicas adversas.
- Deterioro más acelerado de todas las infraestructuras en general, debido a un mayor estrés térmico de todos los materiales.
- Mayor temperatura en las pistas, lo que a su vez tiene consecuencias sobre el consumo de combustible durante el despegue (menor densidad del aire), la vida media de los neumáticos y los frenos, etc. Un estudio llevado a cabo por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de EE.UU. para los aeropuertos de Denver y Phoenix, realizó una proyección para los meses de verano de 2030, estimando una pérdida en la capacidad de carga del modelo Boeing 747 de un 17% y un 9%, respectivamente (National Research Council of the National Academies, 2008).

### 8.1.5. Sobre el transporte marítimo

En la actualidad, no se han llevado a cabo estudios específicos acerca de los posibles impactos del cambio climático sobre el transporte marítimo, pero sí se han realizado evaluaciones de posibles impactos sobre las infraestructuras portuarias.

El impacto climático local sobre las infraestructuras portuarias, se refiere esencialmente a los niveles de las estructuras y a su capacidad resistente. El primer punto se ilustra por la cota de coronación de los diques (que condicionan los volúmenes de rebase) o por la zona de éstos expuestas a mayores solicitaciones. El punto de la capacidad resistente se basa por ello en la modificación del nivel medio del mar y en la intensidad, duración y recurrencia de las tormentas de oleaje. Todo ello requiere una reevaluación de la fiabilidad de las estructuras marítimas (Ministerio de Medio Ambiente, 2005).

Aparte de los impactos específicos sobre las infraestructuras portuarias que podrían afectar a la operatividad de los servicios de transporte marítimo, el incremento en la intensidad de los temporales unido al aumento del nivel del mar, podría dar lugar a los siguientes impactos:

- Aumento del número de operaciones de búsqueda y rescate, así como del número de buques que necesiten ser remolcados.
- Aumento en el número de días de amarre de los barcos por condiciones adversas para la navegación.

- Surgirá la necesidad de mejorar los sistemas de predicción meteorológica para el estado de la mar.
- Cambios en la estacionalidad de las aguas costeras.
- Cambios en el diseño de las embarcaciones.
- Determinados cursos fluviales podrían hacerse intransitables debido al descenso en el nivel del agua de los ríos.
- También podrían darse cambios potenciales en canales y otras infraestructuras para superar desniveles como los sistemas de esclusas, ascensores para barcos, etc.
- Posibles cambios en las rutas de navegación debido a la construcción de parques eólicos marinos.
- Daños en las infraestructuras portuarias debido a las inundaciones, así como alteraciones en las operaciones y servicios asociados, con el consecuente aumento en el número de reclamaciones a los seguros por este motivo.

### 8.1.6. Sobre el transporte no motorizado

Los efectos del cambio climático sobre el transporte no motorizado (a pie y bicicleta) son mayoritariamente positivos, al posibilitar mayor número de días al año con una temperatura favorable para realizar este tipo de desplazamientos. Las afecciones sobre las vías ciclistas y peatonales podrían considerarse poco significativas en comparación con los efectos positivos apuntados anteriormente. No obstante, la evolución futura del transporte no motorizado (sobre todo en bicicleta) depende en mayor medida de la implementación de medidas que fomenten su uso frente a otros modos de transporte.

### 8.1.7. Sobre el transporte por tubería

En relación al transporte por tubería, se pueden identificar los siguientes impactos:

- Subsistencia de los terrenos por los que atraviesan las conducciones.
- Sobreexcavación y erosión de las conducciones que atraviesen lechos de ríos, arroyos o torrentes.
- Mayor erosión de las conducciones que atraviesan el fondo marino en áreas costeras con escasa profundidad, debido a una mayor energía en las olas.

## 8.2. Clasificación de impactos

En las Tablas 10, 11, 12, 13 y 14, se presenta una clasificación de los impactos anteriormente identificados por medio de transporte, cambio climático potencial y afección a las infraestructuras y/o a las operaciones/servicios.

**Tabla 10. Resumen de impactos clasificados por modo de transporte**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Impactos sobre el transporte marítimo		Impactos sobre el transporte aéreo	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Operaciones y servicios	Infraestructuras	Operaciones y servicios	Infraestructuras
Temperatura (incremento en el número de días muy calurosos; olas de calor)	Limitaciones en las operaciones y actividades de construcción debido a consideraciones de seguridad y salud	Deterioros en el pavimento del asfalto líquido, etc.).	Impactos debidos al aumento de la temperatura en ríos y lagos.	Similares impactos a los sufridos por las infraestructuras de transporte terrestre.	Retrasos debidos al calor excesivo.	Infraestructuras
		Deterioros en el hormigón (necesidad de construir con hormigones más resistentes al calor).				
		Mayor expansión térmica en las juntas de dilatación.			Impactos sobre los límites de carga para el despegue, (necesidad de pistas más largas, reducción de los límites de equipaje por pasajero etc.).	
		Posibles deformaciones en los ferrocarriles o limitaciones en la velocidad de los trenes.			Sobre calentamiento de la maquinaria, vehículos y aviones incluyendo un mayor desgaste de los neumáticos, frenos etc.	
		Sobre calentamiento de la maquinaria y los vehículos incluyendo un mayor desgaste de los neumáticos, frenos etc.				
		Mayor consumo de combustible por el uso del aire acondicionado.				

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).



**Tabla 11. Resumen de impactos clasificados por modo de transporte**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Impactos sobre el transporte marítimo		Impactos sobre el transporte aéreo	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Operaciones y servicios	Infraestructuras	Operaciones y servicios	Infraestructuras
Temperatura (reducción del número de días muy fríos)	<p>Menos días en los que es necesaria la retirada de nieve y hielo en las carreteras de montaña.</p> <p>Reducción del impacto ambiental provocado por la sal y los compuestos para evitar el hielo en el pavimento.</p> <p>Mejora de las condiciones para el trabajo de los operarios de mantenimiento (montaña)</p>	<p>Reducción del estrés por gelificación de todos los materiales en las regiones altas</p>			<p>Mejora de las condiciones para la operatividad de los helipuertos de montaña</p>	

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 12. Resumen de impactos clasificados por modo de transporte**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Impactos sobre el transporte marítimo		Impactos sobre el transporte aéreo	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Operaciones y servicios	Infraestructuras	Operaciones y servicios	Infraestructuras
Aumento del nivel del mar unido a una mayor intensidad de los temporales en la costa.	Cortes en el servicio por inundación.	<p>Inundaciones más frecuentes en paseos marítimos, pasos subterráneos y carreteras o ferrocarriles muy próximos a la costa.</p> <p>Aumento de la erosión en los cimientos y pilares.</p> <p>Sobreexcavación de pilares y estribos en obras de paso.</p> <p>Aumento de la obstrucción en las obras de paso.</p> <p>Subsidencia de las carreteras próximas a la costa.</p>	<p>Mayor número de días inoperativos.</p>	<p>Daños provocados por las olas.</p> <p>Necesidad de adecuar todas las infraestructuras portuarias a mareas y marejadas más altas.</p> <p>Cambios para la navegabilidad en la desembocadura de los ríos por el aumento o disminución de la profundidad de los sedimentos.</p>	<p>Corte del servicio del aeropuerto por inundación. (Ej. Aeropuerto de Almería o Gibraltar)</p>	<p>Inundación: obstrucción de los drenajes de las pistas y de las instalaciones.</p>

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 13. Resumen de impactos clasificados por modo de transporte**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Impactos sobre el transporte marítimo		Impactos sobre el transporte aéreo	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Operaciones y servicios	Infraestructuras	Operaciones y servicios	Infraestructuras
Precipitación (fuertes tormentas; incremento en la fuerza de los vientos y lluvias torrenciales)	Incremento en los retrasos y cortes de los servicios a causa de inundaciones u obstáculos y dificultades para la circulación.	Inundaciones más frecuentes de autopistas, carreteras y calles, así como pasos subterráneos y ferrocarriles.  Colapso o sobrecarga de los sistemas de drenaje.  Derrumbamientos o deslizamientos de tierras (subsistencia de las carreteras y/o ferrocarriles).  Cambios en el grado de humedad del suelo que puede afectar a la integridad estructural de las carreteras, puentes o túneles.  Formación de mayor número de balsas de agua sobre las carreteras.	Mayor número de operaciones de búsquedas y rescate de embarcaciones.  Dificultades para las operaciones de seguridad y mantenimiento.	Daños provocados por las olas.  Necesidad de adecuar todas las infraestructuras portuarias a mareas y marejadas más altas.  Cambios para la navegabilidad en la desembocadura de los ríos por el aumento o disminución de la profundidad del lecho debido a la retirada o acumulación de sedimentos en el fondo.  Daños provocados por los vientos a las grúas y otras instalaciones portuarias.	Incremento en los retrasos y cortes de los servicios por inundación de las pistas o las instalaciones.  Implicaciones para los planes de evacuación y emergencia, y las operaciones de mantenimiento.	Impactos en la seguridad estructural de las instalaciones.  Daño o deshabilitación de los sistemas de ayuda a la navegación o instalaciones perimetrales y auxiliares (valladas, señalizaciones, etc.).  Daños generales por inundación y colapso de los sistemas de drenaje.
	Afección a las actividades de construcción de nuevas infraestructuras así como a la estacionalidad de las operaciones de mantenimiento.	Incremento en la erosión e inestabilidad de todas las infraestructuras.				

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 14. Resumen de impactos clasificados por modo de transporte**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Impactos sobre el transporte marítimo y fluvial		Impactos sobre el transporte aéreo	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Operaciones y servicios	Infraestructuras	Operaciones y servicios	Infraestructuras
Precipitación (descenso generalizado de las precipitaciones)	Aumento de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales que obliguen a cortar el tráfico o que reduzcan la visibilidad.	Daño directo por incendios forestales. Aumento de la probabilidad de derrumbamientos o deslizamientos en las áreas quemadas con posible afección a las infraestructuras.	Impactos sobre la navegabilidad de las vías fluviales, y la época del año en la que será posible su navegación.		Reducción de la visibilidad por incremento en el número de incendios.	

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

### 8.3. Impactos indirectos

#### 8.3.1. Impactos indirectos relacionados con el sector energético

El impacto de mayor relevancia que podría sufrir el sector transporte a consecuencia del cambio climático podría venir de los cambios ocasionados por éste sobre el sector energético, del cual depende, como es obvio, el sector transporte (Tabla 15).

**Tabla 15.** Consumo de energía final por sectores en Andalucía.

Consumo de energía final por sectores (ktep = kilotoneladas equivalentes de petróleo)	2005	% consumo de energía final
Industria	5.130,30	35,27
Transporte	5.323,40	36,60
Primario	1.188,30	8,17
Servicios	1.126,50	7,75
Residencial	1.775,60	12,21
TOTAL	14.544,10	100,00

Fuente: Elaboración propia a partir de Consejería de Medio Ambiente (2007).

Estos cambios se podrían dividir en tres tipos:

- Aquellos originados por las políticas de mitigación (Ej. *Plan Andaluz de Acción por el Clima – Programa de Mitigación*) que promueven la reducción de GEI provenientes del transporte, y fomentan los avances tecnológicos en eficiencia y aprovechamiento energético.
- Aquellos que afecten a la producción de biocombustibles por el cambio en las condiciones climáticas de cultivo para diversas especies empleadas para tal fin.
- Aquellos originados por los efectos del cambio climático a escala global, que afecten a los suministros de combustibles derivados del petróleo. Esto último es importante debido a que España es un país importador de petróleo, ya que la producción nacional tan sólo cubre el 0,4% de las necesidades de crudo del país.

El elevado grado de dependencia externa de petróleo hace que los impactos producidos por el cambio climático más allá de nuestras fronteras, tengan una importancia relevante dentro del sector transporte de Andalucía.

A estos efectos del cambio climático, habría que sumar otros factores propios del mercado tales como la debilidad o fortaleza de la moneda, la reducción de la oferta, la pujante demanda de economías emergentes o la especulación del mercado que, a corto plazo, resultan más determinantes en el precio del crudo. Por ejemplo, el incremento en el precio del gasóleo, origen de las huelgas en el transporte por carretera y el sector pesquero del 2008, fue atribuible según los expertos, a los factores anteriormente mencionados.

El transporte aéreo de pasajeros presenta también una especial relevancia para el turismo en Andalucía y, junto con el transporte por carretera, son los que más han crecido en los últimos años. Los planes de mitigación de emisiones de GEI establecidos a nivel mundial, prestan especial atención a este sector de actividad, estrechamente relacionado con el turismo.

### 8.3.2. Otros impactos indirectos

Tal y como se ha visto con el sector energético, el cambio climático origina una serie de impactos sobre otros sectores, con repercusiones directas sobre el sector transporte. A modo de ejemplo, se pueden mencionar aquellos relacionados con los recursos pesqueros, los recursos hídricos, la ganadería o el turismo. Estos impactos, tendrán implicaciones, por ejemplo, sobre la distancia de los recorridos, el grado de uso de las carreteras, o la oferta y demanda del transporte aéreo de pasajeros.

Otros impactos indirectos podrían deberse a cambios en la calidad del aire y del agua; ya que temperaturas más elevadas durante los meses de verano, incrementarán la contaminación sobre todo la debida al ozono, lo cual a su vez, requerirá la adopción de medidas para salvaguardar la salud, que afectarán al transporte. Similares cambios se podrían producir en la calidad de las aguas, resultado de la necesidad de nuevos revestimientos y tratamientos en los firmes, que los hagan más resistentes a un régimen de precipitaciones más torrencial. Estos impactos indirectos presentan una elevada incertidumbre debido a que dependen de suposiciones acerca de los escenarios socioeconómicos futuros, el grado de innovación tecnológica y las políticas que se adopten.

A continuación, se describen con mayor detalle los efectos indirectos sobre los sectores anteriormente señalados:

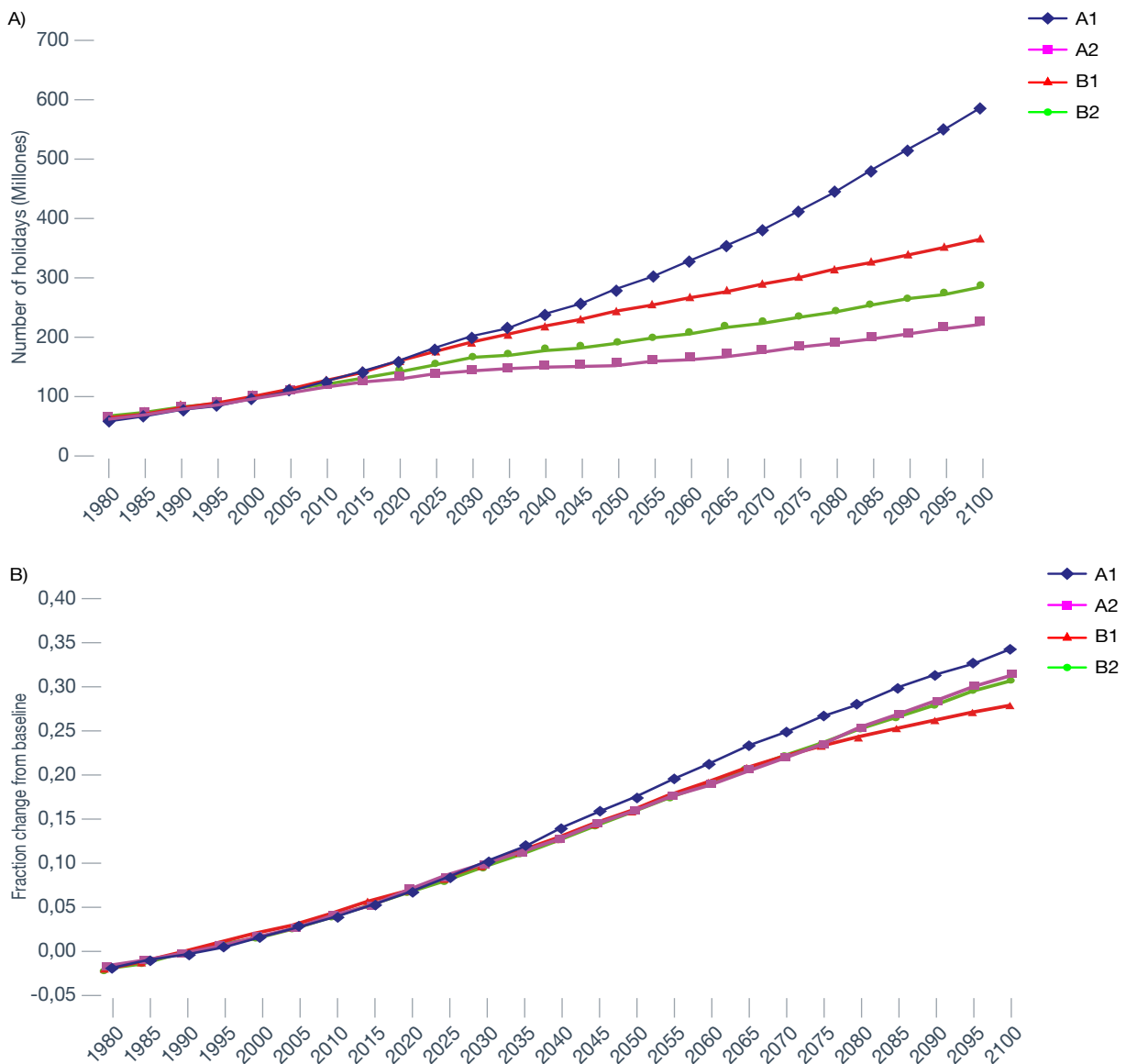
- Sobre los recursos pesqueros: una de las principales consecuencias que tendrá el cambio climático sobre los recursos pesqueros será el de la migración de las especies hacia los polos, debido a un sobrecalentamiento de las aguas. Este hecho tendrá como consecuencia la necesidad de desplazarse distancias más largas para tener acceso a estos recursos, lo que a su vez, puede dar lugar a la necesidad de barcos mayores. Todo esto hará que el coste final del producto se incremente.
- Sobre los recursos hídricos: aunque los escenarios climáticos regionalizados no proyectan un descenso de la precipitaciones, son de esperar períodos de sequías más severos y prolongados, que pueden dar lugar a la necesidad de trasvasar agua desde otras cuencas y, en situaciones especialmente graves, a transportar agua en camiones cisterna para abastecer a las poblaciones.
- Sobre la ganadería: el progresivo retroceso de los pastos de montaña y la alternancia de períodos de sequía más severos y prolongados, podría tener consecuencias directas sobre la ganadería extensiva, que requeriría trashumancias de mayores distancias, en las que cabría la posibilidad de transportar el ganado por tren o carretera. (Estos impactos serán analizados en mayor profundidad en el documento sectorial correspondiente).
- Sobre el turismo: a medida que la industria turística responda a los cambios en la elección de los destinos y los períodos vacacionales, se generará un cambio en la demanda de los servicios de transporte, sobre todo en el transporte aéreo de pasajeros. De este modo, una mejora de las condiciones climáticas favorables para el turismo, en aquellos países que en la actualidad, aportan el mayor número de turistas extranjeros a Andalucía podría tener consecuencias directas sobre el volumen del tráfico aéreo de pasajeros en los aeropuertos andaluces. Por este motivo, el



análisis de los impactos del cambio climático sobre el turismo en estos países puede resultar de utilidad. A continuación, se presentan las principales conclusiones del estudio “The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study” (Hamilton and Tol, 2006).

La Figura 50 muestra el número de viajes vacacionales con destino nacional realizados en Alemania para los cuatro diferentes escenarios (SRES); en A) se muestra la situación sin cambio climático, y en B) el efecto sobre esas cifras debido al cambio climático. Se observa que el número de viajes, se incrementa a lo largo del siglo para todos los escenarios: para finales de siglo, el número de viajes se incrementa el doble en el escenario A2, y 10 veces en el escenario A1. El efecto del cambio climático sobre el número de viajes con destino nacional es positivo, este aumento es de un 25% para el escenario B1 y hasta un 35% para el escenario A1.

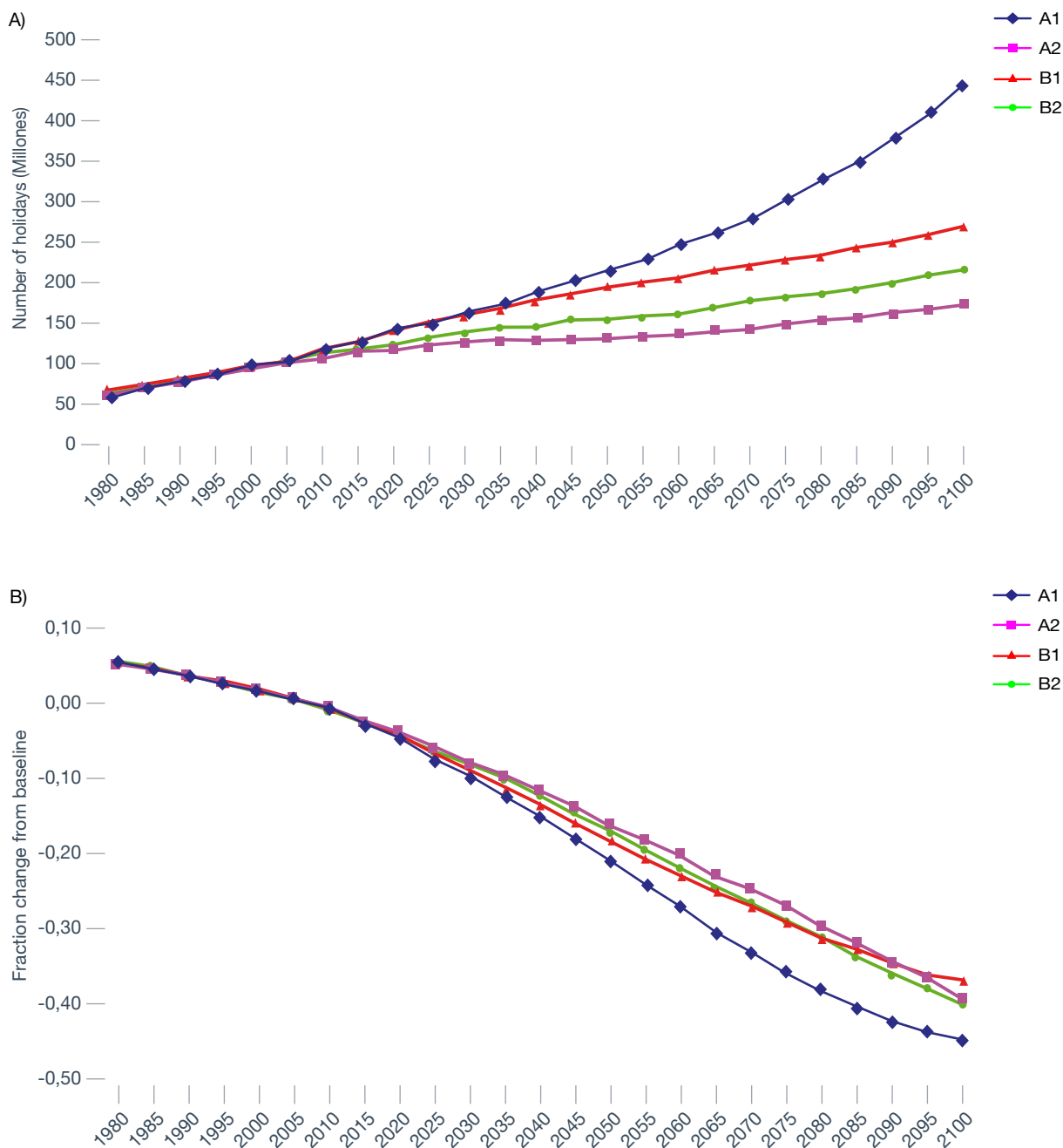
**Figura 50.** Número de viajes vacacionales con destino nacional (Alemania).



Fuente: Hamilton and Tol (2006).

El número de salidas internacionales de turistas alemanes se muestra en la Figura 51. El patrón es muy similar al presentado en la figura anterior. El efecto del cambio climático sobre el número de salidas internacionales es justamente el contrario al presentado anteriormente, produciéndose un decremento sustancial de las salidas internacionales en favor de las vacaciones con destinos nacionales en Alemania (aproximadamente un 25% menos para el escenario B1 y hasta un 35% menos para el escenario A1).

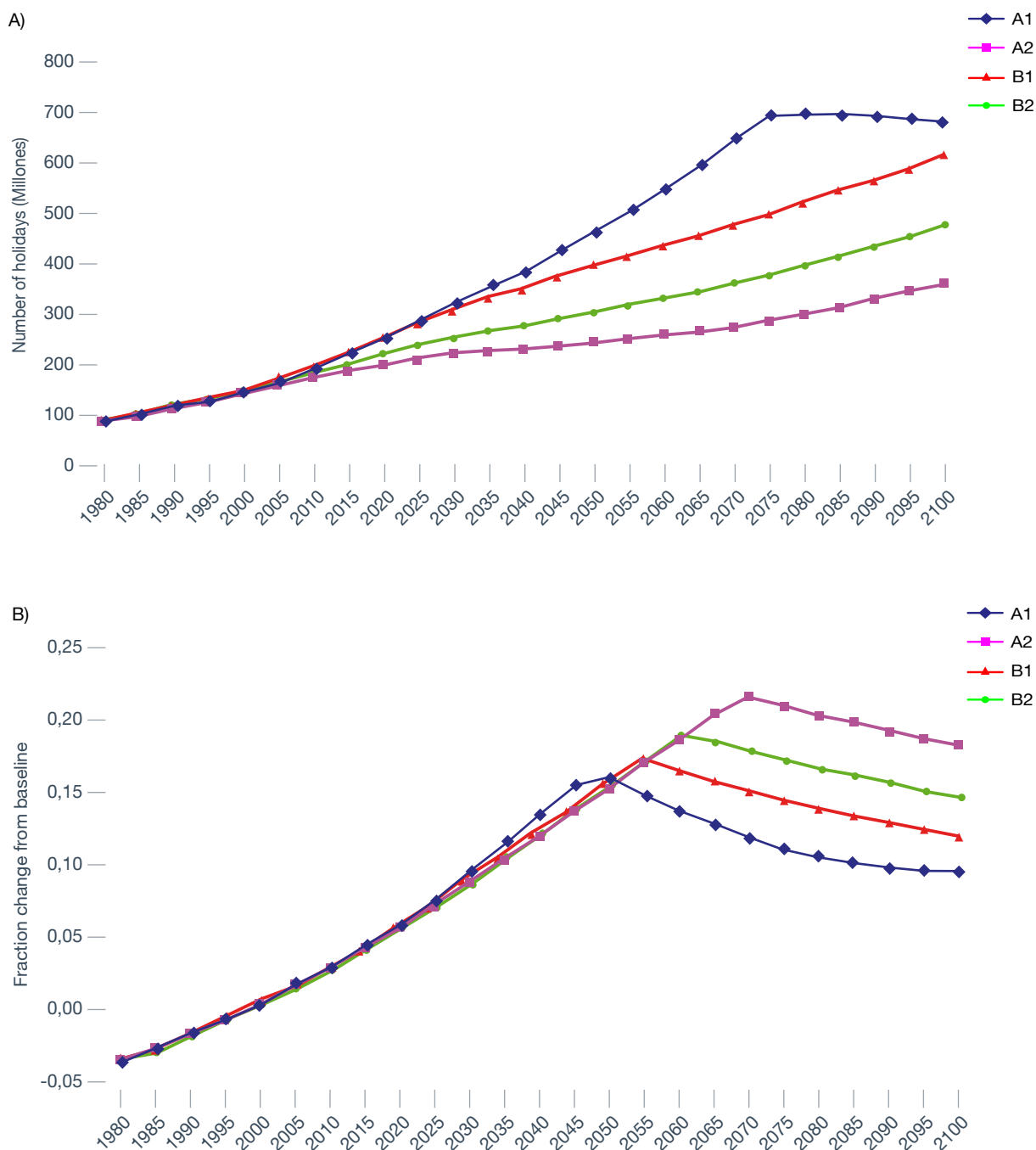
**Figura 51.** Número de salidas internacionales de turistas alemanes desde Alemania.



