



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

Secretaría de Estado de Cambio Climático

Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental

ENCOMIENDA DE GESTIÓN DE TRABAJOS DE ASISTENCIA TÉCNICA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MATERIAS COMPETENCIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL (2009-2013)

Actuación nº4

**Asistencia técnica, investigación y desarrollo en materia de
evaluación ambiental estratégica (EAE)**

**LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN
AMBIENTAL DE PLANES Y PROGRAMAS – APLICACIÓN AL CASO DE
PLANES Y PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE**

Madrid, febrero de 2012

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas

ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN DEL INFORME	1
2. LA INTEGRACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EAE DE PLANES Y PROGRAMAS	3
2.1. EL PROCESO DE EAE DE ACUERDO CON LA DIRECTIVA 2001/42/EC.....	3
2.2. EL PROCESO DE EAE SEGÚN LA LEY 9/2006	4
2.3. SECUENCIA DE INCORPORACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EAE	6
3. EVALUACIÓN PRELIMINAR (SCREENING).....	9
4. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS Y EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE CADA UNA DE ELLAS (SCOPING).....	11
4.1. ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS ESTRATÉGICOS Y PRINCIPIOS APLICABLES	11
4.2. DESARROLLO DE INDICADORES	19
5. LA CONSIDERACIÓN DE LA MITIGACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL ISA	27
5.1. INCORPORACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ACV EN LA EVALUACIÓN DE PLANES Y PROGRAMAS.....	29
5.2. HERRAMIENTAS PARA EL CÁLCULO PROSPECTIVO DE LAS EMISIONES DURANTE LA FASE DE EXPLOTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE	33
5.3. ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ DEL TRANSPORTE	47
6. LA CONSIDERACIÓN DE LA ADAPTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL ISA.....	62
6.1. LAS PREVISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA	62
6.2. LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LAS INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE.....	77
6.3. LOS RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LAS INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA.....	83
6.4. POSIBLES ACTUACIONES PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN ESPAÑA.....	87
7. SEGUIMIENTO DE AFECCIONES	96
8. REFERENCIAS	98



LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PLANES Y PROGRAMAS:
APLICACIÓN AL CASO DE PLANES Y PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

CEDEX

1. PRESENTACIÓN DEL INFORME

La lucha contra el cambio climático tiene dos dimensiones: la mitigación, que actúa sobre las causas del calentamiento global, y la adaptación, que trata de prevenir y luchar contra sus posibles efectos. Tanto mitigación como adaptación debieran ser consideradas durante la elaboración de planes y programas de infraestructuras de transporte, dado que, por una parte, este sector contribuye de forma significativa al calentamiento global a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que genera y, por otra parte, las infraestructuras y servicios de transporte se ven afectados por los efectos que el cambio climático puede ocasionar.

Este documento tiene por objeto ofrecer algunas pautas y elementos de ayuda para lograr una integración efectiva de la mitigación y la adaptación al cambio climático en la elaboración de planes y programas dirigidos a la construcción, mantenimiento y/u operación de las infraestructuras de transporte, por medio de su consideración en el proceso de evaluación ambiental estratégica (EAE) de dichos planes y programas.

A tal fin, se toma como hilo conductor el proceso de EAE regulado por la *Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente*, que traspone al marco jurídico español la *Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente*. Así, en el capítulo 2 de este documento se hace una revisión de los principales requisitos que la Ley 9/2006 establece para el proceso de EAE en España y se identifica en qué etapas del mismo – entendido no estrictamente como requisito legal, sino como instrumento de sistematización del proceso de EAE - tendría cabida la consideración del cambio climático, ya sea desde el ámbito de responsabilidad del órgano ambiental o del órgano promotor.

A partir de la revisión efectuada en el capítulo 2 se concluye que son cuatro los principales “puntos de entrada” para la consideración del cambio climático en un proceso de EAE de planes y programas de infraestructuras de transporte:

- En la determinación preliminar, por parte del órgano ambiental, de si la consideración del cambio climático es significativa o no (*fase de screening*).
- Cuando el órgano ambiental tenga que determinar la amplitud, nivel de detalle y el grado de especificación del informe de sostenibilidad ambiental, y comunicar al órgano promotor los criterios ambientales estratégicos e indicadores de los objetivos ambientales y principios de sostenibilidad aplicables (*fase de scoping*).
- A lo largo del proceso de evaluación ambiental, en particular durante la elaboración del informe de sostenibilidad ambiental por parte del órgano promotor.
- A lo largo del seguimiento a realizar de los efectos de la aplicación o ejecución del plan o programa, a realizar por el órgano promotor, con participación del órgano ambiental.