Fuente: Hamilton and Tol (2006).

La situación para Reino Unido (Figura 52) es bastante similar a la vista anteriormente para Alemania. Para Reino Unido, no obstante, se observa cómo para el escenario A1 se alcanza la saturación del mercado antes de finales de siglo, debido al mayor número de vacaciones por año tomadas por los ingleses frente a los alemanes, 3 frente a 2. Al igual que en Alemania, el cambio climático incrementará las “vacaciones domésticas” en Reino Unido considerablemente.

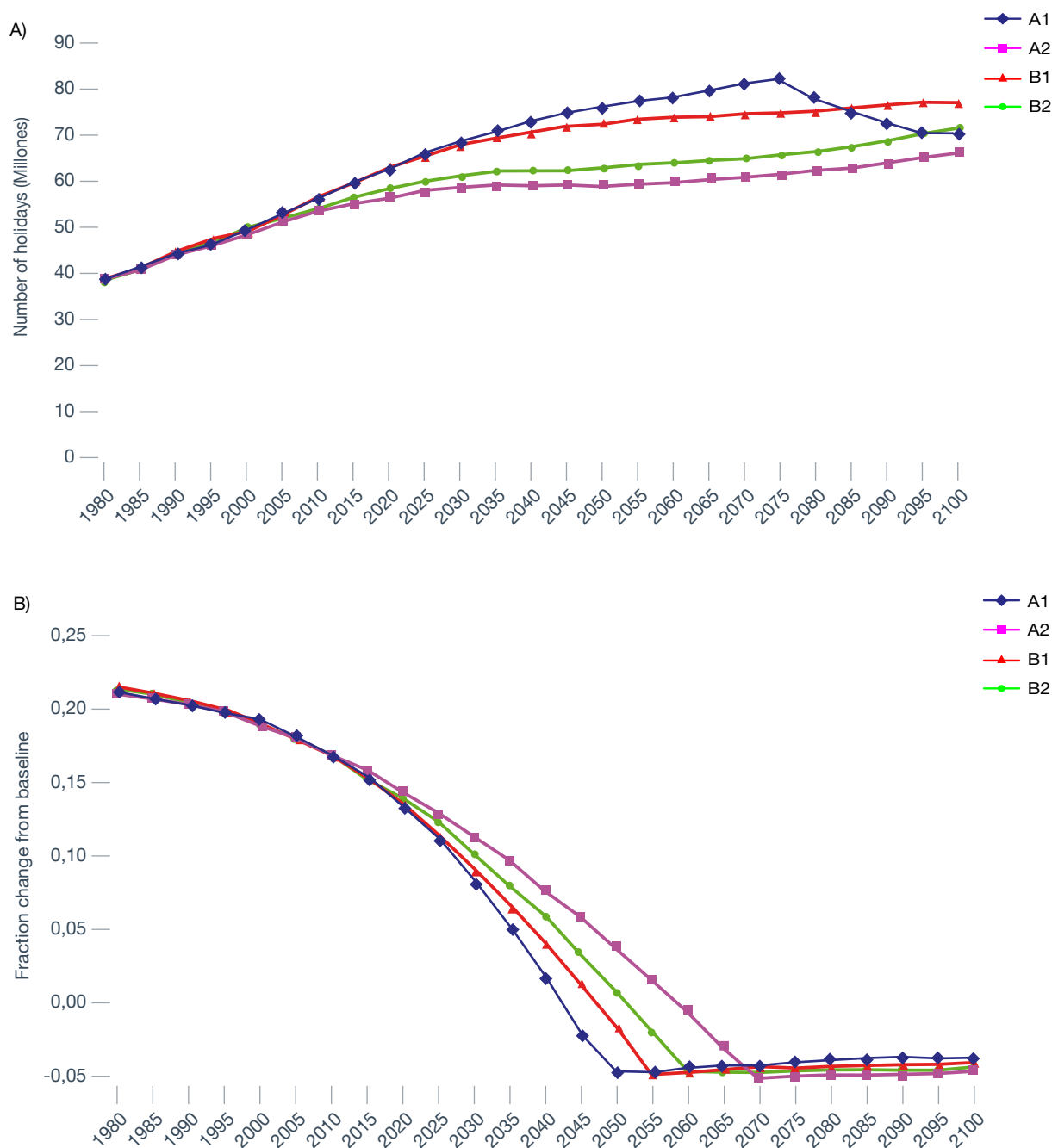
**Figura 52.** Número de viajes vacacionales con destino nacional (Reino Unido).



Fuente: Hamilton and Tol (2006).

En la Figura 53 se muestran las salidas internacionales desde Reino Unido. De nuevo, el patrón es muy similar al anterior pero con la saturación en el escenario A1 por la razón antes mencionada.

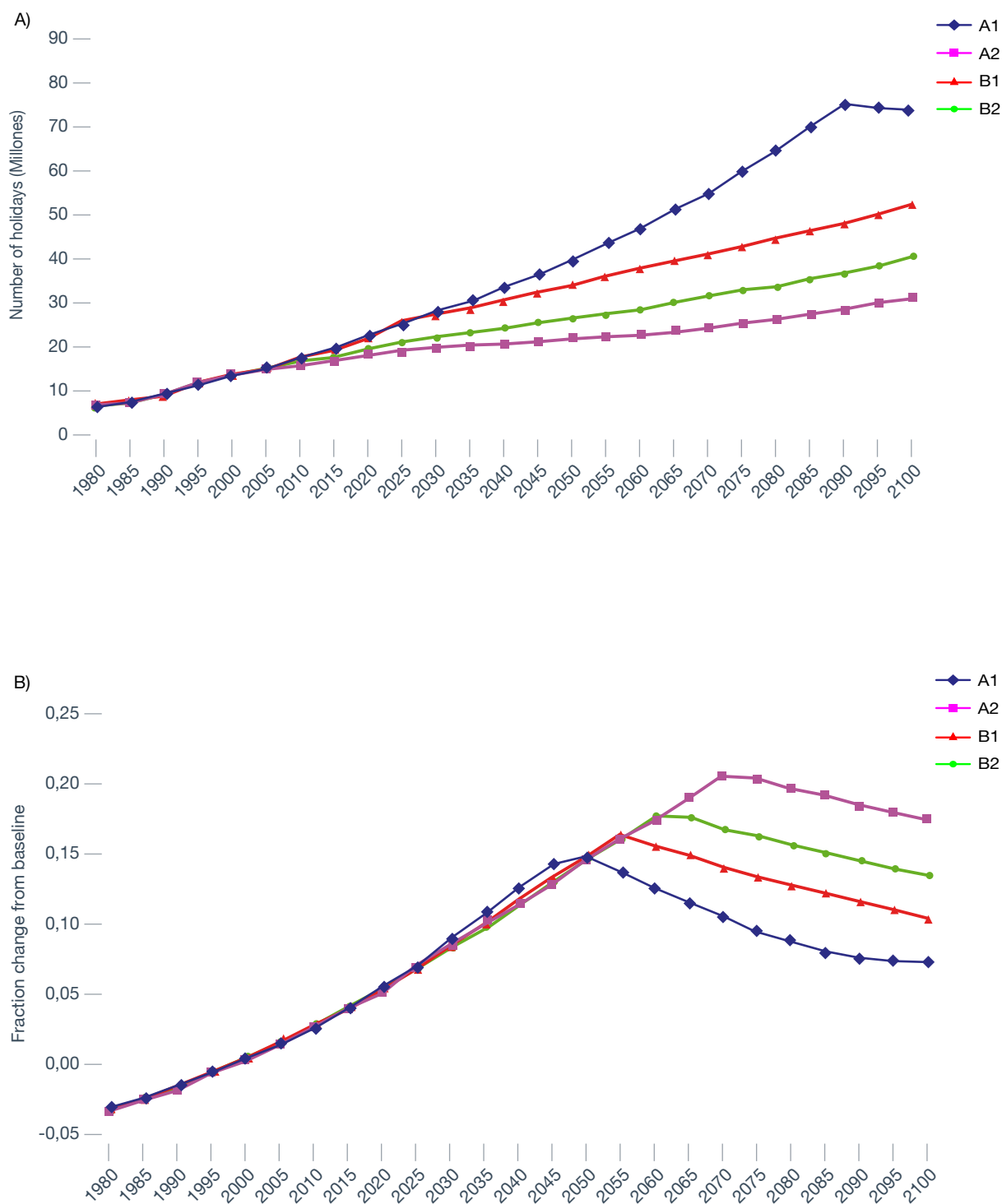
**Figura 53.** Número de salidas internacionales de turistas ingleses desde Reino Unido.



Fuente: Hamilton and Tol (2006).

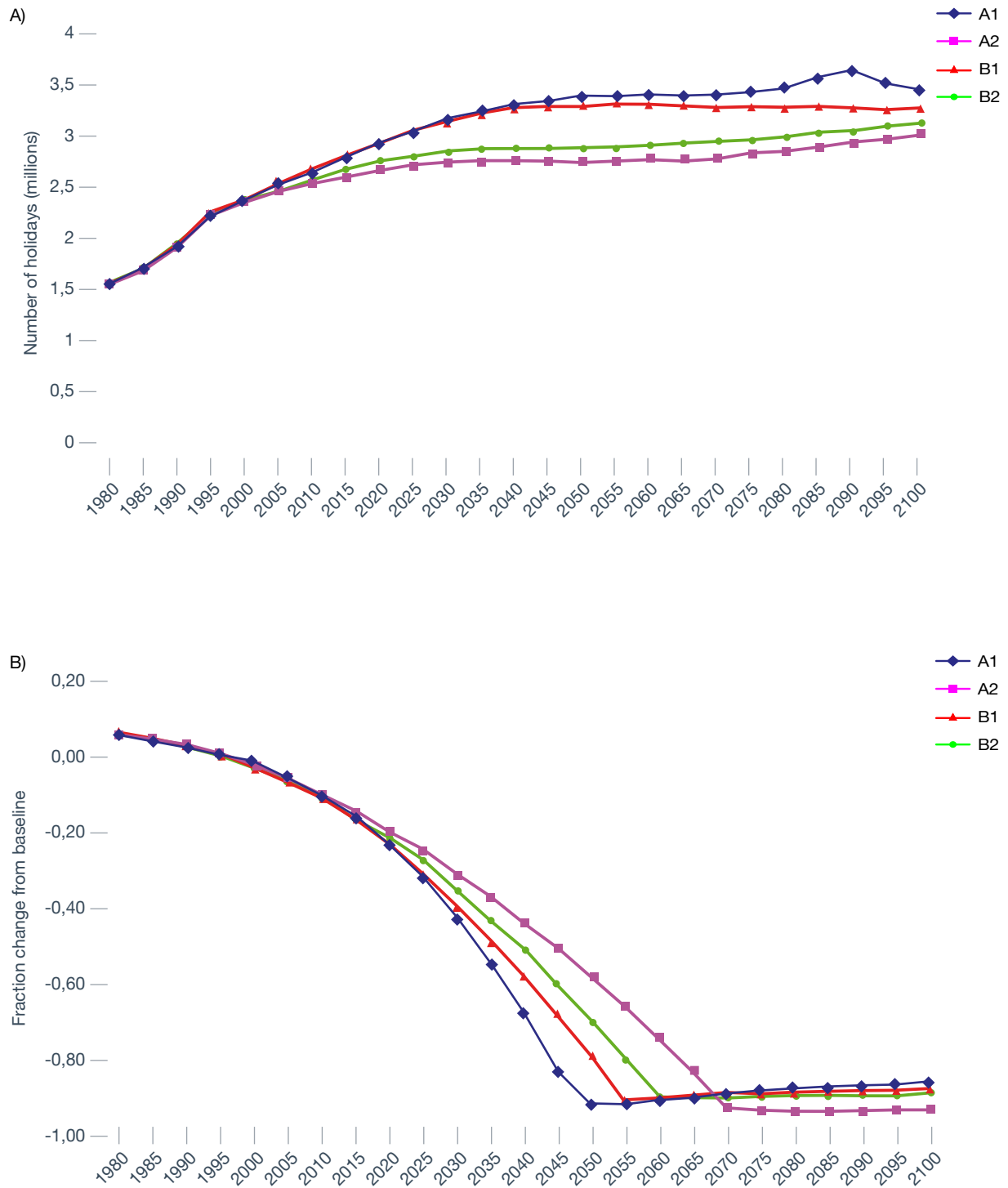
Para el caso de Irlanda, los resultados son similares para los mismos en Alemania y Reino Unido. La Figura 54 muestra un patrón similar al de Reino Unido pero la saturación del mercado llega un poco más tarde, debido al menor poder adquisitivo de estos últimos.

Figura 54. Número de viajes vacacionales con destino nacional (Irlanda).



Fuente: Hamilton and Tol (2006).

**Figura 55.** Número de salidas internacionales de turistas irlandeses desde Irlanda.



Fuente: Hamilton and Tol (2006).



Con los datos que se presentan en la Tabla 16, y teniendo en cuenta las tasas de reducción de salidas internacionales de turistas alemanes, se podría estimar la repercusión sobre el mercado alemán de turismo en Andalucía. De este modo, para los escenarios A2 y B2 y con horizonte el año 2050, podría producirse una reducción entorno al 20%. Con datos del 2005 esto supondría un total de 184.297 turistas alemanes menos para el año 2050 y un total de 160.803 pasajeros en avión menos.

**Tabla 16.** Indicadores del mercado alemán de turistas en Andalucía

	Año 2005	% Sobre el total de extranjeros
Turistas	921.488	12%
Pernoctaciones hoteleras	3.952.301	21%
Pasajeros en avión	804.017	14%

Fuente: Consejería de Turismo. Comercio y Deporte (2006b)

Para el mercado británico (Tabla 17) la reducción para el año horizonte 2050 y los escenarios A2 y B2 estaría entre un 60% y un 70%, lo que con datos de 2005, supondría entre 1.840.761 y 2.147.555 de turistas británicos menos, y entre 1.933.048 y 2.255.223 de pasajeros en avión menos para dicho año.

**Tabla 17.** Indicadores del mercado británico de turistas en Andalucía.

	Año 2005	% Sobre el total de extranjeros
Turistas	3.067.936	38%
Pernoctaciones hoteleras	6.362.104	33%
Pasajeros en avión	3.221.747	56%

Fuente: Consejería de Turismo. Comercio y Deporte (2006b)

Se debe tener en cuenta que las decisiones sobre las opciones y medidas de adaptación tomadas hoy, pueden tener importantes implicaciones sobre las futuras actuaciones de adaptación, haciéndolas significativamente más o menos costosas a la hora de llevarlas a cabo.

A modo de ejemplo, puede servir la elección del diseño y el emplazamiento de nuevas infraestructuras de transporte. Ante la posibilidad de construir una nueva carretera con dos alternativas similares, optar por elegir el trazado más alejado de la costa puede significar una ventaja, que hará mucho menos costosa la adaptación de dicha infraestructura en el futuro. Dichas decisiones pueden ser agrupadas en función del horizonte temporal de planificación de las posibles respuestas, de este modo se distinguen:

- Las decisiones que involucran a las operaciones y los servicios, las cuales se centran en los cambios a corto plazo que en cierto modo ya están aconteciendo, como son la mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extraordinarios (ej. lluvias torrenciales).
- Las decisiones a medio plazo, que requieren de cierto grado de retroalimentación, son aquellas que determinarán el nivel de funcionamiento de los elementos de la red de transporte durante décadas (ej. rehabilitación o fortalecimiento de las infraestructuras existentes). La adaptación de las infraestructuras a estos cambios puede implicar la evaluación y el desarrollo de nuevas normas de cálculo de estructuras (un proceso que puede llevar años) por lo que, para este tipo de toma de decisiones se deberán usar predicciones basadas en modelos probabilísticos.
- Las decisiones a más largo plazo, que conciernen a la elección del emplazamiento y al uso del suelo para nuevas infraestructuras o ampliaciones de las existentes (ej. infraestructuras próximas a la costa). Los sistemas de transporte marcan en gran medida patrones de desarrollo socioeconómico que persisten durante décadas, de esta manera, las decisiones acerca del emplazamiento o la expansión de las nuevas infraestructuras deben ser sopesadas evitando los escenarios que presenten una mayor vulnerabilidad potencial frente a los cambios. En ambos casos, se debe asumir el nivel de incertidumbre a medio y largo plazo que estas decisiones conllevan.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, se pueden clasificar las opciones y medidas de adaptación en tres categorías: a) las operacionales, b) los cambios en el diseño de las infraestructuras y sus materiales y c) la planificación y ordenación territorial.

### 9.1. Respuestas operacionales

En la actualidad, los efectos adversos de la meteorología afectan, de uno u otro modo, a todos los servicios de transporte en Andalucía. Por tanto, es necesario disponer de respuestas inmediatas ante la probable mayor recurrencia de situaciones de emergencia, tales como cortes de vías, suspensión del suministro eléctrico, operaciones de rescate en la mar, etc., que puedan darse en un futuro próximo. De este modo, las respuestas más inmediatas ante los cambios en el clima que ya están aconteciendo, se darían a través de la modificación o creación de nuevos protocolos de actuación frente a las situaciones de emergencia así como de las operaciones de mantenimiento.

Un ejemplo claro y reciente de este tipo de situaciones es la que tuvo lugar en la línea AVE Madrid-Sevilla y Madrid-Málaga, que sufrió la suspensión del servicio durante 19 horas, debido a las afecciones en las vías ocasionadas por una tromba de agua a la altura del tramo La Sagra-Yeles (Toledo). Las fuertes tormentas también ocasionaron la caída de la catenaria en otros tramos ferroviarios del país.

Es preciso, por tanto, integrar estas situaciones a la rutina y a la formación de los equipos de emergencia, articulando rutas y servicios alternativos, así como medidas compensatorias para los usuarios.

En cuanto a las operaciones de mantenimiento, puede ser precisa una mayor frecuencia de las mismas, debido a un deterioro más acelerado de las infraestructuras. De especial importancia son la revisión del estado y limpieza de los drenajes con mayor frecuencia.

Si bien Andalucía no se encuentra dentro del área de exposición a huracanes y grandes tormentas tropicales, a consecuencia del aumento en la intensidad de los fenómenos meteorológicos, podría surgir la necesidad de establecer planes y rutas de evacuación de la población en determinadas áreas, a través de vías y modos de transporte que se mantengan operativos durante estos episodios. En estas situaciones, la participación de todos los agentes implicados en el mantenimiento de estas vías y modos de evacuación es fundamental. Asimismo, la coordinación de estos agentes con los servicios meteorológicos de alerta temprana es imprescindible para obtener el tiempo necesario que permita salvaguardar la propia red de transporte.

La mayor recurrencia de fenómenos meteorológicos, hasta ahora poco frecuentes en Andalucía, como los tornados (acontecidos en Noviembre de 2007), hará necesaria la transferencia de conocimiento de zonas más habituadas a tratar con este tipo de fenómenos meteorológicos como el centro de los EE.UU.

## 9.2. Cambios en el diseño de infraestructuras

La mayoría de las infraestructuras de transporte se diseñan para dar servicio durante 50 años o más, pero los cambios esperables en el clima obligan a replantearse y evaluar las normas de cálculo de estructuras actuales basadas en unos períodos de retorno de las tormentas de proyecto, que podrían verse alterados debidos al cambio climático. Estos cálculos se sitúan siempre del lado de la seguridad, esto es, están diseñados para la situación más desfavorable y para períodos de retorno de 100 años como mínimo (para determinadas infraestructuras los cálculos se realizan incluso a 500 años).

Los cambios en el clima no afectarán de igual modo a todas las infraestructuras, por ejemplo la acción de las olas tiene a corto plazo, un efecto más crítico sobre las infraestructuras costeras, que el efecto directo del incremento de las temperaturas. A corto plazo, son los fenómenos meteorológicos extraordinarios los que suponen una amenaza más directa.

Ante la incertidumbre en la actuación sobre las infraestructuras de transporte (incrementar o no los períodos de retorno para los que las infraestructuras están diseñadas y/o reforzar las infraestructuras ya existentes), EE.UU. y Nueva Zelanda han llevado a cabo sendas evaluaciones de las opciones disponibles, así como un análisis de los costes asociados. Las conclusiones mostraron que el enfoque más adecuado (bajo el actual nivel de incertidumbre y

asumiendo el nivel de riesgo y los costes que conlleva) para las infraestructuras ya existentes, es el de monitorizar los cambios y reconstruir o rehabilitar, en caso necesario, las que sean dañadas. Se concluye, de igual modo, que en los casos en los que sea posible, los proyectos deben diseñarse para permitir futuras actuaciones de reforzamiento, y para aquellas grandes infraestructuras en las que esto no sea posible, se diseñarán teniendo en cuenta los efectos del cambio climático, en base a la mejor información disponible.

Además de lo señalado, el Departamento de Transportes de Nueva Zelanda ha modificado su manual sobre diseño de puentes incluyendo, en un anejo, consideraciones sobre impactos relevantes del cambio climático como factor de diseño; comprometiéndose a recopilar información para la detección del cambio, así como a revisar su política cuando nuevas evidencias así lo requieran.

### 9.3. Planificación y ordenación territorial

Una de las estrategias más efectivas para reducir la vulnerabilidad es evitar ubicar a la población y a las infraestructuras en lugares de gran exposición tales como las áreas costeras, tan urbanizadas en los últimos años. Cambiar estos modelos de desarrollo resulta “a posteriori” difícil y costoso. Por este motivo, los organismos estatales y autonómicos encargados de proveer las infraestructuras de transporte, deben tener en cuenta los cambios y coordinar con las administraciones locales los modelos de desarrollo y ordenación, ya que estos hipotéticos escenarios del cambio climático, escapan a los horizontes de planeamiento de las administraciones locales.



Las estrategias clásicas de gestión costera, aplicables a un eventual cambio climático a escala regional que produjese el repetido aumento del nivel medio del mar o un cambio en las características de las tormentas, comprenden el retroceso, la adaptación y la defensa. La mejor solución para cualquier escala temporal seleccionada consiste en la combinación de los tres elementos, todo ello dentro del marco de una gestión integrada de las zonas costeras.

### 9.4. Resumen de medidas

En las siguientes tablas se presenta un resumen de las medidas y opciones de adaptación propuestas, agrupadas por modo de transporte e impacto del cambio climático potencial.

**Tabla 18. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales
Temperatura (incremento en el número de días muy calurosos; olas de calor)	<p>Limitaciones en las operaciones y actividades de construcción debido a consideraciones de seguridad y salud.</p> <p>Impacto de las olas de calor sobre diversos modos de transporte (Ej. Metro de Sevilla).</p>	<p>Deterioros en el pavimento (reblandecimiento, rutting, migración del asfalto líquido, etc.).</p> <p>Deterioros en el hormigón (necesidad de construir con hormigones más resistentes al calor).</p> <p>Mayor expansión térmica en las juntas de dilatación.</p> <p>Posibles deformaciones en los ferrocarriles o limitaciones en la velocidad de los trenes.</p> <p>Sobrecalentamiento de la maquinaria y los vehículos incluyendo un mayor desgaste de los neumáticos, frenos, etc.</p> <p>Mayor consumo de combustible por el uso del aire acondicionado.</p>	<p>Evitar realizar las obras de construcción cuando se hayan pronosticado “olas de calor”.</p> <p>Destacar dentro de la formación en prevención de riesgos laborales a trabajadores y empleadores, los hábitos de prevención frente a los “golpes de calor” y los efectos en la salud relacionados con las altas temperaturas.</p> <p>Elaboración de Planes de Contingencia frente a olas de calor en los distintos sistemas de transporte.</p>	<p>Investigación, desarrollo e implementación de nuevos firmes asfálticos más resistentes al calor.</p> <p>En las vías férreas, aumentar la proporción de tramos de rieles más cortos, aumentando el número de soldaduras.</p> <p>Diseño de calles, carreteras y autopistas más “resistentes” al calor favoreciendo en la medida de lo posible la menor insolación.</p>

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 19. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación	
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales
Temperatura (reducción del número de días muy fríos)	Reducción en el número de días en los que es necesaria la retirada de nieve y hielo en las carreteras de montaña.			
	Reducción del impacto ambiental provocado por la sal y los compuestos para evitar el hielo en el pavimento.	Reducción del estrés por gelifracción de todos los materiales en las regiones de montaña.		
	Mejora de las condiciones para el trabajo de los operarios de mantenimiento en las carreteras de montaña.			

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).



**Tabla 20. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación		
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales	Otras
Aumento del nivel del mar e intensidad de los temporales en la costa.	Cortes en el servicio por inundación.	<p>Inundaciones más frecuentes en paseos marítimos, pasos subterráneos y carreteras o ferrocarriles muy próximos a la costa.</p> <p>Aumento de la erosión en los cimientos y pilares.</p> <p>Sobreexcavación de pilares y estribos en obras de paso.</p> <p>Aumento de la obstrucción en las obras de paso.</p> <p>Subsidencia.</p>		<p>Elevación de la cota de explanación en calles, puentes y vías férreas.</p> <p>Mejorar y mantener los drenajes en las carreteras costeras.</p> <p>Elevación y protección de puentes, túneles y otras obras de paso.</p> <p>Dotar a determinados túneles e infraestructuras vulnerables con sistemas de bombeo, o valorar aumentar la capacidad de evacuación de los ya existentes.</p>	<p>Ubicar las nuevas infraestructuras en zonas menos vulnerables.</p> <p>Reforzar y proteger las infraestructuras de mayor importancia estratégica.</p> <p>Proteger las zonas de costa vulnerables (*).</p> <p>Conservación y/o restauración de ecosistemas costeros que sirven de barreras naturales frente a las inundaciones.</p>

(\*) en países como EEUU el incremento del precio de los seguros en zonas costeras con alta vulnerabilidad ha resultado una medida de control efectiva frente a la urbanización de este tipo de áreas.

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 21. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación		
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales	Otras
Precipitación, fuertes tormentas; incremento en la fuerza de los vientos y lluvias torrenciales.	Incremento en los retrasos y cortes de los servicios a causa de inundaciones u obstáculos y dificultades para la circulación.  Afección a las actividades de construcción de nuevas infraestructuras así como a la estacionalidad de las operaciones de mantenimiento.	Inundaciones más frecuentes de autopistas, carreteras y calles, así como pasos subterráneos y ferrocarriles.  Colapso o sobrecarga de los sistemas de drenaje.  Daños por derrumbamientos o deslizamientos de tierras (subsistencia de las carreteras o daños a los balastos de los ferrocarriles).  Cambios en el grado de humedad del suelo que puede afectar a la integridad estructural de las carreteras, puentes o túneles.  Formación de mayor número de balsas de agua sobre las carreteras.  Incremento en la erosión de todas las infraestructuras sujetas al arrastre de las aguas (pavimentos, redes de drenaje etc.).  Incremento en la inestabilidad de todas las infraestructuras.	Implantar sistemas para monitorizar la sobreexcavación en los pilares de los puentes y otras obras de paso.  Monitorizar zonas vulnerables por corrimientos de tierras.  Monitorizar la erosión de las tuberías en cauces y aguas costeras superficiales.  Mantener y mejorar los sistemas de monitorización de inundaciones y crecidas fluviales en tiempo real.  Formar al personal de los servicios de transporte en la prevención de los riesgos frente a los riesgos climáticos, incluyendo procedimientos de emergencia y evacuación.	Mantenimiento y mejora de los sistemas de drenaje existentes y construcción de nuevos en los tramos necesarios.  Protección de los pilares y estribos mediante escolleras o sistemas similares.  Incrementar la capacidad de evacuación de las obras de paso y el alcantarillado.  Incremento de las capacidades de evacuación de las nuevas infraestructuras y mejorar las existentes.	Protección de las vías de comunicación estratégicas.  Empleo de sensores de flujo y nivel en infraestructuras.  Reubicación de aquellos desarrollos o infraestructuras localizados dentro de las llanuras de inundación.  Evaluar la capacidad de bombeo en los túneles más importantes.  Evaluar el estado de los sistemas de retención de las pendientes y muros de protección frente a deslizamientos.