A través del resto del documento se trata de proporcionar al órgano ambiental y al órgano promotor (según el caso), diversas informaciones y referencias que puedan resultarles de utilidad en el momento de abordar cada una de las fases indicadas anteriormente.



El capítulo 3 se centra en la fase de *screening*, en tanto que el capítulo 4 proporciona algunos elementos útiles para el *scoping* mediante un inventario de objetivos y compromisos en materia de reducción de las emisiones de GEI y de adaptación al cambio climático en España, y algunas reflexiones sobre el empleo de indicadores para el establecimiento de objetivos.

El capítulo 5, por su parte, revisa qué herramientas tiene a su alcance el redactor de un plan o programa de infraestructuras de transporte para evaluar las emisiones debidas a la implantación de las diversas alternativas consideradas, y proporciona una recopilación de estrategias de movilidad a considerar para reducir los efectos de un plan de transporte sobre el cambio climático.

Paralelamente, el capítulo 6 pone a disposición del redactor del plan o programa de transporte un marco metodológico y algunas consideraciones que le faciliten la identificación de los principales impactos asociados al cambio climático que afectarán al mismo, así como diversas recomendaciones y posibles medidas a tomar en cuenta en la elaboración de estrategias de adaptación.

Finalmente, el capítulo 7 introduce algunas reflexiones finales en relación con el seguimiento de los efectos de la aplicación de los planes y programas.

2. LA INTEGRACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EAE DE PLANES Y PROGRAMAS

2.1. EL PROCESO DE EAE DE ACUERDO CON LA DIRECTIVA 2001/42/EC

La evaluación ambiental estratégica (EAE) se regula en los países de la UE a través de la Directiva 2001/42/EC, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. Los objetivos que tiene esta Directiva son: (i) asegurar un alto nivel de protección del medio ambiente, (ii) contribuir a la integración de las consideraciones medioambientales en la elaboración y preparación de los planes y programas, y (iii) promover un desarrollo sostenible mediante una evaluación medioambiental de planes y programas que puedan tener efectos significativos en el medio ambiente.

La EAE debe realizarse durante la elaboración del plan o programa, y antes de su adopción. Los planes o programas cubiertos por la Directiva deben ser elaborados y/o adoptados por una autoridad a nivel nacional, regional o local, y ser exigidos por disposiciones legislativas, reglamentarias o administrativas. El ámbito de la evaluación ambiental requerida por la Directiva afecta a aquellos planes o programas que se elaboren con respecto a la agricultura, la silvicultura, la pesca, la energía, la industria, el transporte, la gestión de residuos, la gestión de recursos hídricos, las telecomunicaciones, el turismo, la ordenación del territorio urbano y rural o la utilización del suelo y que establezcan el marco para la autorización en el futuro de proyectos enumerados en los anexos I y II de la Directiva 85/337/CEE, o bien aquellos que, atendiendo al efecto probable en algunas zonas, se haya establecido que requieren una evaluación conforme a lo dispuesto en los artículos 6 ó 7 de la Directiva 92/43/CEE.

Para evitar una duplicación de las evaluaciones ambientales, la Directiva 2001/42/EC prevé, en determinados casos, limitaciones al proceso de evaluación requerido. Es el caso de los planes y programas que forman parte de una jerarquía, o de la utilización de procedimientos coordinados en aquellos planes y programas que son objeto de evaluación por exigencia de otra normativa (e.g. Directiva Marco del Agua, Directiva Hábitat, Directiva Ruido).

La aplicación de los principios que inspiran a la Directiva 2001/42/EC a los planes y programas de infraestructuras de transporte representa una oportunidad clave para la estrategia climática en España. Conviene tener presente que en España el transporte es uno de los sectores con mayores consumos de energía. En este país, la generación de energía constituyó, en el año 2009, el 85% del consumo de energía primaria, en la que se incluye la energía destinada al transporte, que representó el 27,1% de la misma (este porcentaje proviene en gran parte de la energía utilizada en refinerías y otras transformaciones energéticas). Por otro lado, el transporte representa, junto con la generación de energía, cerca de la mitad de las emisiones de CO₂eq generadas en España (con el 23,8 y el 22,43% respectivamente¹).

¹ Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.



CEDEX

Las previsiones existentes en el sector del transporte a nivel mundial nos remiten a un fuerte incremento de las emisiones del transporte, sobre todo el transporte por carretera y del tráfico aéreo. En la UE-27 la movilidad está aumentando como consecuencia de la globalización y de la ampliación europea hacia el Este, lo que lleva a previsiones de futuro de un 35% de incremento en el tráfico de pasajeros en el período 2005-2020 y de un 55% en el transporte de mercancías por carretera. Se estima que, entre 1995-2030, el incremento de emisiones debido al transporte de viajeros habrá aumentado un 26% y en el transporte de mercancías un 80%.

2.2. EL PROCESO DE EAE SEGÚN LA LEY 9/2006

La Directiva 2001/42/EC ha sido traspuesta al ordenamiento normativo español a través de la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

El objeto de esta Ley, según señala su propio texto, es:

- *“promover un desarrollo sostenible,*
- *conseguir un elevado nivel de protección del medio ambiente, y*
- *contribuir a la integración de los aspectos ambientales en la preparación y adopción de planes y programas,*

mediante la realización de una evaluación ambiental de aquellos planes y programas que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente”. De acuerdo con el punto de vista de una mayoría de científicos, en la actualidad parece imposible concebir un desarrollo sostenible sin actuar sobre las causas del calentamiento global, descartando el cambio climático como uno más de los aspectos ambientales a considerar. Es por ello que, aunque la consideración del cambio climático no se menciona explícitamente en el texto de la Ley (o de la Directiva), numerosos especialistas lo consideran implícitamente incluido dentro del ámbito de la misma.

A efectos de la Ley 9/2006, estarán sujetos a evaluación ambiental únicamente los planes y programas, así como sus modificaciones, que cumplan a la vez las tres condiciones siguientes:

- puedan tener *“efectos significativos sobre el medio ambiente”*, y
- se elaboren o aprueben por una administración pública, y
- su elaboración y aprobación venga exigida por una disposición legal o reglamentaria o por acuerdo del Consejo de Ministros o del Consejo de Gobierno de una comunidad autónoma.

Se entiende que tienen *“efectos significativos sobre el medio ambiente”* aquellos planes y programas que satisfagan alguna de las condiciones siguientes:

- i) que establezcan el marco para la futura autorización de proyectos legalmente sometidos a evaluación de impacto ambiental en materia de agricultura, ganadería, silvicultura, acuicultura, pesca, energía, minería, industria, transporte, gestión de residuos, gestión de recursos hídricos, ocupación del dominio público marítimo terrestre, telecomunicaciones, turismo, ordenación del territorio urbano y rural, o del uso del suelo, o
- ii) que requieran una evaluación conforme a la normativa reguladora de la Red Ecológica Europea Natura 2000, o
- iii) los que determine el órgano ambiental.

De acuerdo con la Ley, por tanto, estrictamente, no todos los planes y programas de infraestructuras de transporte con “efectos significativos sobre el medio ambiente” están sujetos a la EAE. Pero la Ley sí abre una primera “ventana” a la consideración del cambio climático en determinados planes y programas, al dejar en manos del órgano ambiental (el MARM en el caso de planes y programas promovidos por la Administración General del Estado y sus organismos públicos) la determinación preliminar de si éstos tienen o no “efectos significativos”, más allá de que satisfagan las condiciones i) o ii). Para los planes y programas de infraestructuras de transporte excluidos del ámbito de la Ley, el proceso de EAE que ésta regula proporciona en cualquier caso una oportunidad y un marco metodológico idóneos para incorporar de forma sistemática la variable cambio climático en los mismos, cuando su consideración pueda ser significativa.

La Ley 9/2006 recoge, con cierto nivel de detalle, las actuaciones que conforman el proceso de evaluación ambiental estratégica:

- La elaboración de un informe de sostenibilidad ambiental (ISA).
- La celebración de consultas.
- La elaboración de la memoria ambiental.
- La consideración del informe de sostenibilidad ambiental, del resultado de las consultas y de la memoria ambiental en la toma de decisiones.
- La publicidad de la información sobre la aprobación del plan o programa.