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 22. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación		
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales	Otras
Precipitación: (descenso generalizado de las precipitaciones; incremento de las condiciones de sequía)	Aumento de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales que obliguen a cortar el tráfico o que reduzcan la visibilidad.	Daño directo por incendios forestales. Aumento de la probabilidad de derrumbamientos o deslizamientos en las áreas quemadas próximas a las infraestructuras.	Poda y retirada de la vegetación seca en las cunetas y medianas. Mantener y reforzar las campañas para la prevención de incendio durante más meses al año.		

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 23. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación		
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales	Otras
Aumento del nivel del mar unido a una mayor intensidad de los temporales en la costa.	Mayor número de días de amarre de la flota.	<p>Daños provocados por las olas.</p> <p>Necesidad de adecuar todas las infraestructuras portuarias a mareas y marejadas más altas.</p> <p>Cambios para la navegabilidad en la desembocadura de los ríos por el aumento o disminución de la profundidad de los sedimentos.</p>	Mayor número de operaciones en los puentes levadizos.	<p>Elevación de las cotas de coronación para las estructuras defensivas de muelles y puertos.</p> <p>Elevación de cotas para los puentes y otras infraestructuras próximas a la costa.</p>	<p>Algunos canales requerirán ser dragados más a menudo.</p> <p>Elevación o construcción de nuevos espigones y rompeolas.</p>

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

**Tabla 24. Resumen de medidas de adaptación clasificadas por modo de transporte.**

Cambio climático potencial	Impactos sobre el transporte terrestre		Medidas y opciones de adaptación		
	Operaciones y servicios	Infraestructuras y maquinaria	Cambios en los procedimientos de las operaciones y los servicios	Cambios en el diseño y el tipo de materiales	Otras
<p>Temperatura (incremento en el número de días muy calurosos; olas de calor)</p>	<p>Retrasos debidos al calor.</p> <p>Impactos sobre los límites de carga para el despegue, (necesidad de pistas más largas, reducción de los límites de equipaje por pasajero etc.).</p> <p>Sobre calentamiento de la maquinaria, vehículos y aviones incluyendo un mayor desgaste de los neumáticos, frenos etc.</p>	<p>Similares impactos a los sufridos por las infraestructuras de transporte terrestre.</p>	<p>Incremento en las restricciones de peso en el equipaje por pasajero, especialmente durante verano.</p>		

Fuente: Adaptado de National Research Council of the National Academies (2008).

Gran parte de las estrategias y políticas de adaptación aplicables son transversales a las que podrían proponerse para los impactos producidos por las perturbaciones naturales de origen climático (incendios forestales, crecidas fluviales e inestabilidad de laderas), ya que éstos afectan tanto a los núcleos de población y a otros asentamientos humanos, como a las infraestructuras de transporte y sus servicios asociados. En este sentido, la publicación *Evaluación Preliminar de Impactos del Cambio Climático* (Ministerio de Medio Ambiente, 2005) propone diversas opciones de adaptación y medidas para estas perturbaciones que son de aplicación para el sector bajo estudio. Estas medidas son propuestas en el apartado correspondiente del Anejo 2 “Revisión de Publicaciones”.

Del mismo modo, se han recogido las principales medidas propuestas en el documento *Impactos en la Costa Española por Efectos del Cambio Climático* (Fase III Estrategia frente al Cambio Climático en la Costa (Ministerio de Medio Ambiente, 2004).

## 9.5. Principales necesidades de investigación

La capacidad para predecir con exactitud las variaciones climáticas representa, probablemente, el elemento más importante para planificar, de una manera inteligente, las actividades futuras de las sociedades modernas. De manera general, cualquier mejora en la precisión y predicción de los modelos climáticos de proyección a escala regional, resulta de gran ayuda para multitud de sectores y para el transporte en particular. Por este motivo, las labores de investigación actuales y futuras, llevadas a cabo por diversas instituciones y universidades son fundamentales, ya que son la base sobre las que se construyen las herramientas para la toma de decisiones.

En cuanto a las actuaciones sobre las infraestructuras, sería recomendable elaborar un inventario de aquéllas ubicadas o que se encuentren próximas a zonas expuestas a perturbaciones. De este modo, se podría evaluar el nivel de vulnerabilidad de dichas infraestructuras y tomar decisiones acerca de la necesidad de implementar medidas al respecto y/o construir o habilitar rutas o modos de transporte alternativos.

Del mismo modo, se debería comenzar la investigación en el ámbito de la ingeniería civil conjuntamente con otros organismos e instituciones internacionales que ya han comenzado este proceso, debido a la necesidad de adecuar nuevas normas de diseño para las infraestructuras, que consideren los cambios climáticos proyectados en la intensidad y frecuencia de las tormentas de proyecto. Para ello, resultaría útil realizar análisis probabilísticos y evaluar los costes económicos de llevar a cabo infraestructuras más robustas, comparándolos con los costes económicos del eventual fallo o pérdida del servicio en las mismas. Tomando como base estos análisis, se podrían tomar decisiones acerca de la conveniencia de modificar dichas normas.

En la línea de estos proyectos se sitúa el realizado por la Universidad de Cantabria para la Oficina Española del Cambio Climático y la Dirección General de Costas del Ministerio del Medio Ambiente. A partir de este trabajo se pueden elaborar mapas de vulnerabilidad con mayor nivel de detalle, considerando el ascenso del nivel del mar y determinando la vulnerabilidad de las infraestructuras portuarias y costeras presentes y futuras.

Es importante analizar las condiciones de diseño que tienen influencia en la vida útil de las obras y evaluar la relación entre los costes de construcción, mantenimiento y conservación



de las obras. Así, deben establecerse criterios por parte de la sociedad (a través de sus representantes) de equilibrio óptimo económico del binomio coste de construcción y gastos de conservación.

Se deberían desarrollar estudios acerca de la viabilidad de incrementar los coeficientes de seguridad, sobre todo en estructuras de tierra, y su incidencia sobre los costes de construcción.

Sería conveniente, fomentar y desarrollar la investigación por parte de las administraciones públicas y las empresas andaluzas para lograr un conocimiento independiente y ajustado a las particularidades del medio físico territorial y a las condiciones de entorno de las obras públicas en Andalucía.

Resultaría necesaria la recopilación de datos e información precisa, (a través del uso, por ejemplo, de tecnologías de monitorización) que posibiliten la detección de los efectos del cambio climático en las infraestructuras de transporte, y permitan elaborar evaluaciones de vulnerabilidad más precisas, facilitando así el proceso de la toma de decisiones.

## 9.6. Conclusiones

La importancia del transporte para la economía y la calidad de vida de las personas es fundamental, por tanto, cualquier impacto significativo sobre este sector tendrá consecuencias directas sobre estos dos factores.

La adaptación al cambio climático del sector transporte conlleva la actuación en dos campos de acción diferenciados: por un lado, la elección de aquellos modos de transporte y/o tecnologías que posibiliten la mayor eficiencia energética en el transporte y, por otro lado, la adaptación de las infraestructuras y servicios de transporte a unas nuevas condiciones climatológicas.

1. En cuanto al primero de los puntos, cabe señalar que el ferrocarril debe tomar mayor importancia, como ya lo está haciendo, tanto en la modalidad de pasajeros pero, sobre todo, en la de mercancías frente al transporte por carretera. Esta política es efectiva no sólo en la mitigación de la emisión de GEI, sino también en la reducción del elevado grado de dependencia de petróleo existente y la vulnerabilidad que esto conlleva.

No obstante, si se quiere dar una mayor participación a este modo de transporte, no se deberían despreciar los impactos indirectos del cambio climático sobre la demanda eléctrica; según recoge el IV informe del IPCC de 2007, podría incrementarse en un 50% para países como España e Italia, únicamente debido al uso del aire acondicionado durante los meses más calurosos del año.

2. En cuanto a la adaptación de las infraestructuras y servicios de transporte a unas nuevas condiciones climatológicas, pueden agruparse las medidas de adaptación en función de sus beneficios en tres horizontes temporales a corto, medio y largo plazo.

Queda claro que los impactos directos e indirectos del cambio climático sobre el sector energético, presentan una gran repercusión sobre el sector transporte. Estos impactos,

unidos a un actual panorama energético mundial cambiante, modelarán los escenarios del transporte en España y Andalucía e impulsarán el necesario cambio tecnológico y, por ende, en el modelo de movilidad.

Las respuestas más inmediatas consisten en la articulación de planes de emergencia ante eventuales cortes en los servicios, así como cambios en la planificación de las actividades de mantenimiento. Estos cambios implicarían la incorporación de nuevos procedimientos operacionales que faciliten las respuestas de emergencia frente a fenómenos meteorológicos extremos o prevengan sus efectos. Del mismo modo, se hace necesaria una estrecha colaboración con los servicios de emergencia para la elaboración de planes de contingencia coordinados que puedan dar respuesta a este tipo de eventos.

A medio plazo, existe la necesidad de contemplar una revisión de las condiciones de diseño y otras medidas adicionales de protección de las infraestructuras, cuyo objetivo sea un incremento importante de la durabilidad y la seguridad. Esta necesidad se hace aún más acuciante debido al cambio climático que propicia un deterioro más acelerado de todas las infraestructuras en general.

Nada resulta al final más caro, incluyendo los costes sociales, que las reparaciones, en gran número de ocasiones ejecutadas manteniendo el tráfico, en condiciones difíciles y teniendo que recurrir a técnicas especiales y a veces sofisticadas (Macho, 1997). De Sitter, por ejemplo, estableció la llamada ley de los cinco que se resume así: 1€ gastado en durabilidad en la fase de proyecto y construcción equivale a 5€ gastados en mantenimiento preventivo, a 25€ gastados en la fase en que el deterioro ha comenzado y a 125€ de la fase de reparación (De Justo, 1997).

El mayor uso de las tecnologías de monitorización (sensores) y el empleo de nuevos materiales (mezclas asfálticas más resistentes al calor), podrían proporcionar alternativas al coste que supone construir infraestructuras más robustas.

A largo plazo, se requieren políticas de transporte y ordenación territorial coherentes con los cambios en el clima. No cabe duda de que la estrategia más efectiva para la reducción de vulnerabilidad, sería ubicar a las personas o a las infraestructuras en las zonas menos expuestas o menos sensibles. Esto no resulta fácil, sobre todo, en los núcleos poblacionales más desarrollados que carecen de suelo urbanizable o en zonas costeras con fuerte presión urbanística. Debido a esto, se deben tomar las medidas necesarias para establecer un mayor control sobre la ordenación territorial y la protección de los cauces y sus zonas inundables. En otros países, se ha optado además por el endurecimiento de las condiciones de las pólizas por parte de las aseguradoras.

Se debe tener en cuenta que los cambios sobre el clima ya están aconteciendo y que las decisiones tomadas hoy, afectarán en gran medida a la capacidad de adaptación del sistema en el futuro; tanto a nivel de la construcción de costosas infraestructuras, como en lo referente al establecimiento de estrategias de transporte vinculadas indisolublemente a la ordenación territorial que marcan modelos de desarrollo y distribución poblacional, perdurables durante décadas.

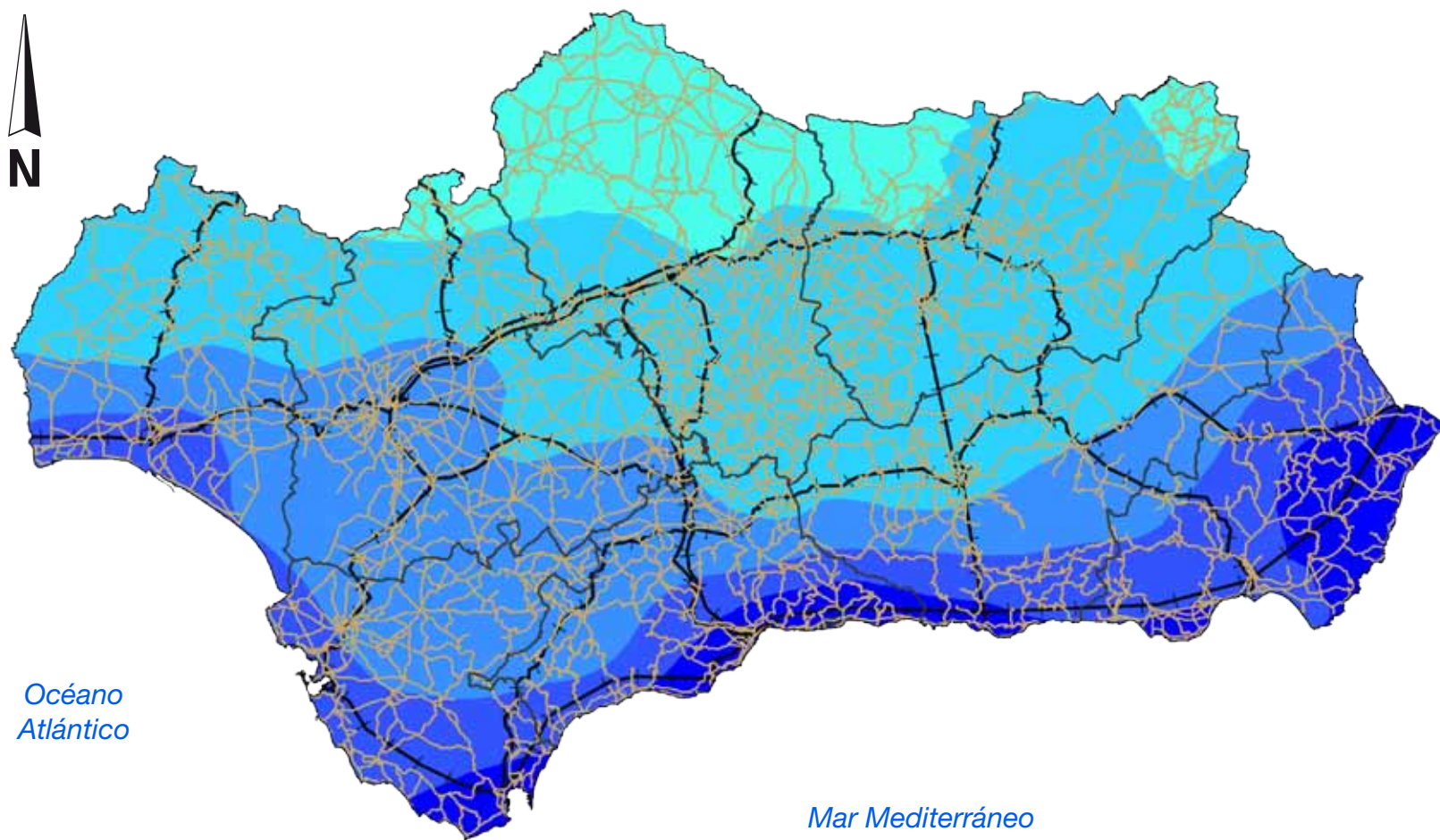
Las administraciones, organismos y empresas encargadas del mantenimiento de los sistemas de transporte deberían, por tanto, desarrollar mecanismos de prevención y buenas prácticas frente a los impactos potenciales del cambio climático descritos en este documento. En este




sentido, la experiencia de otros países más familiarizados con la adaptación a determinados fenómenos meteorológicos, puede resultar de ayuda.

Por otra parte, existen diversas necesidades de investigación que deben ser consideradas ya que son la base sobre las que se construyen las herramientas para la toma de decisiones:








- Se deben apoyar las labores de investigación actuales y futuras llevadas a cabo por diversas instituciones y universidades involucradas en la investigación del clima en Andalucía, ya que la capacidad para predecir con exactitud las variaciones climáticas representa probablemente el elemento más importante para planificar, de una manera inteligente, las actividades futuras.
- Sería recomendable elaborar un inventario de aquellas infraestructuras ubicadas o que se encuentren próximas a zonas vulnerables, en previsión de que dicha vulnerabilidad aumente. De este modo, se podría evaluar el nivel de vulnerabilidad de dichas infraestructuras y tomar decisiones acerca de la necesidad de implementar medidas al respecto y/o construir/habilitar rutas o modos de transporte alternativos.
- Resultaría conveniente comenzar la investigación en el ámbito de la ingeniería civil, conjuntamente con otros organismos e instituciones internacionales que ya han comenzado este proceso, acerca de la necesidad de adecuar nuevas normas de diseño para las infraestructuras, que consideren los cambios climáticos proyectados en la intensidad y frecuencia de las tormentas. Para ello, resultaría útil realizar análisis probabilísticos y evaluar los costes económicos de llevar a cabo infraestructuras más robustas, comparándolos con los costes económicos del eventual fallo o pérdida del servicio en las mismas. Tomando como base estos análisis, se podrían tomar decisiones acerca de la conveniencia de modificar dichas normas.
- Es importante analizar las condiciones de diseño que tienen influencia en la vida útil de la obra y evaluar la relación entre los costes de construcción, mantenimiento y conservación. Así, deben establecerse criterios por parte de la sociedad (a través de sus representantes) de equilibrio óptimo económico del binomio coste de construcción y gastos de conservación.
- Se deberían desarrollar estudios acerca de la viabilidad de incrementar los coeficientes de seguridad, sobre todo, en estructuras de tierra y su incidencia sobre los costes de construcción.
- Sería conveniente fomentar y desarrollar la investigación por parte de las administraciones públicas y las empresas andaluzas para lograr un conocimiento independiente y ajustado a las particularidades del medio físico territorial y a las condiciones de entorno de las obras públicas en Andalucía.
- Resultaría necesaria la recopilación de datos e información precisa, (a través del uso por ejemplo, de tecnologías de monitorización) que posibiliten la detección de los efectos del cambio climático en las infraestructuras de transporte, y permitan elaborar evaluaciones de vulnerabilidad más precisas, facilitando así el proceso de la toma de decisiones.

## 10 Anejo 1: Cartografía



-  Límites provinciales
-  Ejes ferrocarril
-  Infraestructuras viarias

Aumento T<sup>a</sup> Media de las Máximas Anuales (°C)

-  0,5 - 1
-  1 - 1,5
-  1,5 - 2
-  2 - 2,5
-  2,5 - 3
-  3 - 3,5
-  3,5 - 4

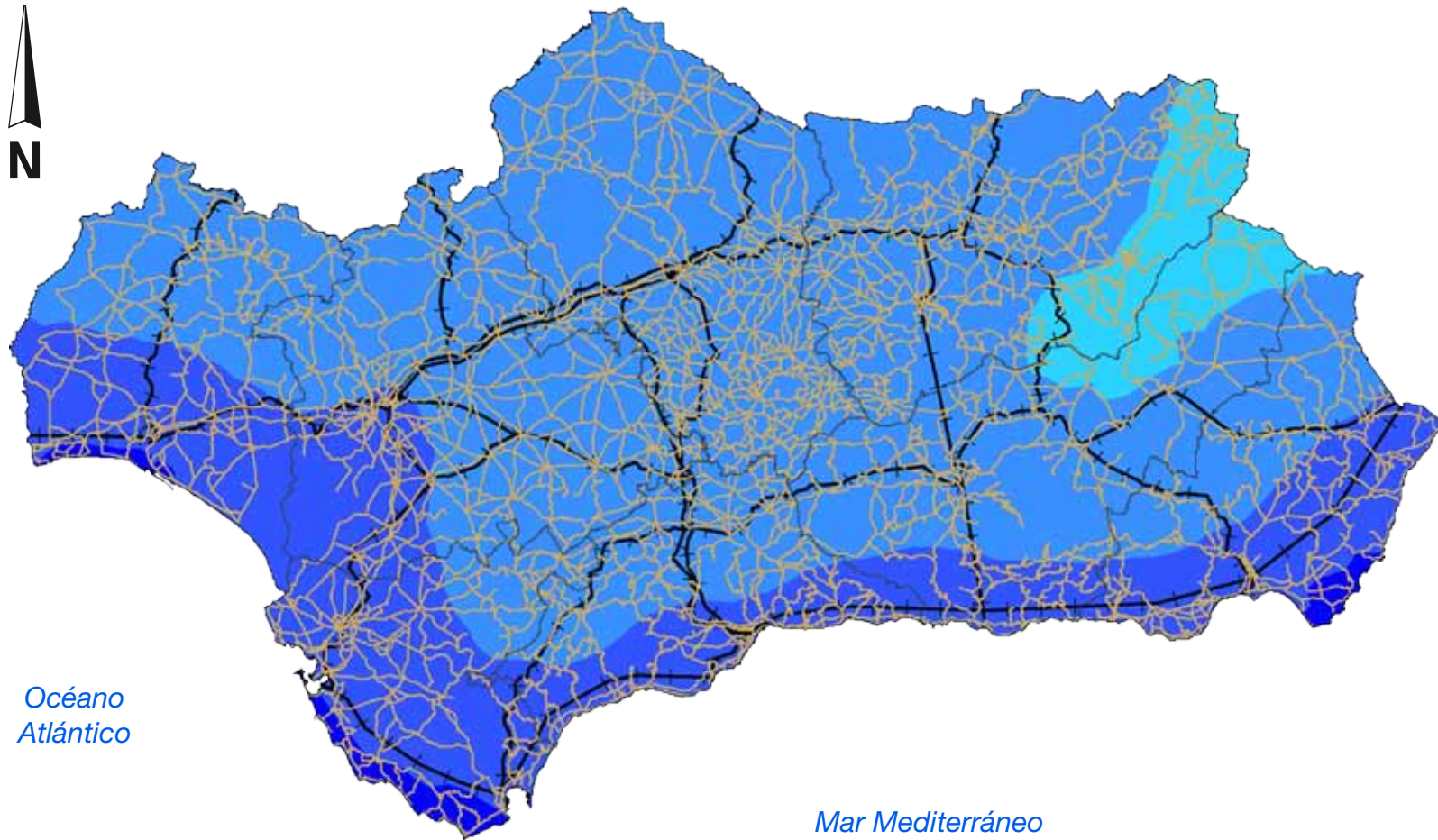


JUNTA DE ANDALUCÍA  
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático. Sector Transporte

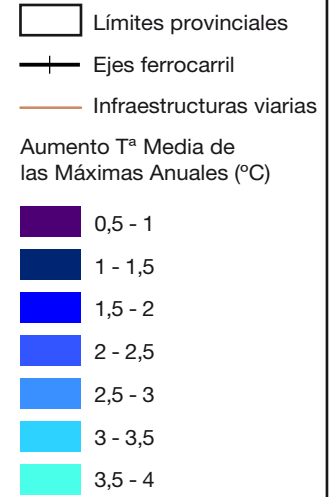
Mapa 1: Variación de temperaturas máximas en 2050 bajo el escenario A2 respecto al periodo 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.





Océano Atlántico

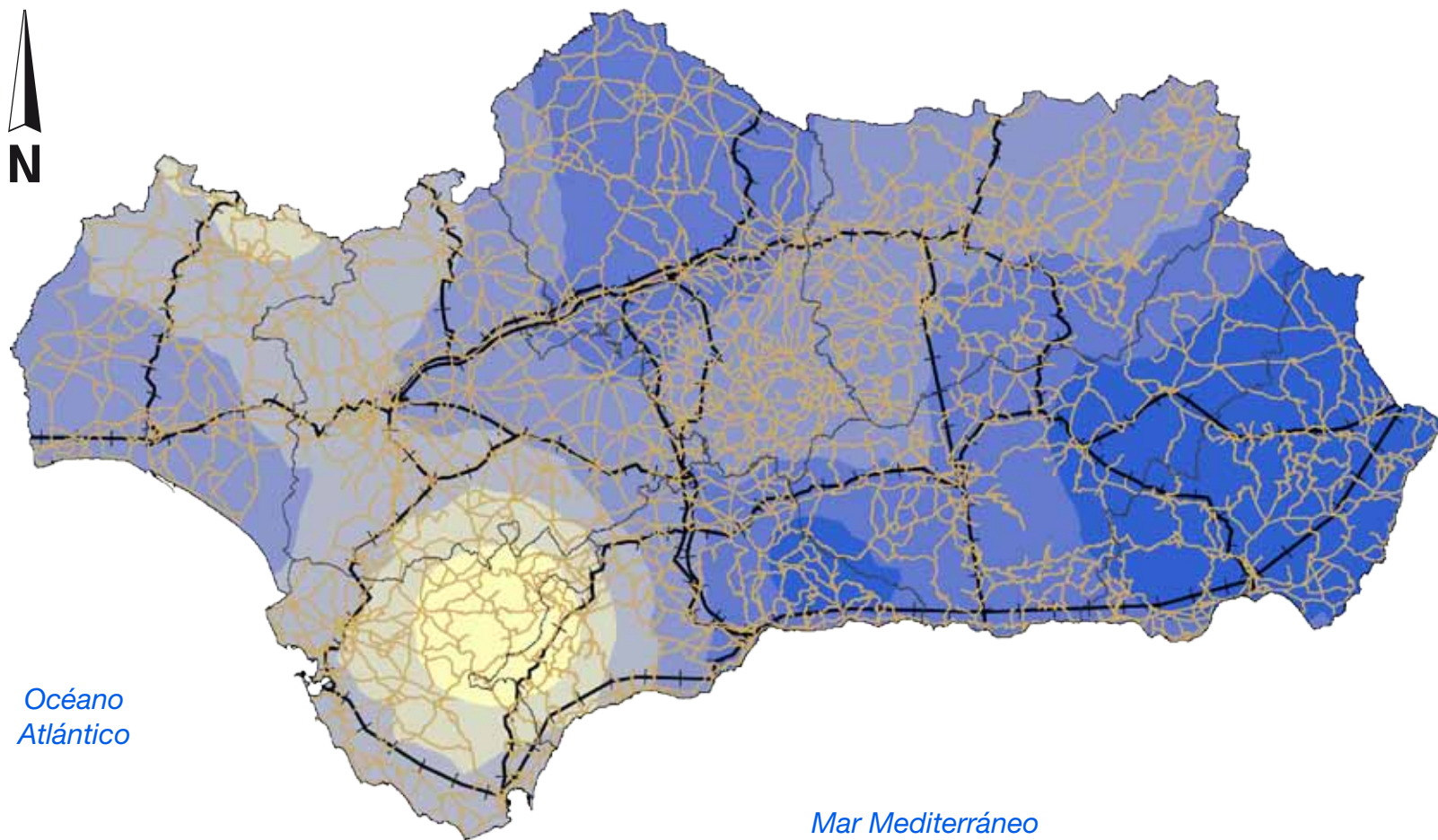
Mar Mediterráneo



Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático. Sector Transporte




Mapa 2: Variación de temperaturas máximas en 2050 bajo el escenario B2 respecto al periodo 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.



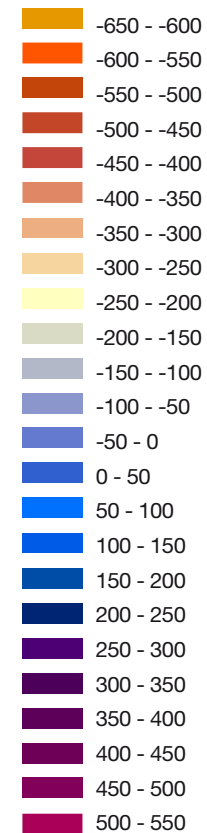


Océano Atlántico

Mar Mediterráneo

-  Límites provinciales
-  Ejes ferrocarril
-  Infraestructuras viarias

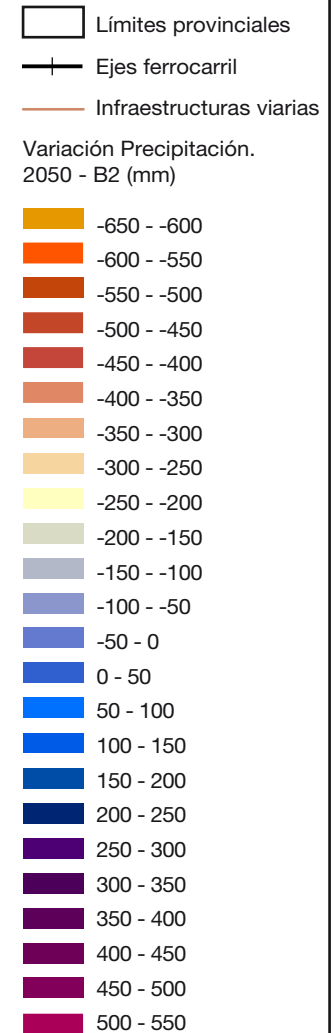
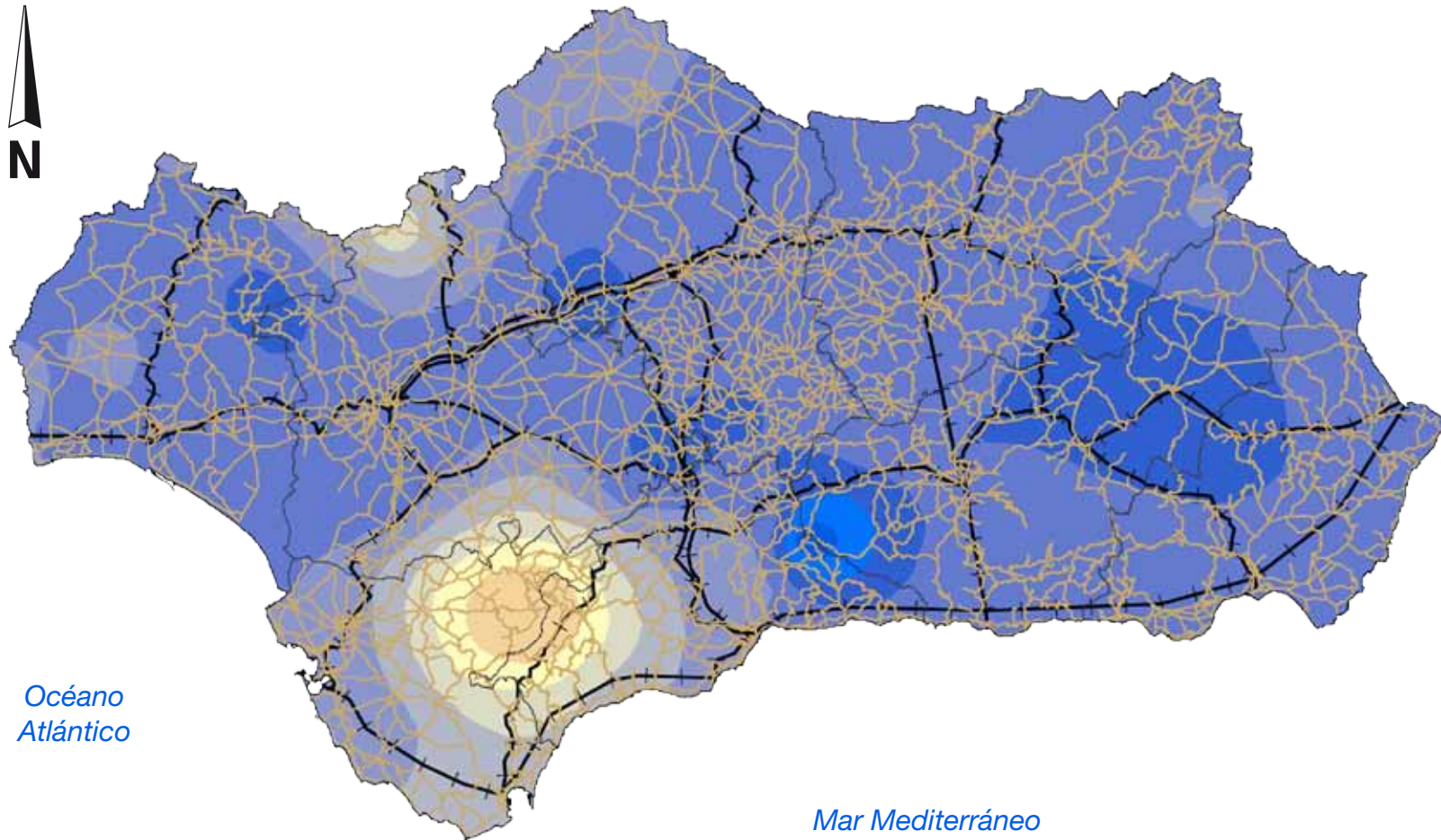
Variación Precipitación.  
2050 - A2 (mm)



JUNTA DE ANDALUCÍA  
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

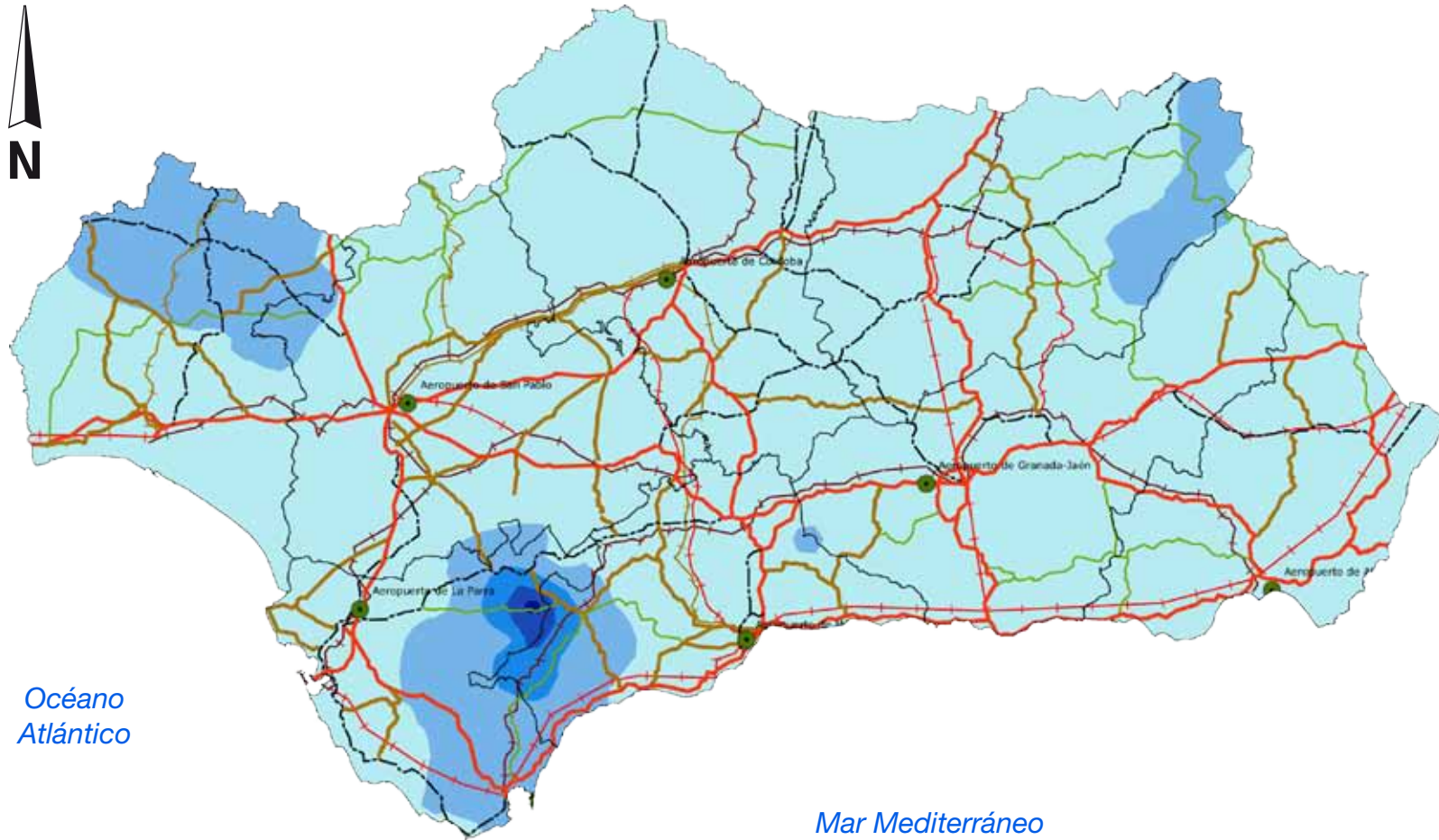
Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático. Sector Transporte


















Mapa 3: Variación de la precipitación en 2050 bajo el escenario A2 respecto al periodo 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.



Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático. Sector Transporte  
Mapa 4: Variación de la precipitación en 2050 bajo el escenario B2 respecto al periodo 1961-1990 con representación de las infraestructuras de transporte lineales.

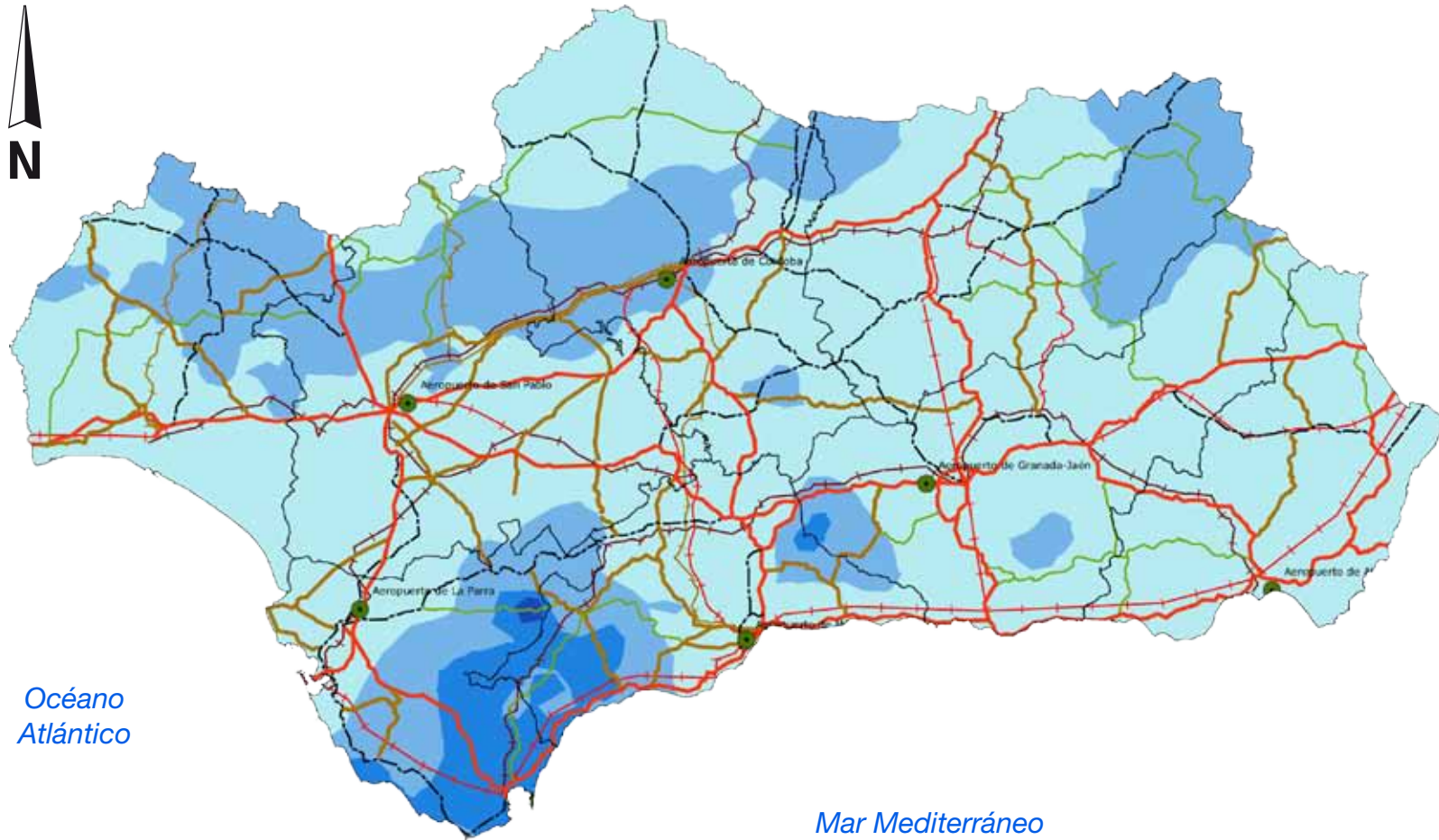




-  Límites provinciales
- Aeropuertos**
-  Aeropuerto Almería
-  Aeropuerto Córdoba
-  Aeropuerto Gibraltar
-  Aeropuerto Granada-Jaén
-  Aeropuerto La Parra
-  Aeropuerto Málaga
-  Aeropuerto San Pablo
- Ejes carreteras**
-  Articulaciones C. medias
-  Articulaciones A. rurales
-  Regionales de 1º nivel
-  Reg. 1º Niv. propuestos
- Ejes Ferrocarril**
-  Existente
-  Otros ejes
-  Propuestos
- IMF (1961-90)**
- Clasificación**
-  0 - 60 Muy bajo
-  60 - 90 Bajo
-  90 - 120 Medio
-  120 - 160 Alto
-  >160 Muy Alto



Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático. Sector Transporte  
Mapa 5: Agresividad Climática IMF (1961-90) y su influencia sobre el Sistema de Articulación Regional.



Océano  
Atlántico

Mar Mediterráneo

□ Límites provinciales

Aeropuertos

- Aeropuerto Almería
- Aeropuerto Córdoba
- Aeropuerto Gibraltar
- Aeropuerto Granada-Jaén
- Aeropuerto La Parra
- Aeropuerto Málaga
- Aeropuerto San Pablo

Ejes carreteras

- Articulaciones C. medias
- Articulaciones A. rurales
- Regionales de 1º nivel
- Reg. 1º Niv. propuestos

Ejes Ferrocarril

- Existente
- Otros ejes
- Propuestos

IMF 2050 (A2)

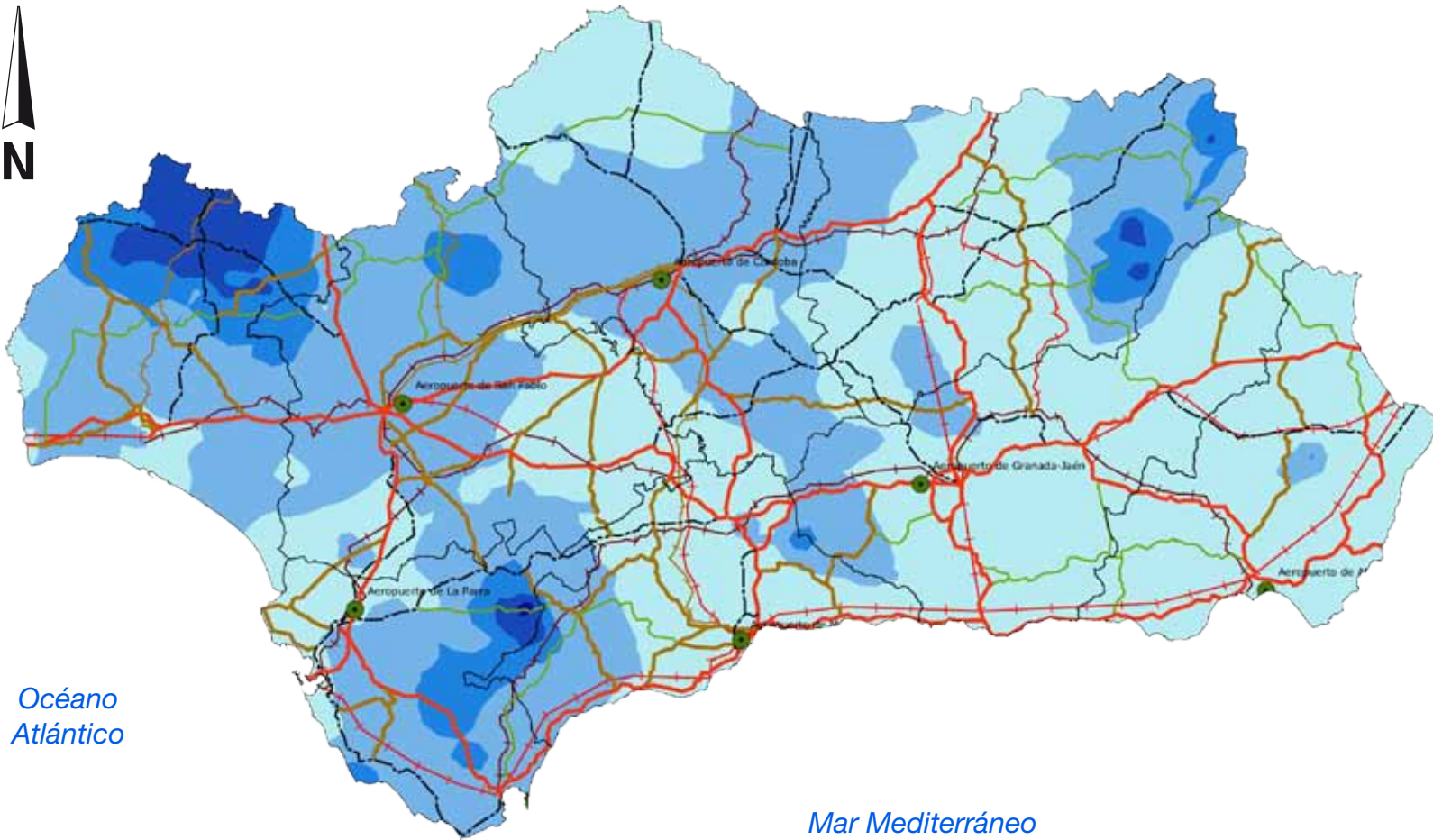
Clasificación

- 0 - 60 Muy bajo
- 60 - 90 Bajo
- 90 - 120 Medio
- 120 - 160 Alto
- >160 Muy Alto



JUNTA DE ANDALUCÍA  
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE





□ Límites provinciales

Aeropuertos

- Aeropuerto Almería
- Aeropuerto Córdoba
- Aeropuerto Gibraltar
- Aeropuerto Granada-Jaén
- Aeropuerto La Parra
- Aeropuerto Málaga
- Aeropuerto San Pablo

Ejes carreteras

- Articulaciones C. medias
- Articulaciones A. rurales
- Regionales de 1º nivel
- Reg. 1º Niv. propuestos

Ejes Ferrocarril

- Existente
- Otros ejes
- Propuestos

IMF 2050 (B2)

Clasificación

- 0 - 60 Muy bajo
- 60 - 90 Bajo
- 90 - 120 Medio
- 120 - 160 Alto
- >160 Muy Alto



**JUNTA DE ANDALUCÍA**  
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

## 11 Anejo 2: Revisión de Publicaciones

### ► **Título: London's Warming: The Impacts of Climate Change on London**

Autor/es: London Climate Change Partnership (UKCIP)

Fecha de publicación: Noviembre de 2002

#### **Objetivo:**

El objetivo global del documento es el de identificar las amenazas y oportunidades que presenta el cambio climático para la ciudad de Londres para, en una primera fase, coordinar las respuestas necesarias. En una segunda fase, se tratará de investigar y analizar las políticas y programas requeridos para la adaptación a dichas amenazas y oportunidades.

#### **Resumen:**

El estudio se centra en el análisis de cuatro potenciales impactos que podrían tener repercusiones para el sistema de transporte londinense:

- Inundaciones debidas al aumento del nivel del agua en las mareas, asociadas con precipitaciones intensas, sobre todo en la zona conocida como "Thames Gateway".
- Inundaciones puntuales que originen el corte de ferrocarriles y/o carreteras, así como el cierre de algunas estaciones.
- Daños originados por el calor a los ferrocarriles y/o carreteras.
- Confort de los viajeros en el uso del transporte público suburbano.

Muchos otros impactos no son considerados, bien porque han sido abarcados en otros documentos, por la falta de datos o porque quedan fuera del alcance de estudio.

El modo en que se analizan estos cuatro impactos consiste, en primer lugar, en un análisis de la situación actual; en segundo, en una evaluación de cómo afectará el cambio climático al modo de transporte analizado; en tercero, de un análisis de aquellas acciones que se están llevando a cabo o que están previstas y en último lugar, trata las recomendaciones de actuación.

La publicación realiza una clasificación sectorial de los impactos económicos potenciales entre los cuales se encuentran:

- Turismo y actividades de ocio
- Seguros y finanzas
- Industria de manufactura
- Administraciones públicas
- Industrias creativas
- Negocios medioambientales



Del mismo modo, identifica unos elementos intersectoriales entre los cuales se encuentran el transporte, la energía y la mano de obra, como claves.

Se compara también cómo afectará el cambio climático a Londres frente a otras ciudades que ostentan un estatus socio-económico semejante al de la capital inglesa, tales como Nueva York o Tokyo.



Por último, se resumen en una tabla, los aspectos relacionados con los impactos:

- Grado de severidad del impacto intrasectorialmente (en el caso de los impactos intersectoriales el equipo redactor realizó su propia valoración).
- Efectos sobre el empleo asociados con los impactos.
- Grado de incertidumbre (de acuerdo con la clasificación establecida para los impactos considerados, por el II Grupo de Trabajo del IPCC en el III Informe de 2001).
- Sensibilidad frente a los escenarios socioeconómicos, diferenciado entre mercados globales y sostenibilidad regional.
- Factores clave de cambio en el sector, no relacionados con el cambio climático.
- Identificación de las partes interesadas (stakeholders) en el análisis de impactos y adaptación.

Para finalizar, una vez abordados el resto de sectores socioeconómicos, se elabora un resumen y se extraen las conclusiones junto al resto de los sectores.

variable	impactos asociados	grado de severidad	efectos sobre el empleo	grado de incertidumbre (ipcc)	disponibilidad actual de opciones de adaptación
Incremento de lluvias en invierno	Inundaciones, pérdida de tiempo y reparación de daños	Alto	Bajo	Alto	Sí
Descenso de lluvias en verano	Menor nivel de agua en los ríos, afecciones al transporte de carga y viajeros	Bajo	Bajo	Alto	Sí
Temperaturas más altas en invierno	Menos nieve-menor daño a las infraestructuras		Bajo	Alto	-
Temperaturas más altas en verano	Estrés por calor-reparación de daños	Bajo	Bajo		Sí
	Mayor uso de transportes como la bicicleta	Bajo	Bajo	Alto	-
	Menor uso del transporte privado para ir al trabajo	Medio	Bajo		-
Incremento de la severidad de las tormentas	Daños en las infraestructuras. Tiempo perdido	Alto	Bajo	Alto	Sí
Sensibilidad a los escenarios socioeconómicos	Impactos exacerbados bajo el escenario GM (Global Markets)				
Factores clave de cambio no relacionados directamente con el cambio climático	Régimen de precio del transporte, desarrollo económico o prioridades de planificación				
Partes interesadas claves en la participación del análisis de impactos y proceso de adaptación	Government Office for London, London Development Agency, Transport for London, London Underground Ltd, Autoridad Portuaria de Londres, Administraciones Locales y Asociaciones de Usuarios				

Fuente: Adaptado de UKCIP (2002).

**Metodología:**

Se llevaron a cabo dos fases:

- Revisión y consulta, en la que se realizó una prospección sobre la literatura disponible con el objetivo de establecer de qué manera las actividades económicas llevadas a cabo por los sectores públicos y privados, pueden ser afectados directamente por el cambio climático.
- Análisis de cómo los impactos del cambio climático en otras partes del mundo, pueden afectar a las actividades económicas de los sectores anteriores.

La forma en la que se abordan los distintos impactos es la de identificación y descripción, y posteriormente, evaluación en términos de su posible severidad e idoneidad para la adaptación.

Tras las consultas realizadas a las partes interesadas, se identificaron los siguientes impactos más significativos:

- Afecciones a los modos de transporte por las inundaciones u otros fenómenos meteorológicos extraordinarios.
- Cambios en el tipo de viaje escogido.
- Cambios en los modos de transporte, como consecuencia del cambio en las condiciones de viaje.

Estos impactos son tratados en base a los modos de transporte, para posteriormente, obtener conclusiones acerca de cómo pueden afectar estos impactos a la estrategia existente en los distintos modos de transporte. De este modo, se identifican los siguientes impactos por modo de transporte:

- Impactos debidos a precipitaciones intensas.
- Impactos debidos al calor.
- Impactos debidos a tormentas.
- Otros impactos indirectos.

El transporte por ferrocarril y transporte aéreo, cuenta además con un estudio de un caso precedente que sirve para establecer semejanzas de los posibles costes en el futuro. Para el ferrocarril, por ejemplo, se cita un caso ocurrido en diciembre de 2000 en el ferrocarril entre Oxford y Londres, que tuvo un coste estimado, sin contar las reparaciones de las infraestructuras y los retrasos a los viajeros, de 1.228.590 libras.

**Análisis de escenarios socioeconómicos:**

El documento realiza una comparación de la posible evolución del sistema de transporte bajo

dos modelos socioeconómicos distintos (definidos por el IPCC), el de mercados globales (GM, global markets) y sostenibilidad regional (RS, regional sustainability).

Según se indica en el documento, ambos escenarios resultarían en un mayor uso del transporte público, en el GM debido a un aumento de la población en las ciudades y en el RS, fruto de una mayor concienciación ciudadana y un menor poder adquisitivo de las personas. En cuanto a las condiciones de confort para viajar en transporte público, el escenario GM respondería incrementando el uso del transporte privado lo que a su vez, incrementaría los atascos y fomentaría la inversión del sector privado en el transporte público (luego estaría actuando como una retroalimentación negativa). Bajo el RS, la gente viviría más próxima a sus trabajos con lo que soluciones de transporte, tales como la bicicleta o caminar, se harían factibles. A esto, habría que sumar el hecho de que bajo este escenario, mucha gente no podría permitirse desplazarse a grandes distancias debido a una reducción del nivel de riqueza. En el escenario GM el aire acondicionado vendría de serie en los coches mientras que bajo el escenario RS, no sería fomentado por los gobiernos debido a las penalizaciones de los vehículos de alto consumo. También el alto precio de los combustibles en el escenario RS, actuaría de impedimento para incluir el aire acondicionado de serie. La consecuencia es que los conductores de RM presentarían más problemas en cuanto al confort; además sería esperable un mayor deterioro de las carreteras debido a la falta de inversión. No obstante, bajo el GM cabe esperar una mayor cantidad de coches y camiones, luego la congestión del tráfico sería mayor bajo este escenario.

Cualquier impacto dado sobre el transporte aéreo es más susceptible de ser acusado bajo el escenario GM que bajo el escenario RS, debido a que la movilidad internacional es mayor en el primero. En cuanto a la movilidad fuera de los núcleos urbanos (interregional) sería mayor en el GM debido a una mayor afluencia y movilidad de las personas en vacaciones.