En relación con el ISA, el órgano ambiental ha de:

- Determinar la amplitud, nivel de detalle y el grado de especificación del mismo, tras identificar y consultar a las Administraciones públicas afectadas y al público interesado, y
- comunicar al órgano promotor los criterios ambientales estratégicos e indicadores de los objetivos ambientales y principios de sostenibilidad aplicables.

Se abre con ello un segundo “punto de entrada” para la consideración del cambio climático en el proceso de EAE, asociado - como en el caso anterior - con el papel que debe desempeñar el órgano ambiental.

En el ISA, el órgano promotor deberá identificar, describir y evaluar los probables efectos significativos sobre el medio ambiente que puedan derivarse de la aplicación del plan o programa, así como unas alternativas razonables, técnica y ambientalmente viables, incluida entre otras la alternativa cero, que tengan en cuenta los objetivos y el ámbito territorial de aplicación del plan o programa. Entre los probables efectos (comprendidos los efectos secundarios, acumulativos, sinérgicos, a corto, medio y largo plazo, permanentes o temporales, positivos y negativos) significativos en el medio ambiente, el promotor debe incluir “aspectos como la biodiversidad, la población, la salud humana, la fauna, la flora, la tierra, el agua, el aire, los factores climáticos, los bienes materiales, el patrimonio cultural, incluido el patrimonio arquitectónico, el paisaje y la interrelación entre estos factores”. De nuevo es posible entender que – aunque el cambio climático no se cita explícitamente – tanto la vertiente de la mitigación como la de la adaptación quedan sobreentendidas al citar el texto de la Ley a “los factores climáticos” y a “la interrelación entre estos factores”. Así, la etapa de elaboración del ISA se erige en la tercera “ventana” dentro del proceso de EAE para integrar de forma natural el cambio climático en la redacción de planes y programas de infraestructuras de transporte, en esta ocasión bajo la responsabilidad del órgano promotor.