Por otro lado, bajo el escenario RS cabe esperar que las distancias de los viajes vacacionales sean menores, lo cual reducirá la presión sobre el transporte aéreo pero la incrementará sobre otros modos de transporte más apropiados para recorridos más cortos.

Se puede concluir afirmando que, bajo el escenario GM, se puede predecir una presión sobre el transporte privado mayor que bajo el RS, y para el transporte público, la situación sería a la inversa.

► **Título: Weather and Transportation in Canada**

Autor/es: Department of Geographic, University of Waterloo (Jean Andrey; Brian N. Mills)  
Fecha de publicación: 2003

**Objetivo:**

Se trata de un documento que pretende compilar la información disponible acerca de las relaciones existentes entre el clima y la meteorología con el transporte. Se centra, sobre todo, en el transporte por carretera canadiense, pero también aporta información sobre otros modos de transporte y otros países.

**Contenidos y estructuración:**

La publicación monográfica se estructura bajo tres temas principales distribuidos en ocho capítulos. Los capítulos correspondientes a cambio climático son uno perteneciente a mitigación y otro a adaptación y vulnerabilidad.

El estudio que está basado en la revisión de bibliografía, el estudio de casos y las mediciones y análisis empíricos de fuentes documentales, fue redactado por geógrafos canadienses que trabajan en el ámbito académico, la administración pública y el sector privado.

El documento identifica impactos sobre las infraestructuras de transporte relacionados con:

- La temperatura
- El aumento del nivel del mar
- La precipitación

Además de éstos, también identifica los impactos sobre las operaciones y servicios relacionados con diversos modos de transporte en función de:

- La eficiencia
- La movilidad
- La seguridad

Finalmente, identifica aparte de los dos anteriores, otros efectos indirectos del cambio climático que pudieran afectar al sistema de transporte.

La identificación y evaluación de las claves para la adaptación y sus costes asociados se estructuran en dos apartados:

- Diseño, construcción y mantenimiento de las infraestructuras de transporte.
- Operaciones de transporte (control de la nieve y el hielo, toma de decisiones en base a las predicciones meteorológicas y planes de contingencia).

En las conclusiones y reflexiones para investigaciones futuras de este documento, se indica que, según el análisis de las publicaciones realizadas, se observa que la metodología de la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha sobre las implicaciones del clima en el transporte es la siguiente:

En primer lugar, se obtienen los escenarios de cambio climático generados por modelos de circulación general o más regionalizados, los cuales son posteriormente transformados mediante otros modelos en los cambios físicos que son de relevancia para el sistema en estudio.

Una vez se tiene información acerca de estos cambios físicos, estos son cruzados con información acerca de los servicios y operaciones de transporte que dan como resultado la estimación de los costes. Debido a la incertidumbre que conlleva la aplicación de esta metodología, suele adoptarse más de un escenario o efectuar análisis de sensibilidad que

dan como fruto un rango de costes estimados. Algunos de los estudios analizados en el documento, fueron completados hace más de una década, pero su enfoque metodológico y conclusiones generales, no han sido mejorados en los últimos años.

No obstante, se indica que la principal carencia de estos estudios podría ser la escasa atención prestada a la dinámica y compleja naturaleza de la demanda del transporte y la competencia intermodal, así como las implicaciones que esto tiene en la adaptación de su industria.

También, se concluye que es preciso conocer bien cuáles son los costes asociados con el clima actual, para poder abordar este análisis en relación con el clima futuro.

Para finalizar, el documento realiza una serie de recomendaciones que enfatizan la importancia de enfocar los esfuerzos en la identificación y evaluación de actuaciones y vulnerabilidades que no se hayan tenido en cuenta, más que en la elaboración de exhaustivos estudios acerca de toda la infraestructura del transporte en general. Entre estas actuaciones y vulnerabilidades se pueden destacar las siguientes:

- Necesidad de evaluar la significancia de los eventos meteorológicos extremos y la variabilidad meteorológica en el diseño, coste, movilidad y seguridad del transporte canadiense.
- Llevar a cabo una evaluación más exhaustiva de las medidas de adaptación existentes y su capacidad potencial para prolongar la vida media de las infraestructuras, reducir los costes operacionales y mantener o mejorar la movilidad y la seguridad, en caso necesario.
- Debido a que el sector transporte es una de las mayores fuentes de GEI, sería necesario integrar mitigación y adaptación, de cara a obtener una estrategia que dé como resultado un transporte más sostenible y también menos vulnerable y/o resistente al clima.
- Existe la necesidad de mejorar la comprensión de las implicaciones del cambio climático en la demanda de transporte, considerando la capacidad potencial de adaptación de los consumidores o bien, un giro completo hacia otros modos de transporte favorecidos por estos cambios en el clima.
- Muchos factores externos al clima afectan a la evolución del sistema de transporte, tales como el desarrollo de la tecnología, la ordenación territorial, el estado de la economía en general, etc.; por ello, es preciso saber cómo afectan estos factores a la vulnerabilidad de la sociedad frente al clima y el cambio climático.
- Todas las investigaciones deben ser llevadas a cabo en estrecha colaboración con las partes interesadas (stakeholders).

► **Título: Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation**

Autor/es: Transportation Research Board (National Research Council; Washington, D.C.)  
Fecha de publicación: 2008



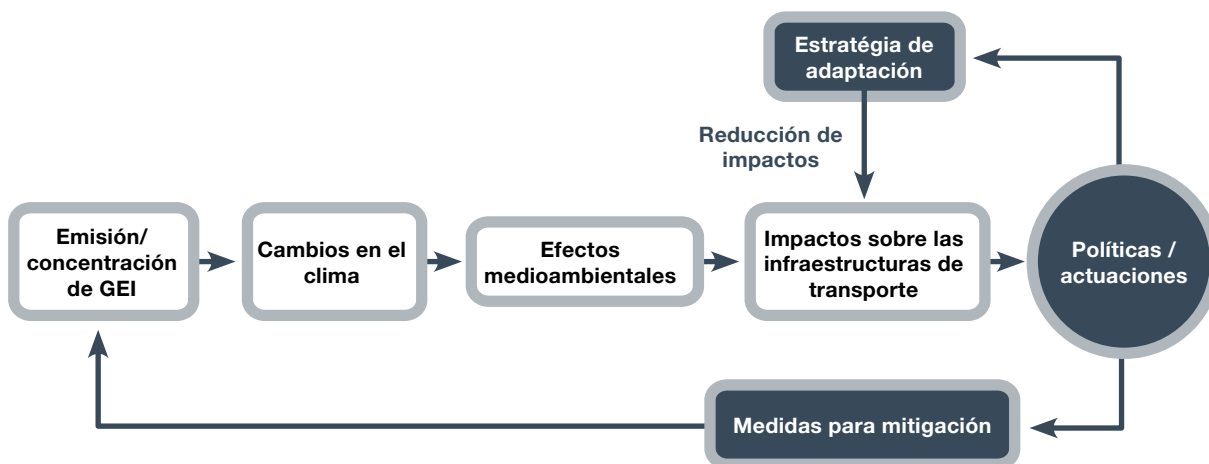
**Objetivo:**

Los objetivos de la publicación se pueden resumir en:

- Dar una visión global del consenso científico acerca del cambio climático incluyendo la incertidumbre acerca de su origen y magnitud.
- Realizar un resumen de los trabajos realizados hasta la fecha sobre estrategias para la reducción de los impactos del cambio climático en el sistema de transporte.
- Resumir los posibles impactos sobre el sector transporte, tales como los debidos al aumento del nivel del mar, al incremento en las temperaturas medias y descenso del número de días “muy fríos”, al aumento de los días “muy calurosos” y al aumento en la intensidad de las precipitaciones.
- Analizar las posibles opciones de adaptación frente a estos impactos, lo cual incluye: considerar la posibilidad de modificar el diseño de las infraestructuras, los servicios y las operaciones de mantenimiento; considerar la capacidad para incorporar los niveles de incertidumbre en la toma de decisiones a largo plazo y considerar la capacidad de las instituciones de planificar y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación a nivel estatal y regional.
- Identificar áreas claves para la investigación.
- Proponer políticas y actuaciones frente a los impactos potenciales del cambio climático.

Aunque el documento se centra en la adaptación del sector transporte al cambio climático, hace alusión a la importante relación existente entre las políticas de mitigación y las estrategias de adaptación y señala el papel decisivo de implementar ambas medidas conjuntamente (Figura 2.1).

**Figura 2.1.** El papel de las medidas de mitigación y estrategias de adaptación frente a los impactos del cambio climático en las infraestructuras de transporte en EE.UU.



Fuente: Adaptado de National Research Council (2008).

**Resumen:**

El informe comienza con un repaso del estado del conocimiento actual acerca del cambio climático y su impacto potencial, centrándose particularmente en Norteamérica, con el objeto de evaluar las consecuencias para el sector transporte e identificar estrategias de adaptación preventivas. El objetivo de dicha revisión no es el de proporcionar información acerca del estado de la ciencia del clima, sino informar a los profesionales del transporte acerca del cambio climático (incluyendo la incertidumbre en cuanto al lugar y tiempo de ocurrencia) para que, de este modo, comiencen a considerar las posibles soluciones.

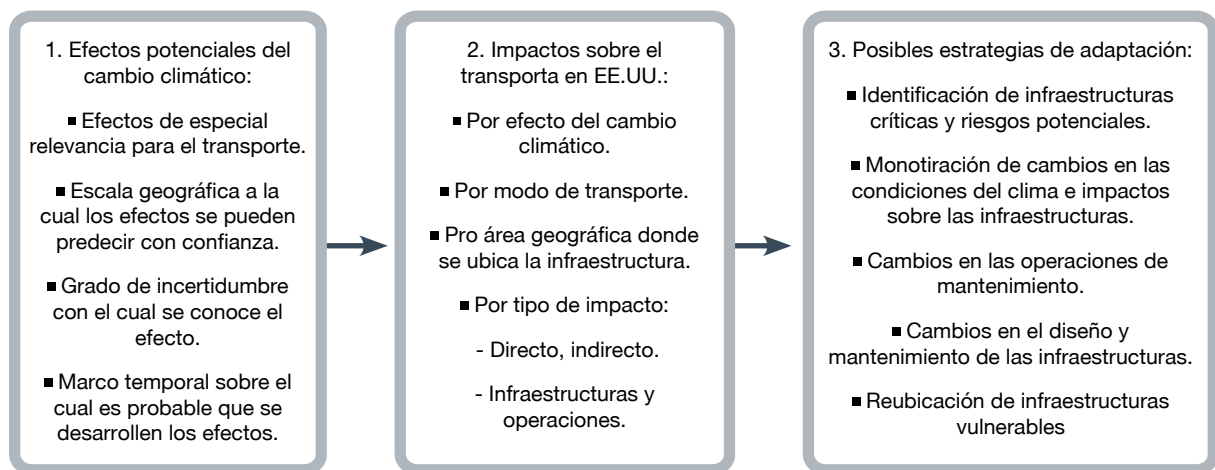
El informe aborda todos los modos de transporte: autopistas (incluyendo puentes y túneles), ferrocarriles (incluyendo ferrocarriles privados y públicos), transporte marítimo y aéreo, y transporte por tubería. Se centra fundamentalmente en los impactos directos del cambio climático sobre las infraestructuras de transporte y la operatividad del sistema, aunque se recogen igualmente otros impactos indirectos (por ejemplo, cambios potenciales en el emplazamiento de las actividades económicas y el uso de los modos de transporte, impactos sobre la contaminación...).

El público objetivo del estudio son todas las partes implicadas en el sector transporte en general. Su objetivo global es demostrar a los responsables de las políticas e infraestructuras de transporte (públicas y privadas), por qué deben planificar sus actuaciones frente al cambio climático. Al mismo tiempo, se realiza un intento de ponderar las expectativas acerca del nivel de precisión con el que el informe puede servir como guía acerca de impactos específicos del cambio climático y sus marcos temporales.

**Metodología:**

Los cambios en el clima pueden tener diversas formas de afectar a las infraestructuras de transporte, por lo que se hace necesario crear un marco conceptual para su estudio (Figura 2.2).

**Figura 2.2.** Impactos potenciales del cambio climático sobre las infraestructuras de transporte



Fuente: Adaptado de National Research Council (2008).

La primera tarea consiste en identificar los efectos potenciales del cambio climático, centrándose en aquellos de mayor relevancia para el transporte (columna 1). Esta tarea incluye también qué nivel de certeza se tiene acerca de estos efectos, en particular a nivel regional y/o local, y el marco temporal sobre el cual es probable que se desarrollen.

La segunda tarea (columna 2), consiste en describir los impactos de los efectos del cambio climático sobre el transporte. Estos impactos pueden ser clasificados por: tipo de efecto (ej. aumento del nivel del mar, temperaturas extremas...), por modo de transporte, por área geográfica o por tipo de impacto. Además de esto, los impactos pueden ser directos (ej. efectos físicos sobre las infraestructuras o los servicios) o indirectos (ej. afectando al emplazamiento de las actividades económicas o los niveles de contaminación). Finalmente, estos impactos pueden verse influenciados por cambios en el medioambiente en el cual se ubican las infraestructuras. Por ejemplo, cambios en la temperatura y la precipitación afectarán a la humedad del suelo y su escorrentía, lo que está directamente relacionado, a su vez, con los caudales punta de los ríos y arroyos, el balance de sedimentos aportados a las costas y la estabilidad de las plataformas sobre la que están construidas las infraestructuras. A esto último, se debe sumar una considerable variabilidad regional.

Las tareas que figuran en las columnas 1 y 2 requieren de una buena comunicación entre los científicos, los profesionales del transporte y otras disciplinas científicas relevantes.

Como tarea final (columna 3), se requiere el desarrollo de posibles estrategias de adaptación. Se sugiere una variedad de enfoques: la identificación de infraestructuras en riesgo, la monitorización de condiciones del clima y las infraestructuras, el cambio en las operaciones de mantenimiento, el cambio en el diseño y el mantenimiento de las infraestructuras o la reubicación de aquellas más vulnerables.

Las estrategias enumeradas en la columna 3, requieren primordialmente la atención de los arquitectos, ingenieros y personal de funcionamiento y mantenimiento de los servicios.

El marco metodológico expuesto en la Figura 2.2 relaciona, por tanto, los efectos potenciales del cambio climático con los impactos sobre las infraestructuras de transporte y con las posibles estrategias de adaptación, pero no trata por completo varios aspectos fundamentales. En primer lugar, está el problema de la escala, que afecta a la certeza con la cual los efectos del cambio climático sobre las infraestructuras pueden ser examinados en la actualidad. Es decir, las proyecciones del cambio climático son más o menos precisas a escala global, pero las infraestructuras de transporte se presentan mayoritariamente a escala local o regional (si bien es cierto que las proyecciones a escala regional y local se han mejorado mucho en los últimos años). En segundo lugar, los efectos del cambio climático no son puntuales, sino que sus impactos pueden variar incluso dentro de una misma región. Por ejemplo, el aumento del nivel del mar afectará a las regiones costeras, pero la gravedad del impacto dependerá de la elevación de la misma, el grado de subsidencia de la tierra, la extensión de sus protecciones, por ejemplo diques, y la redundancia de infraestructuras vulnerables en las áreas afectadas.

El hecho de que el sector transporte se estructure como una red, añade otro grado más de complejidad, ya que los efectos adversos del cambio climático sobre las infraestructuras o

servicios en una región, podrían significar el cambio hacia otras rutas o emplazamientos, bien temporalmente como fue el caso del movimiento de mercancías durante el paso del huracán Katrina o a largo plazo, con efectos sobre la red de transporte, que pueden resultar positivos o negativos (cambios en la actividad portuaria como resultado de la elección de nuevas rutas antes inaccesibles, o la necesidad de desplazarse a lo largo de mayores distancias debido, por ejemplo, a la migración de los recursos pesqueros).

Otro hándicap lo representa la escala temporal de los cambios que acontezcan. Algunos cambios en el clima se desarrollarán durante décadas incluso siglos, dejando tiempo suficiente para que los “planificadores” puedan responder. Otros cambios podrían incrementar la sensibilidad del sistema climático y traer cambios más abruptos e inmediatos, que dificulten la planificación a corto plazo. La vida media de las infraestructuras puede ser en el menor de los casos de 10 a 20 años (pavimentos de carreteras) lo que permite a los ingenieros adaptarse a los cambios climáticos “sobre la marcha”. Pero muchas otras redes e infraestructuras tienen vidas medias más prolongadas. Algunos puentes, canales y conducciones tienen vidas medias de 50 o incluso 100 años. Además, se debe tener en cuenta que muchas de las decisiones de inversión realizadas en la actualidad tendrán efectos significativos en la facilidad para la adaptación de las infraestructuras en el futuro.

Finalmente, como en muchos otros problemas, el cambio climático no se experimentará por sí solo, sino que lo hará en un contexto demográfico, social y de tendencia económica que con frecuencia puede agravar las condiciones existentes. Por ejemplo, diversas áreas costeras son objeto de una presión urbanística cada vez más intensa fruto del crecimiento poblacional y de una mayor afluencia y demanda turística. Muchas de estas áreas son ya vulnerables frente a la erosión y al daño provocado por las tormentas. A medida que el nivel del mar asciende, las fuertes tormentas en la costa, unidas a mareas más altas, incrementan el riesgo de graves inundaciones y de erosión, haciendo que más personas se vean en peligro e incrementando la dificultad para la evacuación en caso de emergencia.

### **Estructuración:**

El capítulo 1º describe el cometido del comité que elabora el estudio. El capítulo 2º repasa el estado del conocimiento actual acerca del cambio climático, incluyendo los cambios proyectados para el próximo siglo, y aquellos factores de particular importancia para el transporte en EE.UU. El capítulo 3º se centra en los impactos potenciales del cambio climático sobre las infraestructuras de transporte. Éste comienza con un repaso a la vulnerabilidad de las infraestructuras frente a estos cambios; posteriormente, examina los impactos más probables por modo de transporte originados por los cambios en el clima más críticos; revisa los estudios más valiosos y obtiene unas conclusiones. El capítulo 4º describe cómo se estructura el sector transporte y explica por qué el cambio climático representa un difícil reto para los políticos y aquellos que deban tomar decisiones. Concluye con algunas sugerencias para la adopción de una estrategia, basada en el análisis del riesgo que facilite la toma de decisiones. El capítulo 5º considera las estrategias de adaptación (tanto medidas a nivel de ingeniería y de operaciones y servicios) como los cambios en la planificación del transporte y el control de la ordenación territorial, desarrollo de nuevas tecnologías, mejora de la toma de datos y herramientas de análisis y cambios organizativos. En el 6º y último capítulo, el comité ofrece recomendaciones para las políticas y actuaciones para abordar los impactos y las necesidades de investigación.

► **Título: Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático**

Autor/es: J.M. Moreno *et al.* Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla la Mancha. Fecha de publicación: 2005

**Opciones y medidas de adaptación frente a los riesgos naturales de origen climático**

**Frente a los riesgos originados por las crecidas fluviales:**

“...La variabilidad climática, hidrológica, fisiográfica y socioeconómica de España conlleva a que las opciones adaptativas no puedan ser generalizables al conjunto de las regiones. En cualquier caso, la mejor opción adaptativa se deriva del avance en los sistemas y metodologías de prevención, predicción (sistemas de alerta en el caso de cuencas medianas y grandes), así como de la ordenación y gestión de las situaciones de riesgos. Estas buenas prácticas se pueden conseguir en tres niveles:

- A nivel técnico, se requiere la mejora de los sistemas de protección de bienes expuestos mediante medidas estructurales y no estructurales. En general, las medidas estructurales se aplican para proteger de los efectos de las crecidas a zonas con actividades humanas de cierta entidad como desarrollos urbanísticos. Como medida previa, se deberían favorecer las medidas no estructurales y de prevención, apoyada en una normativa que regulase la construcción en las zonas susceptibles de inundación, sin que a la vez se desarrollen las medidas de protección suficiente. Conviene reseñar que las actuaciones estructurales en los cauces (embalses, diques y canalizaciones) nunca pueden garantizar una protección absoluta.
- A nivel político y gestor, se debería incrementar el control legislativo en la mejora de la planificación de riesgos dentro de los planes urbanísticos e industriales. En este sentido, la legislación actual y normativas sectoriales sobre el medio hídrico, así como la Ley del Suelo y Valoraciones, resultan extraordinariamente ambiguas e inefectivas. Esta legislación debería contemplar la obligatoriedad de aplicación de las directrices de los Mapas de Riesgos en los diferentes ámbitos de planificación urbanística y en los Planes de Ordenación Territorial. En este sentido, se deben preservar las características de la red de drenaje natural, especialmente su capacidad de desagüe, evitando actuaciones que puedan suponer un obstáculo al flujo y potenciando la recuperación ambiental de los espacios fluviales.
- A nivel educativo, se requiere implantar en la población una educación sobre el riesgo y los desastres naturales, basada en la prevención y la reducción de la exposición. Por otro lado, se debería incidir a nivel escolar en materia de riesgos y prevención, incluyendo información de cómo actuar en caso de catástrofe. En este sentido, debemos aprender de las inundaciones pasadas, zonas previamente inundadas y sus consecuencias socioeconómicas, ya que constituyen una fuente importante de información y conocimiento a tener en cuenta en el diseño de cualquier política o estrategia para hacer frente a las avenidas...”

**Frente a los riesgos originados por la inestabilidad en laderas:**

“...El impacto por el incremento de deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios puede mitigarse, en parte, mediante políticas de reforestación de laderas y mantenimiento de especies mejor adaptadas a las condiciones del entorno. El crecimiento de las masas boscosas es también un elemento netamente sostenible para la protección contra los desprendimientos rocosos (bosque de protección). Por todo ello, las políticas de reforestación y lucha contra los incendios forestales deberán ser primadas en el futuro.

La mejor herramienta adaptativa es la confección de planes urbanísticos y de planificación territorial que tengan en cuenta y eviten, en la medida de lo posible, el desarrollo en las áreas más susceptibles a la inestabilidad de laderas.

Las obras públicas, en especial las obras viarias y ferroviarias, deberán tener en cuenta procedimientos constructivos para evitar la reactivación de los grandes deslizamientos. Para ello, se dispone de un amplio abanico de soluciones que van desde la minimización de los desmontes a excavar, reducción de sobrecargas en las laderas (terraplenes ligeros), obras de contención (muros y sistemas de anclaje) y sobre todo de drenaje.

Difícilmente van a poder abordarse medidas de protección contra la erosión y descalce de los acantilados costeros excepto para casos puntuales muy justificados en los que las citadas medidas sean económicamente viables. Del mismo modo, sólo aquellos grandes deslizamientos que tengan propiedades e infraestructuras de valor podrán ser objeto de corrección y contención...”.

#### **Frente a los riesgos originados por los incendios forestales:**

- Estrategias de prevención y lucha contra incendios

“...La opción de luchar contra todo incendio en un ambiente de peligro y riesgo creciente puede simplemente no ser técnicamente posible, ni económicamente viable. Por otro lado, desde el punto de vista de la gestión de los ecosistemas, algunos de ellos pueden gestionarse teniendo en cuenta al fuego, esto es, incorporar periódicamente el fuego en los esquemas de gestión.

En este sentido, parece necesario determinar dónde y cuándo el incendio no es deseable a ningún coste y dónde y cuándo puede ser tolerable o, incluso, deseable, aunque sólo sea para minimizar el riesgo de un incendio incontrolado. Esto se puede conseguir mediante la implantación de sistemas de gestión forestal que contemplen el uso de quemas prescritas, esto es, controladas (Rodríguez, 1998, 2004). Esto es así en las actuales circunstancias pero más aún en las que se avecinan. La idea es que el fuego puede ser utilizado para controlar los tipos y cantidades de combustibles. En general, es cierto (aunque existen notables excepciones) que un área quemada es altamente improbable que vuelva a quemarse en unos años. Esto ofrece la posibilidad de usar quemas controladas para crear zonas a través de las cuales el fuego no prospere. Esto es factible para, por ejemplo, proteger zonas con alto valor económico o que sean altamente sensibles al fuego como plantaciones jóvenes, edificaciones adyacentes al monte, etc. No obstante, el uso del fuego no está exento de riesgo en ningún caso. Una vez que se desencadena un incendio siempre existe alguna probabilidad de que éste se propague fuera de las áreas seleccionadas por el gestor, por lo que su uso debe hacerse cuidadosamente.



Dados los importantes recursos que se dedican a la prevención y lucha contra incendios, y el límite en la eficiencia que es esperable siguiendo análisis de coste/beneficio (esto es, más recursos no necesariamente implican mayor eficacia) (Martell, 2001), parece obligado revisar las políticas de lucha contra incendios, fundamentalmente a través de cambios en las estrategias preventivas, ya que los avances técnicos en la capacidad de luchar contra el fuego una vez que éste se ha producido y detectado parecen más limitadas. En este sentido, las técnicas de gestión del combustible (tanto sean desbroces, quemas prescritas, utilización de herbívoros u otras) deberían progresar a partir del conocimiento de las características de las especies vegetales y de los ecosistemas, de manera que permitan una gestión integrada de los mismos, tomando en cuenta, además de la prevención de incendios, la conservación de la biodiversidad, la fijación del carbono y la lucha contra la desertificación...”.

- Selvicultura y usos del suelo

“...Los estudios llevados a cabo en el pasado muestran que, si bien en el conjunto del país no parece que el tipo de cubierta vegetal haya sido determinante de la ocurrencia de incendios (Vázquez *et al.*, 2002), en determinadas zonas, los incendios han sido selectivos, esto es, no han afectado por igual a toda la vegetación. Por otro lado, no es fácil hacer predicciones acerca del valor comercial de las plantaciones arbóreas en el futuro lejano. No obstante, teniendo en cuenta que en el pasado un número considerable de plantaciones arbóreas ardió a edades tempranas (Moreno *et al.*, 1998), hay que suponer que en el futuro puede ocurrir lo mismo. La ocurrencia de incendios en zonas forestadas, con suelos poco desarrollados, que son los que predominan en los montes mediterráneos, puede suponer un impacto altamente negativo sobre los recursos edáficos, debido a las pérdidas de nutrientes y suelo que ello conlleva (Bautista *et al.*, 1996, Andreu *et al.*, 1996, Soto y Díaz-Fierros, 1998). El escenario de lluvias concentradas en el tiempo hace prever que los efectos negativos tiendan a ser mayores (De Luis *et al.*, 2003). La mayor frecuencia de sequías puede ser doblemente negativa al limitar el desarrollo de la vegetación en los estadios tempranos. No obstante, la gran variabilidad espacial y temporal con que éstas pueden presentarse hace difícil proyectar sus efectos a escalas de detalle. Consecuentemente, las estrategias de uso forestal de los distintos territorios de España, incluyendo las especies de reforestación, sobre todo de aquellos con un alto potencial forestal, deben tener en cuenta la eventualidad de incendios frecuentes. El riesgo asociado a las pérdidas del suelo debe calcularse a fin de verificar la idoneidad de los diferentes usos del suelo...”.

- Usos recreativos del monte

“...La tendencia al incremento poblacional, las mejoras socioeconómicas, y la presumible tendencia hacia un interés cada vez mayor por mantener una vida en contacto con la naturaleza, permite presumir que la demanda de uso de los montes aumentará. La mejora en la educación probablemente conllevará una mayor sensibilidad al riesgo y prácticas de uso menos peligrosas. No obstante, un uso recreativo del monte más intenso, junto a una mayor duración de los periodos de actividad debido a temperaturas más benignas, pueden añadir factores de riesgo importantes, si bien, la cuantificación del mismo no es posible. Por otro lado, habría que considerar el riesgo de incendio en los planes urbanísticos, de manera que cualquier recalificación de los terrenos para hacerlos urbanizables tuviese en cuenta el riesgo de incendios. De otra parte, se debería reforzar la legislación sobre protección contra incendios en la interfase urbano-forestal y las medidas encaminadas a aplicarla...”.

- Sistemas de predicción y vigilancia

“...Las mejoras en los sistemas de vigilancia, favorecidos por el desarrollo tecnológico, facilitarán su extensión a amplias zonas, acortando los tiempos de avistamiento y respuesta, lo que supondrá una ayuda importante en la lucha contra incendios. Por otro lado, la posibilidad de disponer de mapas de combustible con resoluciones espaciales altas, y de sus condiciones (contenido en humedad) ajustadas a la meteorología, unido a la integración en SIG de toda la información existente y a la aplicación de modelos de propagación en el supuesto de un fuego incipiente, facilitará una rápida y oportuna respuesta. Igualmente, la capacidad de disponer de información in situ gracias a las comunicaciones remotas e informática puede poner en manos del gestor unas herramientas potentes para calibrar mejor el riesgo inminente y planificar mejor la lucha contra el fuego. El poder anticiparse a medio plazo, con simulaciones aproximadas a las peores condiciones posibles puede permitir una mejor planificación de las campañas. Todo ello, hace pensar que la capacidad de lucha aumente sensiblemente, sobre todo en las fases tempranas de un incendio...”.

► **Título: Impactos en la Costa Española por Efectos del Cambio Climático (Fase III Estrategia frente al Cambio Climático en la Costa).**

Autor/es: Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria.

Fecha de publicación: 2004

En cuanto a los riesgos sobre las infraestructuras costeras, la publicación propone las siguientes medidas y opciones de adaptación para los impactos sobre las infraestructuras y servicios de transporte de la costa:

- Estrategias destinadas a la reducción de incertidumbres asociadas a los posibles forzamientos inducidos por efecto del cambio climático y a la falta de conocimiento y metodologías para su análisis.

- Son estrategias cuyo objetivo fundamental es mejorar nuestro conocimiento sobre el cambio climático, su temporalidad y magnitud, así como su incidencia sobre los diferentes elementos que componen la costa.

- Estrategias encaminadas a la evaluación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad de las zonas costeras.

- La realización de un mapa preliminar de alta resolución de zonas piloto del litoral vulnerables al cambio climático y establecer en función de dicho mapa zonas con diferentes niveles de riesgo, por ejemplo, utilizando el índice de vulnerabilidad costera descrito en el documento de referencia. Se propone realizar este trabajo en el marco del Plan Director de Costas.

- Sobre dichos mapas establecer una revisión del Dominio Público Marítimo Terrestre correspondiente mediante un trazado de un nuevo deslinde que incluya el efecto potencial del cambio climático bajo diferentes escenarios. Evaluar en dichas zonas usos, recursos e infraestructuras y plantear políticas de retroceso, adaptación y protección valorando el coste económico de las mismas y evaluando su repercusión ambiental.

- Asimismo, en función de la vulnerabilidad establecida en cada zona, reglamentar la evaluación técnica de cualquier actuación en la costa para un horizonte al menos igual a la vida útil de la actuación; esto incluye: regeneración de playas, paseos marítimos, instalaciones portuarias, infraestructuras próximas a la costa, etc.
- Estrategias encaminadas a la concienciación social de la problemática inducida en la costa por efecto del cambio climático.
  - Incrementar la conciencia de los gestores de la administración central, administraciones autonómicas y locales así como de la sociedad en general, sobre la problemática del cambio climático, programando un conjunto de actividades de difusión que recojan la información relativa a los posibles escenarios, temporalidad e incidencia sobre la costa. Estas actividades de difusión deben alcanzar a gestores diversos dado que tanto los aspectos medioambientales, económicos, sociales, infraestructuras, agricultura, etc., se verán implicados en las potenciales consecuencias del cambio climático. Este programa debería integrarse también con iniciativas existentes en el campo de la educación ambiental.
- Estrategias encaminadas a la mitigación de los efectos del cambio climático mediante estrategias de actuación indirectas.
  - Minimizar el conjunto de actuaciones que conlleven consecuencias sobre la costa que tiendan a incrementar por sinergia los posibles efectos del cambio climático; principalmente a través de una Gestión Integrada de Zonas Costeras (GICZ).
- Políticas encaminadas a la aplicación de estrategias de retroceso.
  - Aquellas dirigidas principalmente al abandono de áreas altamente vulnerables y a la reubicación de las infraestructuras, cultivos, actividad industrial y población directamente afectada.
- Políticas encaminadas a la aplicación de estrategias de adaptación.
  - Aplicar una GIZC, es decir, un planeamiento y ordenación anticipada de la zona costera que conduzca a la atenuación de impactos en la costa; la modificación de los usos del territorio; la adaptación de las normas de edificación, la construcción de infraestructuras y planificación urbana; la protección de los ecosistemas en peligro; la regulación estricta de zonas altamente vulnerables y finalmente, iniciar una estrategia para el análisis de posibles iniciativas para asegurar las zonas de riesgo.
  - Introducción en el diseño y en la reevaluación de la fiabilidad y funcionalidad de las infraestructuras portuarias y de la operatividad de las mismas los posibles efectos del cambio climático. Este objetivo puede conseguirse si se introduce en las Recomendaciones de Obras Marítimas de Puertos del Estado (ROM 0.0., ROM 0.3., etc.) para el diseño funcional y estabilidad de las infraestructuras portuarias, las tendencias en las acciones (oleaje, dirección,

marea meteorológica, viento) obtenidas en el documento de referencia (9). Para ello, se deberá fijar una metodología compatible con la metodología de cálculo establecida actualmente en las ROM.

- Asimismo, sería importante considerar la reevaluación de obras de protección de la costa como espigones y, muy especialmente, diques exentos. El efecto del cambio climático incidirá esencialmente sobre el rebase y la difracción inducida por los mismos y, por tanto, conducirá a variaciones importantes de la línea de costa protegida, posiblemente no compatibles con los objetivos establecidas en el diseño inicial.

- En cualquier caso, todo este nuevo proceso estará condicionado por la vida útil de las infraestructuras y el riesgo asumible.

■ Políticas encaminadas a la aplicación de estrategias de protección.

- Estas políticas están dirigidas a la defensa de áreas vulnerables: poblaciones, actividades económicas, infraestructuras y recursos naturales. Se basan esencialmente en la aplicación individual o mixta de una de estas dos tipologías de defensa: tipologías rígidas y tipologías blandas. Entre las tipologías rígidas se encuentran: diques, muros, barreras, espigones, revestimientos, etc., así como barreras frente a la intrusión salina.

Otros estudios realizados y recogidos en las ponencias de las Jornadas “El suelo y el clima en las grandes obras públicas lineales de Andalucía (10, 11, 12)” identificaron algunas opciones y medidas de adaptación que resultan de interés para el tema que nos ocupa, y de las que se pueden destacar las siguientes:

- Elaboración de una Cartografía de Riesgos Geológicos de Andalucía, que a escalas iniciales permita la previsión de los problemas asociados al terreno y los factores climáticos, ya que de las características geológicas – geotécnicas de la traza, y de las incidencias y posibles problemas asociados a ellas, depende de manera fundamental el adecuado proyecto de los trabajos y así el éxito final de la infraestructura.
- Creación de un banco de datos y un sistema de información geográfica asociado que haga posible reunir, organizar y ofrecer toda la información disponible sobre el territorio, fundamento de la planificación, proyecto, construcción o explotación de las obras públicas, cuyos datos puedan ir incorporándose al mismo; lo que se conoce como un Sistema de Información Multitemático para el manejo de riesgos naturales en la planificación de infraestructuras viales.
- Desarrollar e implementar sistemas de información del medio ambiente y el territorio con capacidad para facilitar el seguimiento, y la toma de decisiones del comportamiento de la obra y de su entorno durante el período de vida útil.
- Dotarse de métodos de análisis que consideren los costes globales de los daños y permitan el establecimiento de estrategias racionales y calculadas de gestión de los riesgos.
- Constituir un observatorio del comportamiento global de la obra pública en el que participen las administraciones, los profesionales y los colectivos sociales implicados.

Estación: 6275.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC

Número de años: 30

Primer año: 1961

### Datos observados y probabilidades

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0026.00	101.00	0.983
0030.00	081.00	0.950
0031.00	072.00	0.917
0035.00	067.00	0.883
0036.00	065.00	0.850
0037.00	061.00	0.817
0039.00	058.00	0.783
0039.00	058.00	0.750
0039.00	057.00	0.717
0040.00	054.00	0.683
0041.00	049.00	0.650
0042.00	048.00	0.617
0042.00	047.00	0.583
0044.00	047.00	0.550
0046.00	046.00	0.517
0046.00	046.00	0.483
0047.00	044.00	0.450
0047.00	042.00	0.417
0048.00	042.00	0.383
0049.00	041.00	0.350
0054.00	040.00	0.317
0057.00	039.00	0.283
0058.00	039.00	0.250
0058.00	039.00	0.217
0061.00	037.00	0.183
0065.00	036.00	0.150
0067.00	035.00	0.117
0072.00	031.00	0.083
0081.00	030.00	0.050
0101.00	026.00	0.017

Valor medio = 49,2667

Desviacion tipica= 15,8618

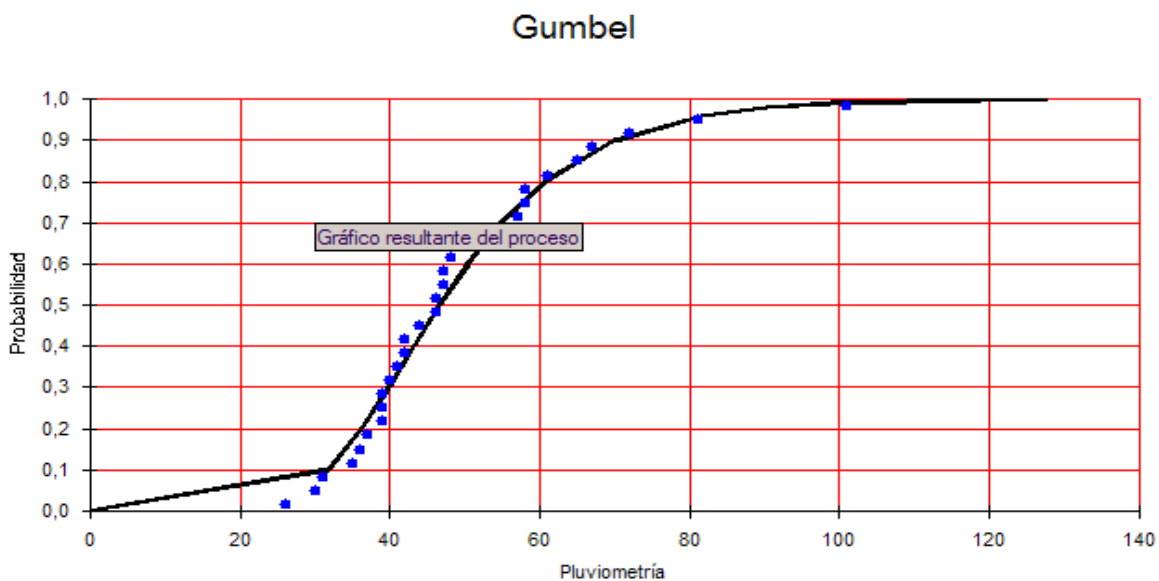
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica)= 03,1060

**Periodos de retorno y probabilidades**

Periodo retorno 2 Probabilidad 0,5  
 Periodo retorno 25 Probabilidad 0,96  
 Periodo retorno 50 Probabilidad 0,98  
 Periodo retorno 100 Probabilidad 0,99  
 Periodo retorno 250 Probabilidad 0,996  
 Periodo retorno 500 Probabilidad 0,998  
 Periodo retorno 1000 Probabilidad 0,999

**Valores de la funcion de Gumbel**

Probabilidad	Pluviometria
0,100	31,81
0,200	36,24
0,300	39,83
0,400	43,21
0,500	46,66
0,600	50,44
0,700	54,88
0,800	60,68
0,900	69,96
0,960	81,69
0,980	90,38
0,990	99,03
0,998	118,97
0,999	127,56





**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

**Estación: P24\_6275.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC**

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

<b>Datos</b>	<b>Ordenados</b>	<b>Frecuencia Teorica</b>
0027.00	112.00	0.983
0028.00	112.00	0.950
0028.00	070.00	0.917
0029.00	065.00	0.883
0030.00	064.00	0.850
0030.00	061.00	0.817
0030.00	058.00	0.783
0030.00	055.00	0.750
0031.00	055.00	0.717
0032.00	053.00	0.683
0032.00	050.00	0.650
0033.00	049.00	0.617
0035.00	049.00	0.583
0035.00	040.00	0.550
0036.00	038.00	0.517
0038.00	036.00	0.483
0040.00	035.00	0.450
0049.00	035.00	0.417
0049.00	033.00	0.383
0050.00	032.00	0.350
0053.00	032.00	0.317
0055.00	031.00	0.283
0055.00	030.00	0.250
0058.00	030.00	0.217
0061.00	030.00	0.183
0064.00	030.00	0.150
0065.00	029.00	0.117
0070.00	028.00	0.083
0112.00	028.00	0.050
0112.00	027.00	0.017

Valor medio = 46,5667

Desviacion tipica = 21,7005

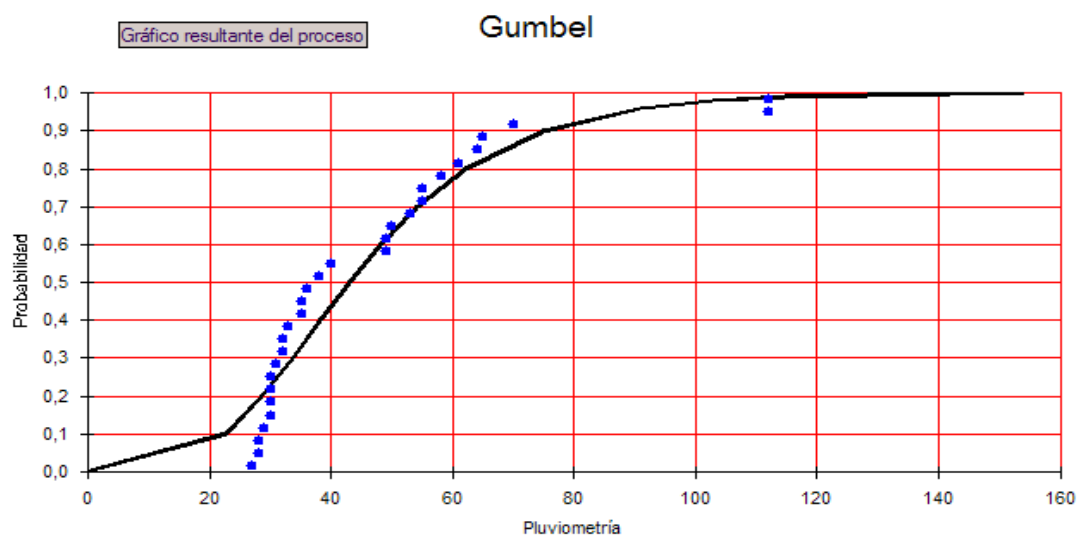
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 02,1459

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	22,69
0,200	28,75
0,300	33,66
0,400	38,28
0,500	43,00
0,600	48,17
0,700	54,24
0,800	62,18
0,900	74,88
0,960	90,92
0,980	102,82
0,990	114,65
0,998	141,93
0,999	153,68



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5911.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC..csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0086.00	236.00	0.983
0096.00	223.00	0.950
0101.00	211.00	0.917
0111.00	206.00	0.883
0119.00	204.00	0.850
0128.00	201.00	0.817
0128.00	196.00	0.783
0130.00	191.00	0.750
0131.00	184.00	0.717
0132.00	164.00	0.683
0132.00	163.00	0.650
0138.00	161.00	0.617
0148.00	160.00	0.583
0149.00	158.00	0.550
0149.00	154.00	0.517
0154.00	149.00	0.483
0158.00	149.00	0.450
0160.00	148.00	0.417
0161.00	138.00	0.383
0163.00	132.00	0.350
0164.00	132.00	0.317
0184.00	131.00	0.283
0191.00	130.00	0.250
0196.00	128.00	0.217
0201.00	128.00	0.183
0204.00	119.00	0.150
0206.00	111.00	0.117
0211.00	101.00	0.083
0223.00	096.00	0.050
0236.00	086.00	0.017

Valor medio = 156,3333

Desviacion tipica = 38,2695

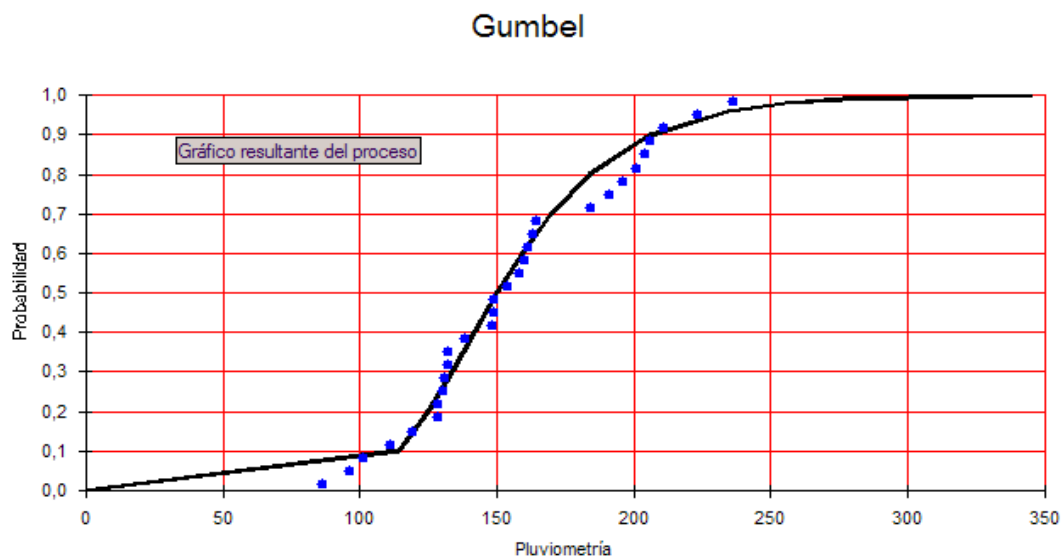
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 04,0851

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	114,22
0,200	124,91
0,300	133,57
0,400	141,72
0,500	150,05
0,600	159,15
0,700	169,87
0,800	183,87
0,900	206,26
0,960	234,55
0,980	255,54
0,990	276,41
0,998	324,52
0,999	345,23



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5911.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC Gumbel..csv

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0063.00	246.00	0.983
0074.00	197.00	0.950
0076.00	195.00	0.917
0085.00	178.00	0.883
0087.00	170.00	0.850
0087.00	168.00	0.817
0088.00	166.00	0.783
0095.00	147.00	0.750
0097.00	147.00	0.717
0101.00	147.00	0.683
0106.00	143.00	0.650
0114.00	139.00	0.617
0115.00	138.00	0.583
0124.00	135.00	0.550
0129.00	132.00	0.517
0132.00	129.00	0.483
0135.00	124.00	0.450
0138.00	115.00	0.417
0139.00	114.00	0.383
0143.00	106.00	0.350
0147.00	101.00	0.317
0147.00	097.00	0.283
0147.00	095.00	0.250
0166.00	088.00	0.217
0168.00	087.00	0.183
0170.00	087.00	0.150
0178.00	085.00	0.117
0195.00	076.00	0.083
0197.00	074.00	0.050
0246.00	063.00	0.017

Valor medio = 129,6333

Desviacion tipica = 41,7520

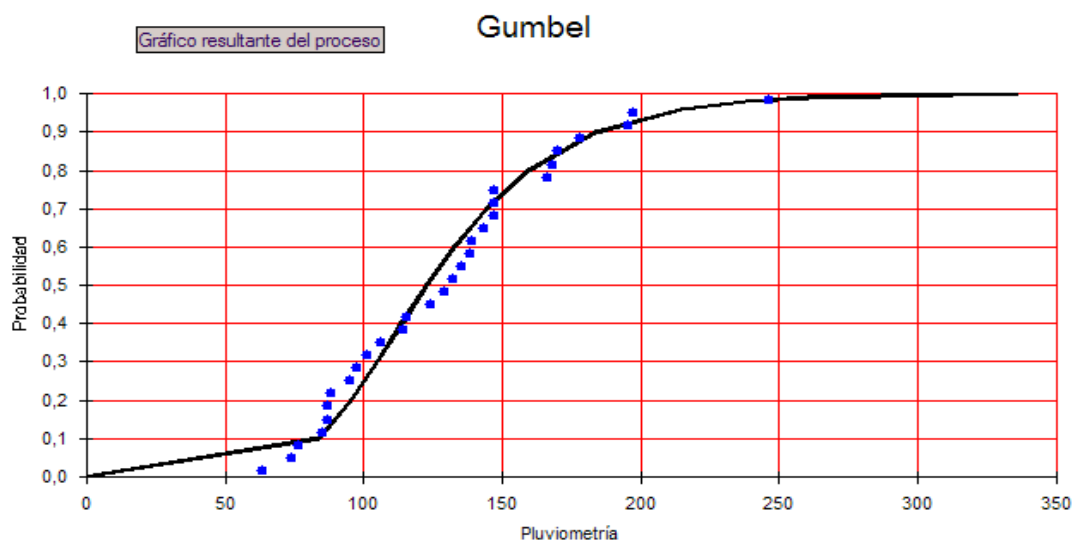
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 03,1048

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	83,69
0,200	95,35
0,300	104,80
0,400	113,69
0,500	122,77
0,600	132,71
0,700	144,40
0,800	159,67
0,900	184,10
0,960	214,97
0,980	237,87
0,990	260,63
0,998	313,12
0,999	335,72





**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.4514.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0045.00	093.00	0.983
0050.00	091.00	0.950
0055.00	090.00	0.917
0055.00	088.00	0.883
0058.00	088.00	0.850
0060.00	087.00	0.817
0060.00	082.00	0.783
0062.00	080.00	0.750
0063.00	080.00	0.717
0064.00	076.00	0.683
0065.00	075.00	0.650
0065.00	074.00	0.617
0066.00	073.00	0.583
0070.00	073.00	0.550
0073.00	073.00	0.517
0073.00	073.00	0.483
0073.00	070.00	0.450
0073.00	066.00	0.417
0074.00	065.00	0.383
0075.00	065.00	0.350
0076.00	064.00	0.317
0080.00	063.00	0.283
0080.00	062.00	0.250
0082.00	060.00	0.217
0087.00	060.00	0.183
0088.00	058.00	0.150
0088.00	055.00	0.117
0090.00	055.00	0.083
0091.00	050.00	0.050
0093.00	045.00	0.017

Valor medio = 71,1333

Desviacion tipica = 12,5956

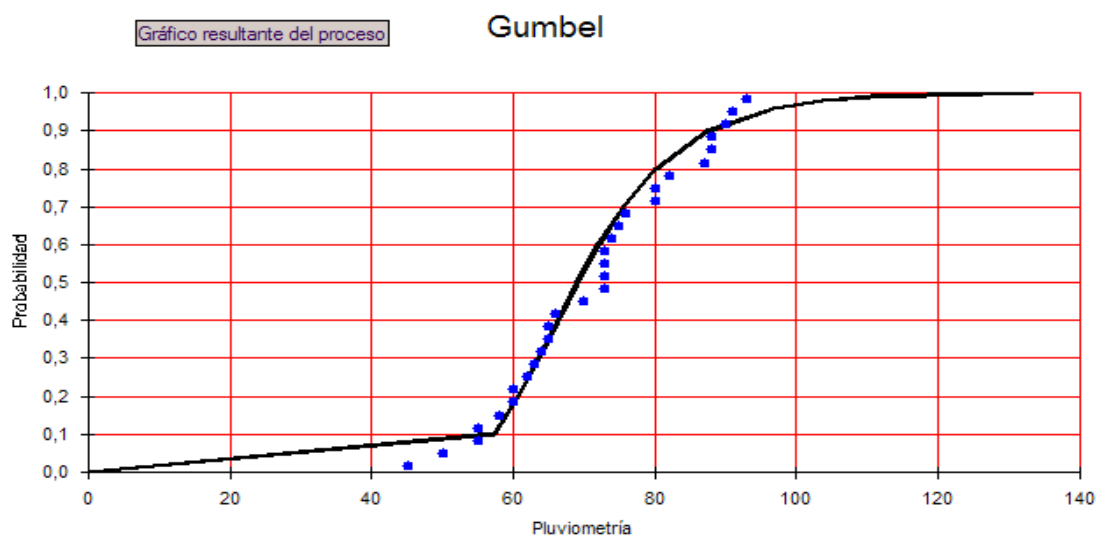
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 05,6475

#### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

#### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	57,27
0,200	60,79
0,300	63,64
0,400	66,32
0,500	69,06
0,600	72,06
0,700	75,59
0,800	80,20
0,900	87,57
0,960	96,88
0,980	103,78
0,990	110,65
0,998	126,49
0,999	133,30



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.4514.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC..csv

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0031.00	101.00	0.983
0046.00	091.00	0.950
0046.00	086.00	0.917
0046.00	084.00	0.883
0047.00	083.00	0.850
0048.00	081.00	0.817
0050.00	073.00	0.783
0052.00	072.00	0.750
0054.00	071.00	0.717
0055.00	070.00	0.683
0056.00	069.00	0.650
0063.00	069.00	0.617
0064.00	069.00	0.583
0066.00	068.00	0.550
0066.00	067.00	0.517
0067.00	066.00	0.483
0068.00	066.00	0.450
0069.00	064.00	0.417
0069.00	063.00	0.383
0069.00	056.00	0.350
0070.00	055.00	0.317
0071.00	054.00	0.283
0072.00	052.00	0.250
0073.00	050.00	0.217
0081.00	048.00	0.183
0083.00	047.00	0.150
0084.00	046.00	0.117
0086.00	046.00	0.083
0091.00	046.00	0.050
0101.00	031.00	0.017

Valor medio = 64,8000

Desviacion tipica = 15,4303

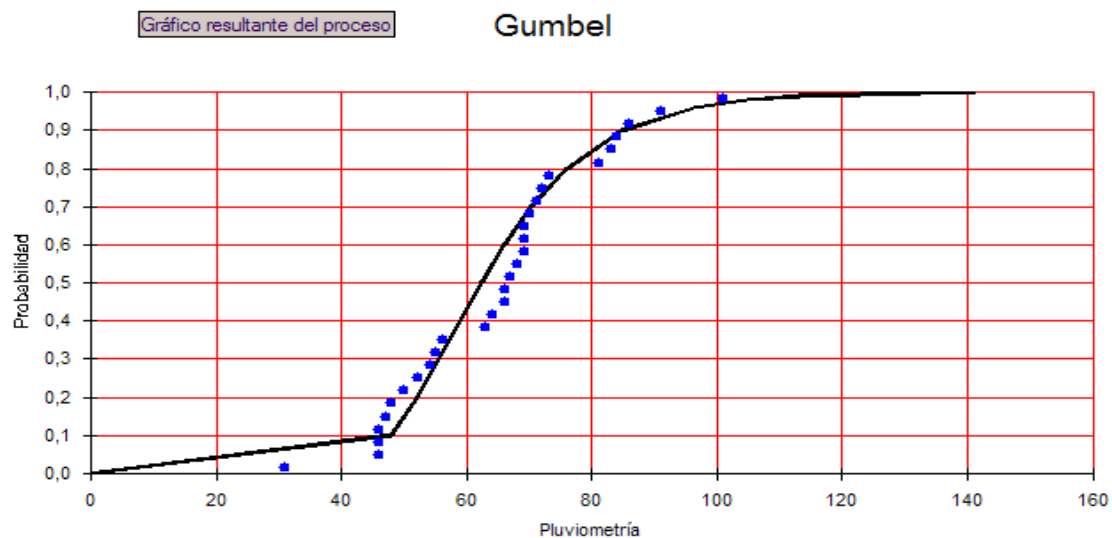
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 04,1995

#### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

#### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	47,82
0,200	52,13
0,300	55,62
0,400	58,91
0,500	62,27
0,600	65,94
0,700	70,26
0,800	75,90
0,900	84,93
0,960	96,34
0,980	104,80
0,990	113,21
0,998	132,61
0,999	140,96



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5442E.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC..csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0036.00	088.00	0.983
0036.00	082.00	0.950
0041.00	081.00	0.917
0042.00	078.00	0.883
0046.00	076.00	0.850
0047.00	073.00	0.817
0048.00	070.00	0.783
0050.00	068.00	0.750
0050.00	066.00	0.717
0052.00	065.00	0.683
0057.00	064.00	0.650
0057.00	063.00	0.617
0058.00	062.00	0.583
0059.00	062.00	0.550
0060.00	061.00	0.517
0061.00	060.00	0.483
0062.00	059.00	0.450
0062.00	058.00	0.417
0063.00	057.00	0.383
0064.00	057.00	0.350
0065.00	052.00	0.317
0066.00	050.00	0.283
0068.00	050.00	0.250
0070.00	048.00	0.217
0073.00	047.00	0.183
0076.00	046.00	0.150
0078.00	042.00	0.117
0081.00	041.00	0.083
0082.00	036.00	0.050
0088.00	036.00	0.017

Valor medio = 59,9333

Desviacion tipica = 13,3540

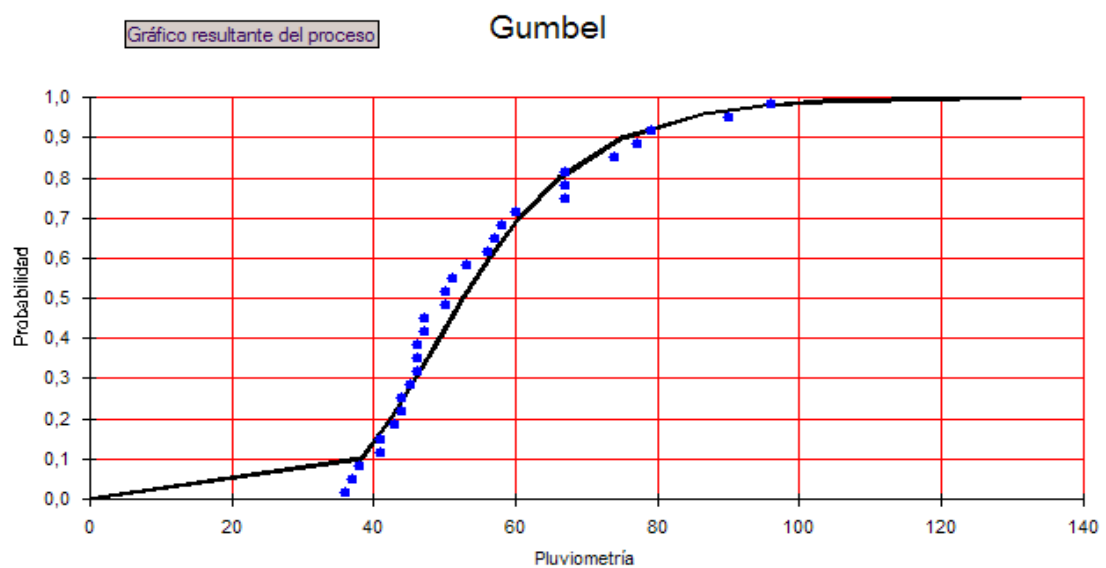
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 04,4880

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	45,24
0,200	48,97
0,300	51,99
0,400	54,83
0,500	57,74
0,600	60,92
0,700	64,66
0,800	69,54
0,900	77,35
0,960	87,23
0,980	94,55
0,990	101,83
0,998	118,62
0,999	125,85





**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5442E.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC Gumbel..csv

Número de años: 30  
Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0036.00	096.00	0.983
0037.00	090.00	0.950
0038.00	079.00	0.917
0041.00	077.00	0.883
0041.00	074.00	0.850
0043.00	067.00	0.817
0044.00	067.00	0.783
0044.00	067.00	0.750
0045.00	060.00	0.717
0046.00	058.00	0.683
0046.00	057.00	0.650
0046.00	056.00	0.617
0047.00	053.00	0.583
0047.00	051.00	0.550
0050.00	050.00	0.517
0050.00	050.00	0.483
0051.00	047.00	0.450
0053.00	047.00	0.417
0056.00	046.00	0.383
0057.00	046.00	0.350
0058.00	046.00	0.317
0060.00	045.00	0.283
0067.00	044.00	0.250
0067.00	044.00	0.217
0067.00	043.00	0.183
0074.00	041.00	0.150
0077.00	041.00	0.117
0079.00	038.00	0.083
0090.00	037.00	0.050
0096.00	036.00	0.017

Valor medio = 55,1000

Desviacion tipica =15,3739

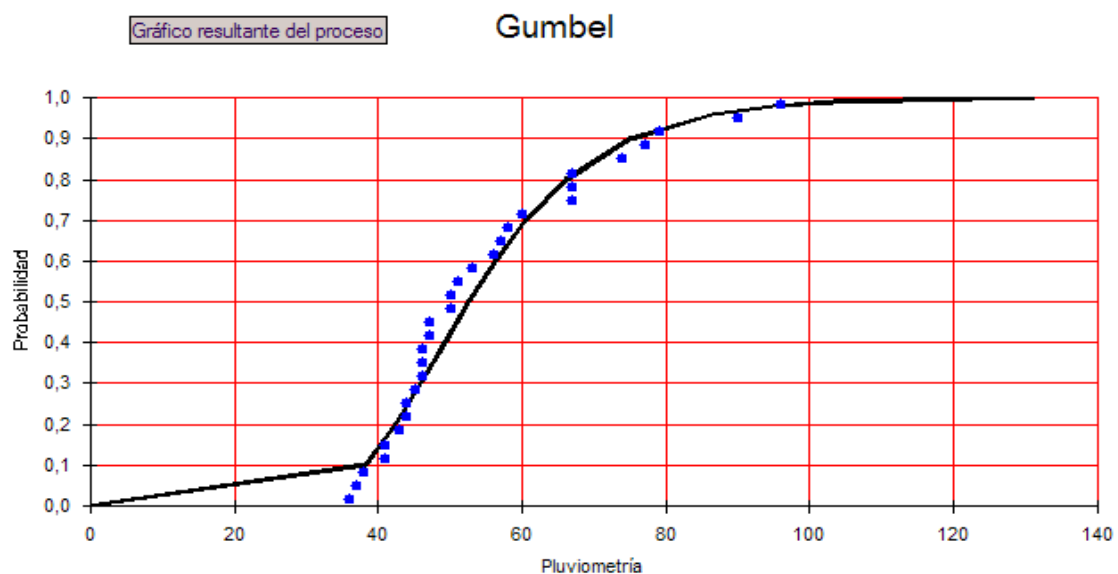
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 03,5840

#### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

#### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	38,18
0,200	42,48
0,300	45,96
0,400	49,23
0,500	52,57
0,600	56,23
0,700	60,54
0,800	66,16
0,900	75,16
0,960	86,52
0,980	94,95
0,990	103,34
0,998	122,66
0,999	130,98



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5708.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0069.00	082.00	0.983
0071.00	081.00	0.950
0069.00	080.00	0.917
0043.00	079.00	0.883
0053.00	075.00	0.850
0064.00	073.00	0.817
0062.00	072.00	0.783
0072.00	072.00	0.750
0075.00	071.00	0.717
0063.00	069.00	0.683
0059.00	069.00	0.650
0082.00	069.00	0.617
0069.00	066.00	0.583
0059.00	064.00	0.550
0062.00	063.00	0.517
0063.00	063.00	0.483
0061.00	062.00	0.450
0062.00	062.00	0.417
0079.00	062.00	0.383
0066.00	061.00	0.350
0058.00	060.00	0.317
0059.00	059.00	0.283
0080.00	059.00	0.250
0072.00	059.00	0.217
0059.00	059.00	0.183
0073.00	058.00	0.150
0058.00	058.00	0.117
0043.00	053.00	0.083
0081.00	043.00	0.050
0060.00	043.00	0.017

Valor medio = 64,8667

Desviacion tipica = 09,5629

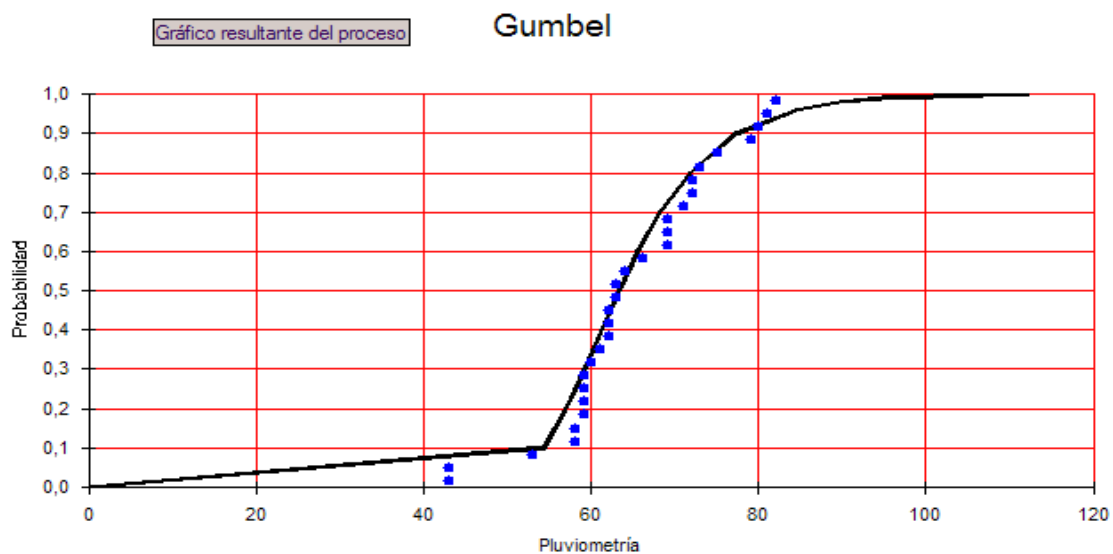
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 06,7832

#### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

#### Valores de la función de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	54,34
0,200	57,01
0,300	59,18
0,400	61,21
0,500	63,30
0,600	65,57
0,700	68,25
0,800	71,75
0,900	77,34
0,960	84,41
0,980	89,66
0,990	94,87
0,998	106,89
0,999	112,07



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5708.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0060.00	083.00	0.983
0043.00	081.00	0.950
0045.00	076.00	0.917
0071.00	073.00	0.883
0058.00	073.00	0.850
0076.00	071.00	0.817
0064.00	071.00	0.783
0058.00	071.00	0.750
0071.00	067.00	0.717
0063.00	066.00	0.683
0071.00	064.00	0.650
0046.00	063.00	0.617
0036.00	063.00	0.583
0045.00	062.00	0.550
0061.00	061.00	0.517
0067.00	061.00	0.483
0054.00	060.00	0.450
0063.00	060.00	0.417
0050.00	058.00	0.383
0073.00	058.00	0.350
0056.00	056.00	0.317
0046.00	054.00	0.283
0081.00	050.00	0.250
0048.00	048.00	0.217
0066.00	046.00	0.183
0073.00	046.00	0.150
0061.00	045.00	0.117
0062.00	045.00	0.083
0060.00	043.00	0.050
0083.00	036.00	0.017

Valor medio = 60,3667

Desviacion tipica = 11,6318

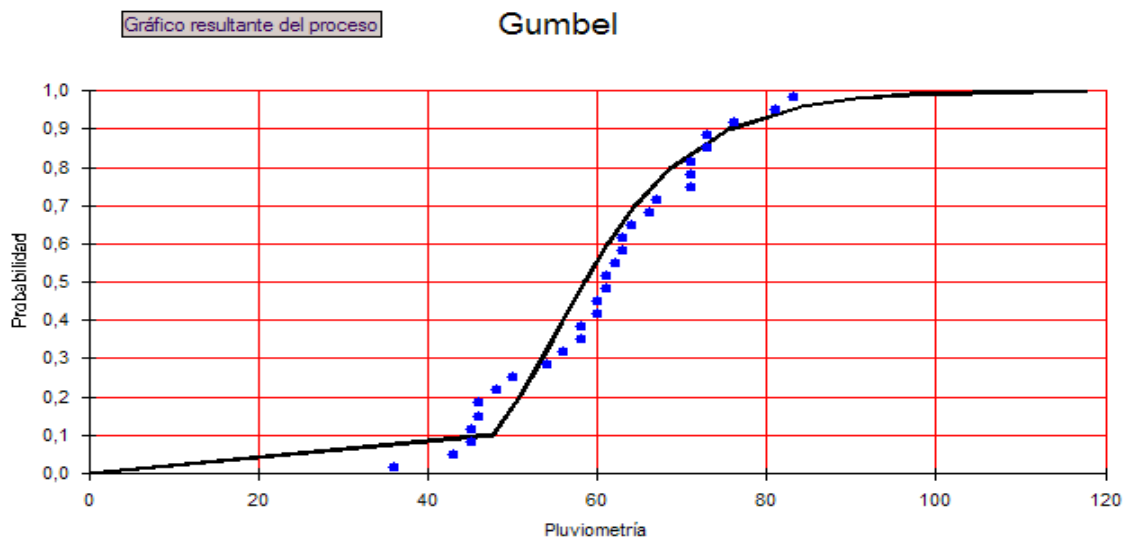
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 05,1898

**Periodos de retorno y probabilidades**

Periodo retorno 2 Probabilidad 0,5  
 Periodo retorno 25 Probabilidad 0,96  
 Periodo retorno 50 Probabilidad 0,98  
 Periodo retorno 100 Probabilidad 0,99  
 Periodo retorno 250 Probabilidad 0,996  
 Periodo retorno 500 Probabilidad 0,998  
 Periodo retorno 1000 Probabilidad 0,999

**Valores de la funcion de Gumbel**

Probabilidad	Pluviometria
0,100	47,57
0,200	50,82
0,300	53,45
0,400	55,92
0,500	58,46
0,600	61,22
0,700	64,48
0,800	68,74
0,900	75,54
0,960	84,14
0,980	90,52
0,990	96,86
0,998	111,48
0,999	117,78





**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.6035.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0108.00	134.00	0.983
0114.00	128.00	0.950
0099.00	120.00	0.917
0092.00	116.00	0.883
0077.00	116.00	0.850
0097.00	114.00	0.817
0096.00	114.00	0.783
0120.00	108.00	0.750
0134.00	108.00	0.717
0084.00	106.00	0.683
0072.00	106.00	0.650
0114.00	106.00	0.617
0091.00	106.00	0.583
0083.00	105.00	0.550
0102.00	104.00	0.517
0128.00	102.00	0.483
0104.00	099.00	0.450
0106.00	097.00	0.417
0106.00	096.00	0.383
0091.00	096.00	0.350
0090.00	092.00	0.317
0088.00	091.00	0.283
0096.00	091.00	0.250
0116.00	090.00	0.217
0116.00	088.00	0.183
0106.00	084.00	0.150
0063.00	083.00	0.117
0105.00	077.00	0.083
0108.00	072.00	0.050
0106.00	063.00	0.017

Valor medio = 100,4000

Desviacion tipica = 15,5940

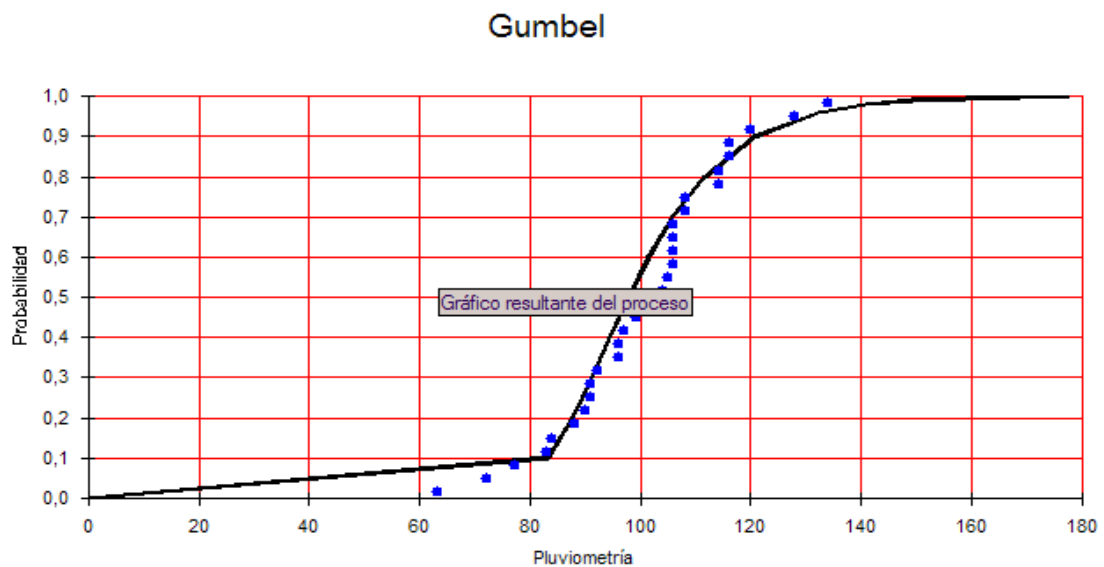
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 06,4384

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	83,24
0,200	87,60
0,300	91,13
0,400	94,44
0,500	97,84
0,600	101,55
0,700	105,92
0,800	111,62
0,900	120,74
0,960	132,27
0,980	140,82
0,990	149,33
0,998	168,93
0,999	177,37



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

**Estación: precip.6035.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC.csv**

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

**Datos observados y probabilidades**

-----		
0095.00	146.00	0.983
0062.00	133.00	0.950
0063.00	132.00	0.917
0075.00	115.00	0.883
0115.00	114.00	0.850
0089.00	103.00	0.817
0086.00	101.00	0.783
0058.00	101.00	0.750
0067.00	100.00	0.717
0093.00	098.00	0.683
0146.00	097.00	0.650
0083.00	095.00	0.617
0081.00	093.00	0.583
0082.00	089.00	0.550
0086.00	089.00	0.517
0079.00	086.00	0.483
0084.00	086.00	0.450
0101.00	084.00	0.417
0066.00	084.00	0.383
0114.00	083.00	0.350
0084.00	082.00	0.317
0059.00	081.00	0.283
0098.00	079.00	0.250
0100.00	075.00	0.217
0132.00	067.00	0.183
0089.00	066.00	0.150
0101.00	063.00	0.117
0097.00	062.00	0.083
0133.00	059.00	0.050
0103.00	058.00	0.017

Valor medio = 90,7000

Desviacion tipica = 21,4805

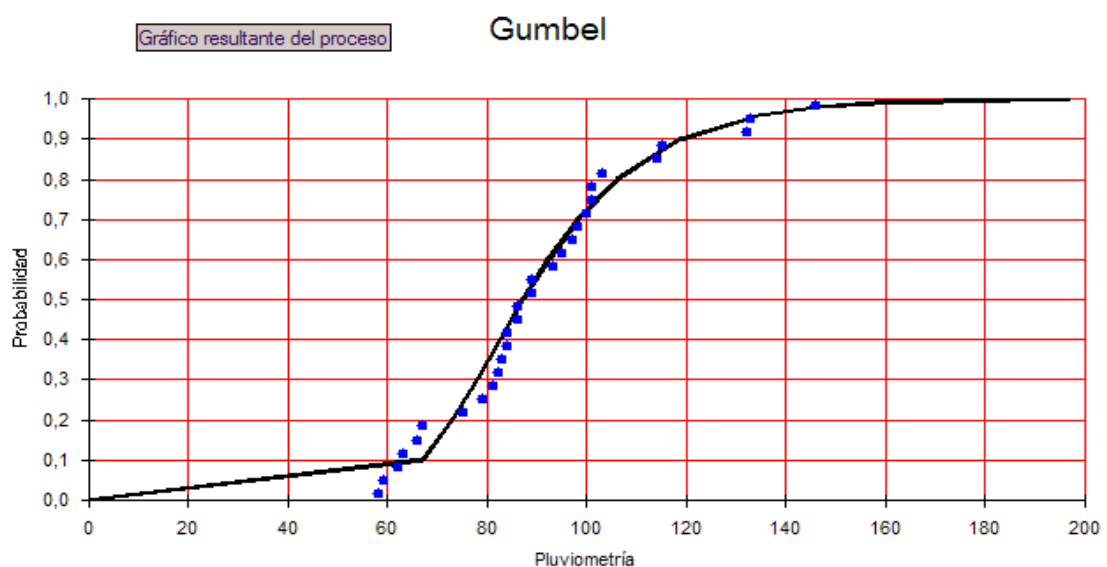
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 04,2224

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	67,06
0,200	73,06
0,300	77,92
0,400	82,50
0,500	87,17
0,600	92,28
0,700	98,30
0,800	106,15
0,900	118,72
0,960	134,60
0,980	146,38
0,990	158,10
0,998	185,10
0,999	196,73



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5001.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0072.00	108.00	0.983
0098.00	105.00	0.950
0086.00	105.00	0.917
0093.00	104.00	0.883
0050.00	103.00	0.850
0084.00	100.00	0.817
0088.00	099.00	0.783
0079.00	098.00	0.750
0104.00	093.00	0.717
0069.00	088.00	0.683
0085.00	088.00	0.650
0074.00	087.00	0.617
0105.00	087.00	0.583
0100.00	086.00	0.550
0085.00	085.00	0.517
0088.00	085.00	0.483
0087.00	084.00	0.450
0099.00	083.00	0.417
0105.00	080.00	0.383
0083.00	079.00	0.350
0073.00	079.00	0.317
0059.00	074.00	0.283
0103.00	073.00	0.250
0057.00	072.00	0.217
0108.00	069.00	0.183
0079.00	069.00	0.150
0056.00	059.00	0.117
0087.00	057.00	0.083
0069.00	056.00	0.050
0080.00	050.00	0.017

Valor medio = 83,5000

Desviacion tipica = 15,4935

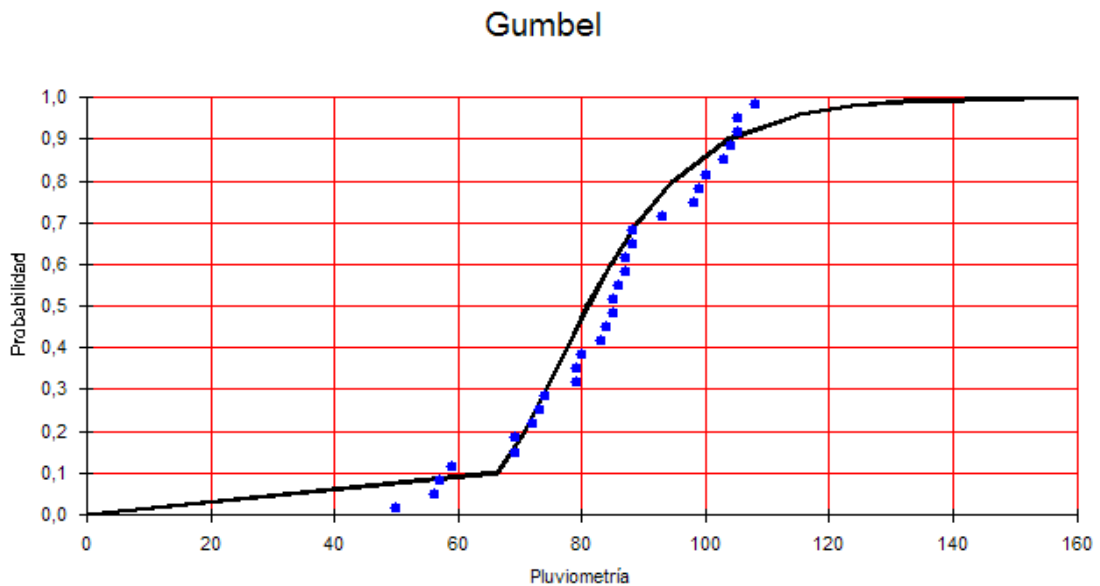
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 05,3893

**Periodos de retorno y probabilidades**

Periodo retorno 2 Probabilidad 0,5  
 Periodo retorno 25 Probabilidad 0,96  
 Periodo retorno 50 Probabilidad 0,98  
 Periodo retorno 100 Probabilidad 0,99  
 Periodo retorno 250 Probabilidad 0,996  
 Periodo retorno 500 Probabilidad 0,998  
 Periodo retorno 1000 Probabilidad 0,999

**Valores de la funcion de Gumbel**

Probabilidad	Pluviometria
0,100	66,45
0,200	70,78
0,300	74,28
0,400	77,58
0,500	80,95
0,600	84,64
0,700	88,98
0,800	94,65
0,900	103,71
0,960	115,17
0,980	123,66
0,990	132,11
0,998	151,59
0,999	159,97





**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.5001.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0102.00	106.00	0.983
0052.00	103.00	0.950
0049.00	103.00	0.917
0068.00	102.00	0.883
0093.00	100.00	0.850
0077.00	095.00	0.817
0062.00	093.00	0.783
0085.00	087.00	0.750
0055.00	087.00	0.717
0084.00	086.00	0.683
0106.00	085.00	0.650
0087.00	085.00	0.617
0087.00	084.00	0.583
0058.00	082.00	0.550
0062.00	081.00	0.517
0079.00	079.00	0.483
0076.00	077.00	0.450
0081.00	076.00	0.417
0082.00	074.00	0.383
0095.00	068.00	0.350
0049.00	062.00	0.317
0049.00	062.00	0.283
0062.00	062.00	0.250
0103.00	058.00	0.217
0086.00	055.00	0.183
0103.00	052.00	0.150
0085.00	051.00	0.117
0074.00	049.00	0.083
0100.00	049.00	0.050
0051.00	049.00	0.017

Valor medio = 76,7333

Desviacion tipica = 17,9739

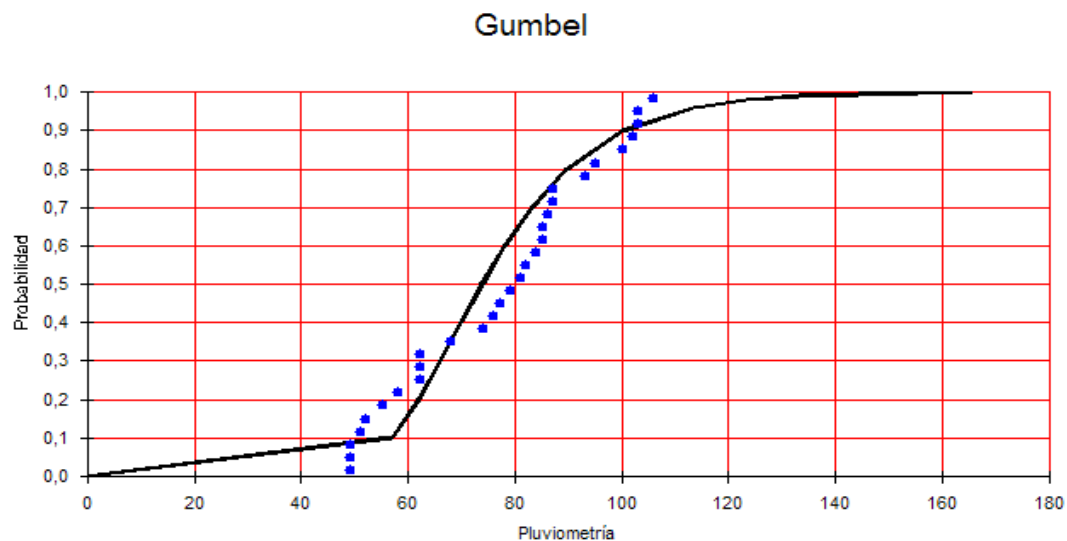
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 04,2691

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	56,96
0,200	61,98
0,300	66,04
0,400	69,87
0,500	73,78
0,600	78,06
0,700	83,09
0,800	89,66
0,900	100,18
0,960	113,47
0,980	123,33
0,990	133,13
0,998	155,72
0,999	165,45



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

Estación: precip.6339.ECHAM4.A2.1961-1990.FIC.csv

Número de años: 30

Primer año: 1961

**Datos observados y probabilidades**

Datos	Ordenados	Frecuencia Teorica
0057.00	102.00	0.983
0057.00	088.00	0.950
0047.00	085.00	0.917
0060.00	079.00	0.883
0061.00	074.00	0.850
0088.00	069.00	0.817
0043.00	062.00	0.783
0048.00	061.00	0.750
0085.00	060.00	0.717
0062.00	060.00	0.683
0060.00	059.00	0.650
0034.00	058.00	0.617
0045.00	057.00	0.583
0050.00	057.00	0.550
0020.00	050.00	0.517
0074.00	050.00	0.483
0050.00	048.00	0.450
0041.00	047.00	0.417
0046.00	047.00	0.383
0059.00	046.00	0.350
0058.00	046.00	0.317
0079.00	045.00	0.283
0018.00	045.00	0.250
0045.00	043.00	0.217
0046.00	041.00	0.183
0047.00	036.00	0.150
0033.00	034.00	0.117
0036.00	033.00	0.083
0069.00	020.00	0.050
0102.00	018.00	0.017

Valor medio = 54,0000

Desviacion tipica = 18,5095

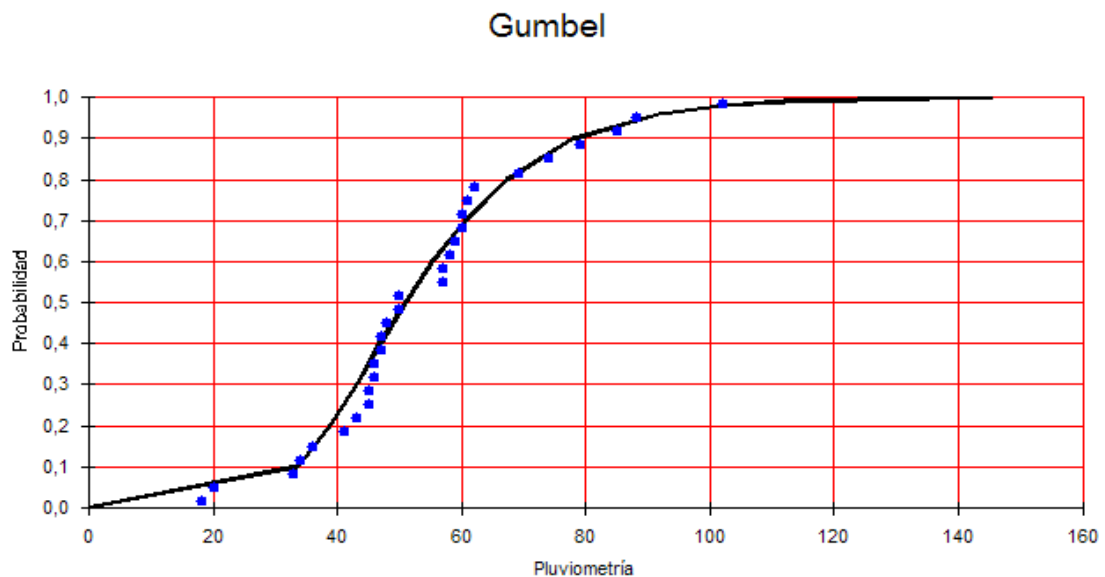
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 02,9174

### Periodos de retorno y probabilidades

Periodo retorno 2	Probabilidad 0,5
Periodo retorno 25	Probabilidad 0,96
Periodo retorno 50	Probabilidad 0,98
Periodo retorno 100	Probabilidad 0,99
Periodo retorno 250	Probabilidad 0,996
Periodo retorno 500	Probabilidad 0,998
Periodo retorno 1000	Probabilidad 0,999

### Valores de la funcion de Gumbel

Probabilidad	Pluviometria
0,100	33,63
0,200	38,80
0,300	42,99
0,400	46,93
0,500	50,96
0,600	55,36
0,700	60,55
0,800	67,32
0,900	78,15
0,960	91,83
0,980	101,98
0,990	112,08
0,998	135,34
0,999	145,36



**12** Anejo 3: Análisis Estadístico (Ajuste de Gumbel) de Máximas Precipitaciones Diarias 1961-1990 / 2011-2040

**Estación: precip.6339.ECHAM4.A2.2011-2040.FIC.csv**

Número de años: 30

Primer año: 2011

**Datos observados y probabilidades**

<b>Datos</b>	<b>Ordenados</b>	<b>Frecuencia Teorica</b>
0071.00	089.00	0.983
0072.00	077.00	0.950
0069.00	077.00	0.917
0077.00	072.00	0.883
0061.00	071.00	0.850
0048.00	069.00	0.817
0042.00	068.00	0.783
0062.00	062.00	0.750
0032.00	062.00	0.717
0052.00	061.00	0.683
0041.00	061.00	0.650
0068.00	059.00	0.617
0061.00	058.00	0.583
0051.00	057.00	0.550
0046.00	057.00	0.517
0077.00	052.00	0.483
0048.00	052.00	0.450
0052.00	051.00	0.417
0059.00	049.00	0.383
0062.00	048.00	0.350
0058.00	048.00	0.317
0089.00	047.00	0.283
0057.00	046.00	0.250
0040.00	045.00	0.217
0045.00	042.00	0.183
0039.00	041.00	0.150
0035.00	040.00	0.117
0057.00	039.00	0.083
0047.00	035.00	0.050
0049.00	032.00	0.017

Valor medio = 55,5667

Desviacion tipica = 13,4355

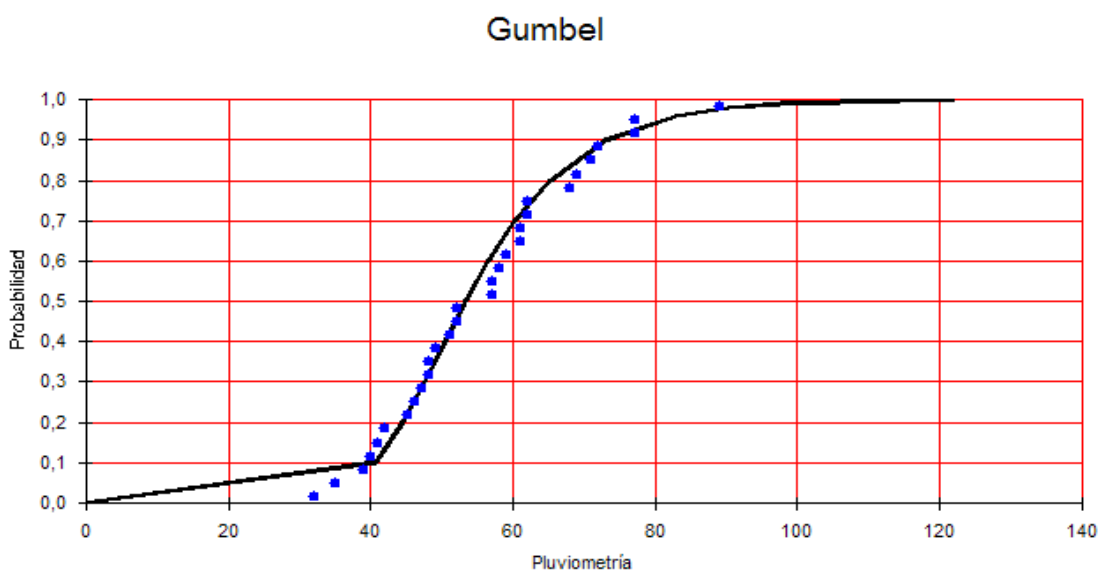
Coefficiente de variacion (valor medio/desviacion tipica) = 04,1358

**Periodos de retorno y probabilidades**

Periodo retorno 2 Probabilidad 0,5  
 Periodo retorno 25 Probabilidad 0,96  
 Periodo retorno 50 Probabilidad 0,98  
 Periodo retorno 100 Probabilidad 0,99  
 Periodo retorno 250 Probabilidad 0,996  
 Periodo retorno 500 Probabilidad 0,998  
 Periodo retorno 1000 Probabilidad 0,999

**Valores de la funcion de Gumbel**

Probabilidad	Pluviometria
0,100	40,78
0,200	44,53
0,300	47,58
0,400	50,44
0,500	53,36
0,600	56,56
0,700	60,32
0,800	65,23
0,900	73,09
0,960	83,03
0,980	90,40
0,990	97,72
0,998	114,61
0,999	121,88



### Conceptos básicos sobre escenarios de emisiones

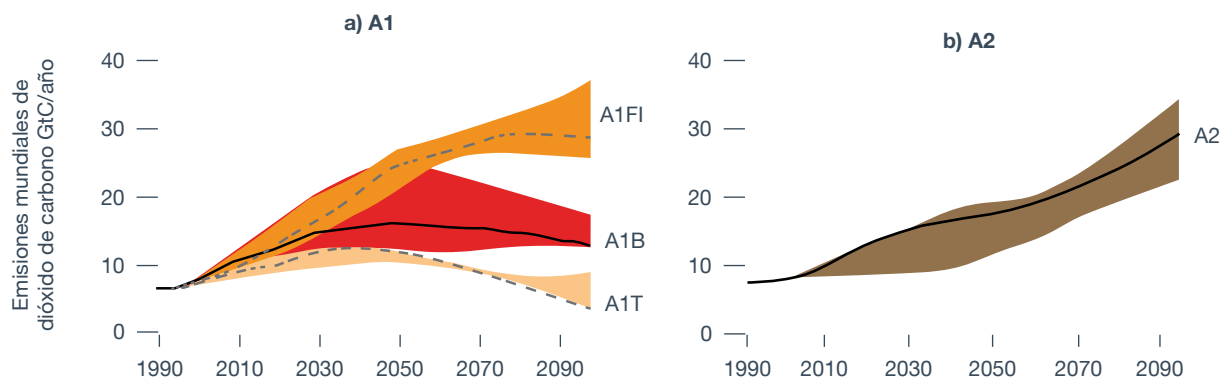
El proceso de cambio climático, supone una amenaza para la sociedad y los distintos sectores de actividad. Este hecho ha generado la necesidad de conocer los cambios de las diferentes variables climáticas para este próximo siglo, mediante modelizaciones regionales del clima.

Los escenarios de cambio climático son proyecciones del clima del futuro obtenidas a partir de los denominados Modelos de Circulación General (MCG's), que simulan flujos de energía, masa y movimiento en una retícula tridimensional que formaría la atmósfera, los océanos y las capas superiores de la litosfera y la criosfera. Estos flujos están influenciados por el forzamiento radiativo. Mediante cálculos y análisis complejos se realizan simulaciones a partir de las concentraciones históricas de gases de efecto invernadero.

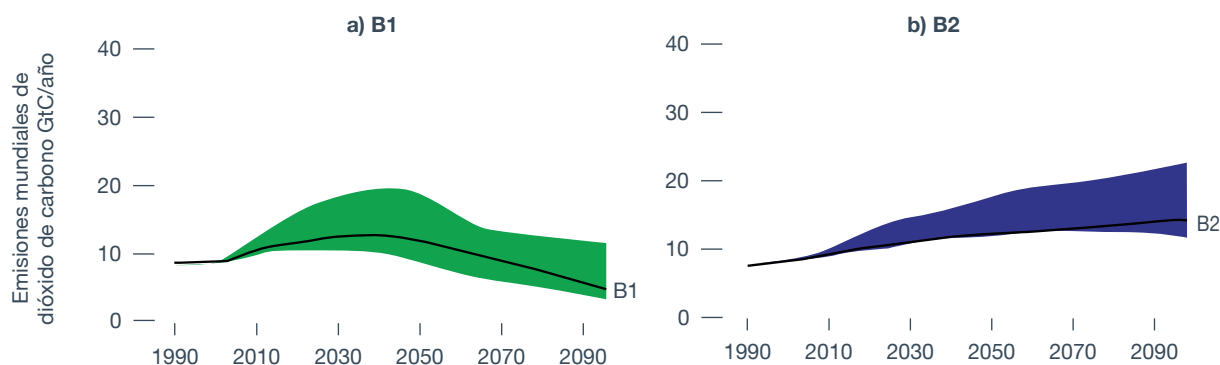
Se realizan entonces simulaciones del clima futuro para el siglo XXI en función de las proyecciones de las emisiones de GEI modelizadas, es decir, incluyendo los distintos escenarios de emisiones que se prevén según proyecciones realizadas en cuanto a evolución de las actividades humanas y el desarrollo económico. Estos escenarios de emisiones han sido propuestos a nivel internacional y aprobados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). De todos los escenarios existentes, para el análisis realizado en Andalucía se ha optado por elegir dos, que se sitúan en los extremos de las posibilidades que, con mayor probabilidad, pueden afectar a dicha región. Éstos son:

- **Escenario A2:** describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la auto-suficiencia y la conservación de las identidades locales. La población mundial se mantiene en continuo crecimiento. El crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios posibles.
- **Escenario B2:** contempla un mundo en el que predominan las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2. Aunque este escenario está orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra, principalmente, en los niveles local y regional.

**Figura 4.1.** Escenarios de emisiones del IPCC.







Fuente: IPCC (2007).

Sin embargo, los Modelos Globales del Clima ofrecen una serie de limitaciones que se podrían resumir básicamente en su escasa resolución espacial, y por tanto en su impedimento para mostrar las peculiaridades existentes a nivel regional desde el punto de vista climático y que no aparecen reflejadas en estos modelos globales.

Este hecho implica la necesidad de emplear las denominadas técnicas de “downscaling” que permiten “traducir” la información fiable que ofrecen los MCGs, para convertirla en la información requerida sobre efectos en superficie: temperatura y precipitación con una resolución espacial mayor.

La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ha elaborado distintos escenarios de cambio climático a escala regional, a partir de tres Modelos de Circulación Global, el CGCM2 (Canadá), HadAM3 (Gran Bretaña) (solo para el 2071-2100) y el ECHAM4 (Alemania) y según los dos escenarios de emisiones descritos: A2 y B2.

En el presente trabajo de Adaptación al Cambio Climático se ha optado por emplear dichos datos, correspondientes al MCG ECHAM4 y a los escenarios de emisiones A2 y B2. Los datos de los Modelos Regionales del Clima modelizados por la Consejería de Medio Ambiente disponen de datos sobre las variables precipitación, temperaturas máximas y temperaturas mínimas, con resultados individualizados para diversos observatorios meteorológicos del territorio andaluz.



Asimismo se han utilizado los datos climáticos para caracterizar el clima actual (periodo 1961-90) elaborados por la AEMET. La serie de valores climáticos 1961-90 se elabora para interpretar el clima actual y disponer de una línea de base de la cual partir.

## 14 Bibliografía

Andrey, J. y Mills, B. (2003). *Climate change and the Canadian transportation system: vulnerabilities and adaptations*, pp. 235-279. En: Andrey, J. and Knapper, C.K. (2003). *Weather and Transportation in Canada*. Department of Geography. University of Waterloo. Canada. 279 pp.

Brunet, M., Casado, M.J., de Castro, M., Galán, P., López, J.A., Martín, J.M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I. y Torres, L. (2009). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 158 pp. Accesible en: [www.aemet.es/documentos/es/elclima/cambio\\_climat/escenarios/Informe\\_Escenarios.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/elclima/cambio_climat/escenarios/Informe_Escenarios.pdf)

Comisión de las Comunidades Europeas (2001). *Libro Blanco del transporte; La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo. 135 pp.

Comisión de las Comunidades Europeas. (2006a). *Estrategia temática para el medio ambiente urbano*. COM (2005) 718 final. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. {SEC (2006) 16}. Bruselas. 14 pp. Accesible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0718:FIN:ES:HTML>

Comisión de las Comunidades Europeas. (2006b). *Revisión intermedia del Libro Blanco del Transporte de la Comisión Europea de 2001*. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. {SEC (2006) 768}. Bruselas. 34 pp. Accesible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0314:FIN:ES:PDF>

Comisión de las Comunidades Europeas. (2007). *Libro Verde sobre el transporte urbano: Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*. COM (2007) 551. Bruselas. 26 pp. Accesible en: [http://ec.europa.eu/transport/clean/green\\_paper\\_urban\\_transport/doc/2007\\_09\\_25\\_gp\\_urban\\_mobility\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/transport/clean/green_paper_urban_transport/doc/2007_09_25_gp_urban_mobility_es.pdf)

Consejería de Economía y Hacienda. Junta de Andalucía. (2005). *Anuario Estadístico de Andalucía 2005*. Instituto de Estadística de Andalucía. Accesible en: [www.ieca.junta-andalucia.es](http://www.ieca.junta-andalucia.es)

Consejería de Economía y Hacienda. Junta de Andalucía. (2008). *Coyuntura Económica de Andalucía. Nº 70*, marzo de 2008. Secretaría General de Economía. 151 pp. Accesible en: [http://juntadeandalucia.es/export/drupal/01822\\_numero70.pdf](http://juntadeandalucia.es/export/drupal/01822_numero70.pdf)

Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. (2002). *Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático*. Sevilla. Accesible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnnextoid=ef1cbc2b0ec34010VgnVCM1000000624e50aRCRD>

Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía (2007). *Plan Andaluz de Acción por el Clima: Programa de Mitigación (2007-2012)*. 148 pp. Accesible en: [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Estrategias\\_Ambientales/Planes/Planes\\_tematicos/plan\\_andaluz\\_accion\\_clima/plan\\_accion\\_clima\\_mitigacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estrategias_Ambientales/Planes/Planes_tematicos/plan_andaluz_accion_clima/plan_accion_clima_mitigacion.pdf)

Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (2010). *Plan Andaluz de Acción por el Clima: Programa de Adaptación*. 80 pp. Accesible en: [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Estrategias\\_Ambientales/Planes/Planes\\_tematicos/plan\\_andaluz\\_accion\\_clima/programa\\_adaptacion\\_100802.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estrategias_Ambientales/Planes/Planes_tematicos/plan_andaluz_accion_clima/programa_adaptacion_100802.pdf)

Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía (2000). *Plan Director de Infraestructuras de Andalucía (1997-2007)*. 263 pp.

Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía (2002). *Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces (2002-2015)*. Accesible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/agencia\\_andaluza\\_agua/gestion/gestion\\_agua\\_andalucia/planificacion/plan\\_prevencion\\_inundaciones/plan\\_avenidas.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/agencia_andaluza_agua/gestion/gestion_agua_andalucia/planificacion/plan_prevencion_inundaciones/plan_avenidas.pdf)

Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía (2008a). *Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía (2007-2013)*. 92 pp. Accesible en: [http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/transportes\\_infraestructuras/documentos/isa07\\_13.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/transportes_infraestructuras/documentos/isa07_13.pdf)

Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía (2008b). *Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía (2007-2013)*. 178 pp. Accesible en: [http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/transportes\\_infraestructuras/documentos/pista.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/transportes_infraestructuras/documentos/pista.pdf)

Consejería de Turismo, Comercio y Deporte. Junta de Andalucía. (2006a). *Mercados emisores de turismo hacia Andalucía: el mercado británico (2005)*. Accesible en: [http://www.turismoandaluz.com/estadisticas/pdf/origen\\_uk\\_2005.pdf](http://www.turismoandaluz.com/estadisticas/pdf/origen_uk_2005.pdf)

Consejería de Turismo, Comercio y Deporte. Junta de Andalucía. (2006b). *Mercados emisores de turismo hacia Andalucía: el mercado alemán (2005)*. Accesible en: [http://www.turismoydeportedeandalucia.com/estadisticas/pdf/origen\\_de\\_2005.pdf](http://www.turismoydeportedeandalucia.com/estadisticas/pdf/origen_de_2005.pdf)

De Justo Alpañés, J.L. (1997). *Problemática del terreno en las grandes obras públicas lineales en Andalucía. Influencia del clima* en Jornadas "El suelo y el clima en las grandes obras públicas lineales de Andalucía". Consejería de Obras Públicas y Transporte. Junta de Andalucía.

Elías Castillo, F. y Ruíz Beltrán, L. (1979). *Precipitaciones máximas en España. Estimaciones basadas en métodos estadísticos*. I.C.O.N.A. y Ministerio de Agricultura. Monografías nº 21. Madrid.

Ferrer Gijón, Mercedes (2007). *Atlas de riesgos naturales en la provincia de Granada*. Diputación de Granada e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 190 pp.

FIC - Fundación para la Investigación del Clima (2006). Informe de ejecución del primer hito del contrato "Generación de Escenarios de cambio Climático en Andalucía", Expdte. 539 / 2006 / I / 00. 25 pp. Accesible en: [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Sostenibilidad/Estrategia\\_andaluza\\_cambio\\_climatico/escenarios\\_de\\_cambio\\_climatico\\_regionalizados/informe\\_escenarios\\_2006.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Sostenibilidad/Estrategia_andaluza_cambio_climatico/escenarios_de_cambio_climatico_regionalizados/informe_escenarios_2006.pdf)

Garmendia García, J., Tavira Herrero, Á. y Rodríguez García, R. (1997). Ponencia “Test de incidencia del temporal de lluvias del invierno 96-97 en la red de carreteras de la Junta de Andalucía”. En Jornadas “El suelo y el clima en las grandes obras públicas lineales de Andalucía”. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía.

Hamilton, J.M. and Tol, R.S.J. (2006). *The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study*. FNU-115 (Submitted, Regional Environmental Change). 12 pp. Accesible en: <http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/RM2370.pdf>

IPCC (2001a). *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van der Linden P.J. y Xiaosu D. (eds.). Cambridge University Press. 994 pp.

IPCC (2001b). *Tercer Informe de Evaluación. II Grupo de Trabajo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC): Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad*. Accesible en: [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/)

IPCC (2007). *Cuarto Informe de Evaluación. II Grupo de Trabajo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC): Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad*. Accesible en: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg2\\_report\\_impacts\\_adaptation\\_and\\_vulnerability.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg2_report_impacts_adaptation_and_vulnerability.htm)

Macho Jiménez, A. (1997). *Reconocimientos y estudios geológico-geotécnicos para obras de infraestructuras lineales en Jornadas “El suelo y el clima en las grandes obras públicas lineales de Andalucía”*. Consejería de Obras Públicas y Transporte. Junta de Andalucía.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2005). *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT)*. Madrid. Accesible en: [http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/\\_ESPECIALES/PEIT/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/_ESPECIALES/PEIT/)

Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Gobierno de España. (2009). *Estrategia Española de Movilidad Sostenible*. Madrid. 48 pp. Accesible en: <http://www.fomento.gob.es/NR/ronlyres/149186f7-0edb-4991-93dd-cfb76dd85cd1/46435/EstrategiaMovilidadSostenible.pdf>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Secretaría de Estado de Energía. (2009). *La Coyuntura Energética en el primer trimestre de 2009*. Boletín trimestral de coyuntura energética número 57.

Ministerio de Medio Ambiente. (2004). *Fase III Estrategia frente al Cambio Climático en la Costa. Impactos en la Costa Española por Efectos del Cambio Climático*. Oficina Española para el Cambio Climático. 132 pp. Accesible en: [http://www.marm.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/fase3\\_costas\\_tcm7-12443.pdf](http://www.marm.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/fase3_costas_tcm7-12443.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (ECCE)*. Universidad de Castilla-La Mancha. Oficina Española de Cambio Climático. *Informe final*. 846 pp. Accesible en: [www.mma.es/secciones/cambio\\_climatico/areas\\_tematicas/impactos\\_cc/pdf/evaluacion\\_preliminar\\_impactos\\_completo\\_2.pdf](http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pdf/evaluacion_preliminar_impactos_completo_2.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente. (2007a). *Borrador de la Estrategia de Medio Ambiente Urbana*. Fase Borrador. Madrid. 48 pp. Accesible en: [http://www.mma.es/secciones/participacion\\_publica/calidad\\_contaminacion/pdf/estrategia\\_espaniola\\_med\\_amb\\_urbano\\_borrador.pdf](http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/calidad_contaminacion/pdf/estrategia_espaniola_med_amb_urbano_borrador.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente. (2007b). *Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*. Ed. Ministerio de la Presidencia. Madrid. 125 pp. Accesible en: [http://www.mma.es/secciones/el\\_ministerio/pdf/EEDSnov07\\_editdic.pdf](http://www.mma.es/secciones/el_ministerio/pdf/EEDSnov07_editdic.pdf)

Moreira Madueño, J.M. (2008). *El Cambio Climático en Andalucía. Escenarios actuales y futuros del clima*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. MA Revista de Medio Ambiente 59, pp. 35-41, primavera 2008. Accesible en: [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Publicaciones\\_Divulgacion\\_Y\\_Noticias/Publicaciones\\_Periodicas/revista\\_medio\\_ambiente/revista\\_ma\\_59/clima.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Publicaciones_Periodicas/revista_medio_ambiente/revista_ma_59/clima.pdf)

National Research Council of the National Academies, (2008). *Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation*. Transportation Research Board Special Report 290. Washington. 298 pp.

Peña Llopis, J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio*. Editorial Club Universitario. Alicante. España. 310 pp.

Ribalaygua, J. Del Carre, M. y Torres, L. (2008). *Generación de Escenarios Climáticos Regionalizados en España mediante una Metodología Estadística de Análogos en dos Pasos*. Ponencia en las XXX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española, Zaragoza, 5 al 7 de mayo. Fundación para la Investigación del Clima. 7 pp. Accesible en: [www.ame-web.org/images/stories/Congresos/30-Zaragoza-2008/1A\\_Ribalaygua.pdf](http://www.ame-web.org/images/stories/Congresos/30-Zaragoza-2008/1A_Ribalaygua.pdf)

Ribeiro, M., Losenno, C., Dworak, T., Massey, E., Swart, R., Benzie, M., Laaser, C. (2009). *Design of guidelines for the elaboration of Regional Climate Change Adaptations Strategies*. Study for European Commission – DG Environment - Tender DG ENV. G.1/ETU/2008/0093r. Ecologic Institute, Vienna.

Schröter, D., Metzger, M.J., Cramer, W. y Leemans, R. (2004). *Vulnerability Assessment Analysing the human-environment system in the face of global environmental change*. Department of Global Change & Natural Systems. Potsdam Institute for Climate Impact Research. Germany. 7 pp.

UKCIP. (2002). *London's warming; The Impacts of Climate Change on London*. Summary report. 13 pp. Accesible en: [http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/London\\_summary.pdf](http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/London_summary.pdf)

#### **Webs consultadas:**

Ministerio de Fomento. Gobierno de España.  
[http://www.fomento.es/mfom/lang\\_castellano/](http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/)

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).  
<http://www.aemet.es/es/portada>

RENFE.

<http://www.renfe.com/>

Instituto Nacional de Estadística (INE).

<http://www.ine.es/>

Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía (IDEA). Consejería de Economía, Innovación y Ciencia.

<http://www.agenciaidea.es/cocoon/index.html>

Instituto de Estudios Turísticos (IET). Ministerio de Industria, Comercio y Deporte.

<http://www.iet.tourspain.es/paginas/home.aspx?idioma=es-ES>

Puertos del Estado.

<http://www.puertos.es>