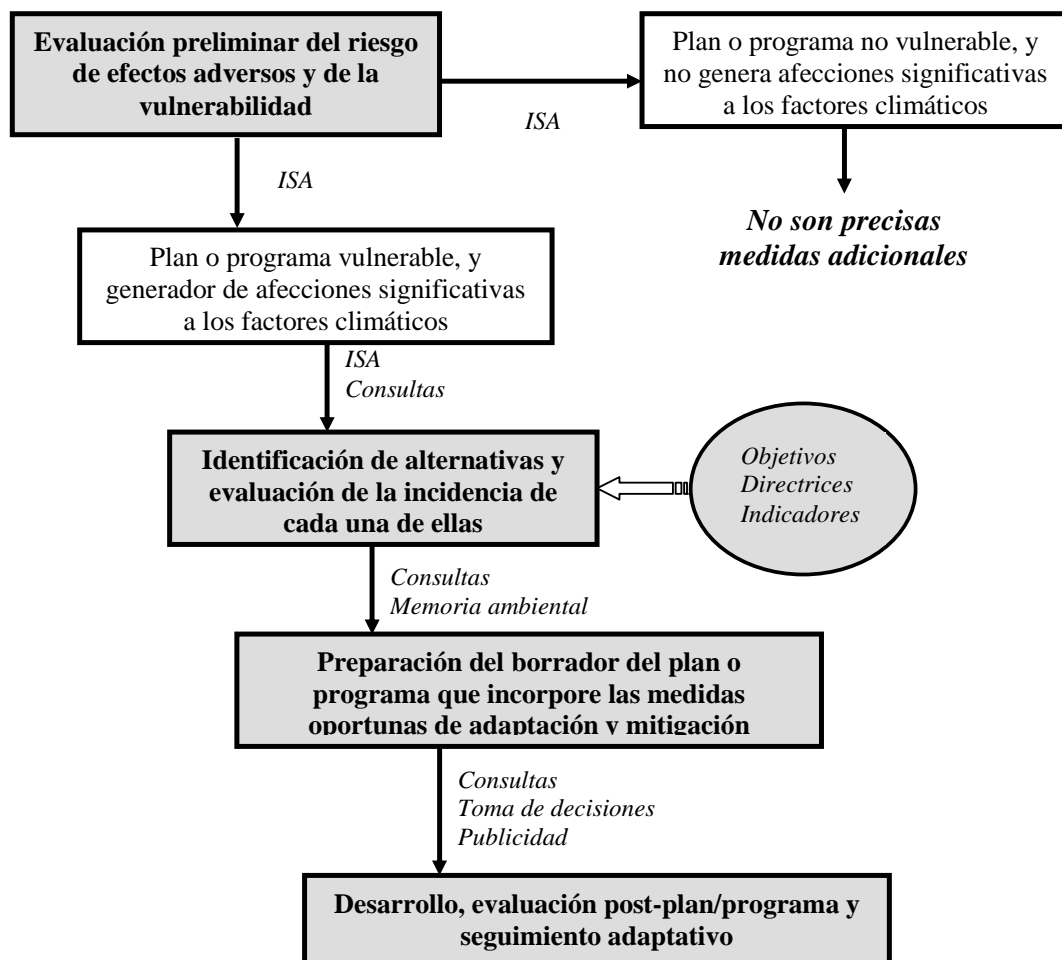


CEDEX

Por último, de acuerdo con la Ley 9/2006 los “*órganos promotores deberán realizar un seguimiento de los efectos en el medio ambiente de la aplicación o ejecución de los planes y programas*”, en el que el órgano ambiental participará. Esta etapa de seguimiento constituye un último “punto de entrada” para la consideración del cambio climático en el proceso de EAE, que permite identificar los efectos adversos no previstos del plan o programa sobre el cambio climático y viceversa, y llevar a cabo las medidas de mitigación y adaptación adecuadas para evitarlos.

2.3. SECUENCIA DE INCORPORACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EAE

A partir de la revisión efectuada en el apartado anterior, se observa la posibilidad de incorporar los factores climáticos al proceso de EAE de planes y programas de infraestructuras de transporte en todas y cada una de las etapas resaltadas en color del gráfico siguiente, que sintetiza dicho proceso de EAE:



En concreto, los principales “puntos de entrada” para la consideración del cambio climático en el proceso de EAE son los siguientes:

- En la determinación preliminar, por parte del órgano ambiental, de si la consideración del cambio climático es significativa o no (fase de *screening*).
- Cuando el órgano ambiental tiene que determinar la amplitud, nivel de detalle y el grado de especificación del Informe de sostenibilidad ambiental, y comunicar al órgano promotor los criterios ambientales estratégicos e indicadores de los objetivos ambientales y principios de sostenibilidad aplicables (fase de *scoping*).
- A lo largo del proceso de evaluación ambiental, en particular durante la elaboración del ISA por parte del órgano promotor.
- A lo largo del seguimiento a realizar de los efectos de la aplicación o ejecución del plan o programa, a realizar por el órgano promotor, con participación del órgano ambiental.



LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PLANES Y PROGRAMAS:
APLICACIÓN AL CASO DE PLANES Y PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

CEDEX

3. EVALUACIÓN PRELIMINAR (SCREENING)

Tal como se ha hecho notar en el capítulo anterior, antes de elaborar el ISA es conveniente realizar un análisis preliminar que permita identificar si existen riesgos para el cambio climático derivados de la aplicación del plan o programa. A priori, por la propia naturaleza de los planes y programas de infraestructuras de transporte, parece previsible que el resultado de dicho análisis preliminar resultará positivo en la mayor parte de casos.

Esta primera aproximación debería permitir una primera evaluación de los riesgos derivados de la aplicación del plan o programa sobre el cambio climático, y derivados del cambio climático sobre el plan o programa. Si fuera clara la ausencia de riesgo, no sería preciso realizar mayores esfuerzos de integración de la variable climática en la evaluación. De no ser así, sería necesario avanzar en la evaluación de los impactos climáticos y de las medidas de mitigación y adaptación necesarias, con el fin de minimizar la afección final del plan o programa sobre el cambio climático, y viceversa. El órgano ambiental podría solicitar al órgano promotor que elaborara esta evaluación preliminar, que el órgano promotor podría incorporar posteriormente en el ISA que éste debe desarrollar al comienzo de la evaluación ambiental.

El mecanismo de esta evaluación preliminar de los riesgos del desarrollo del plan o programa sobre el cambio climático y viceversa, y de la manera en que el cambio climático ha sido tenido en cuenta en las etapas iniciales del plan o programa, podría estar basado en una lista de revisión que, a falta de datos cuantitativos, permitiera estimar el grado de interacción entre plan/programa y evolución climática.

La lista de revisión debería centrarse sobretudo en los efectos adversos asociados a la etapa de explotación de las infraestructuras incluidas en el plan o programa (más allá del horizonte temporal que tenga el mismo), puesto que la mayoría de las emisiones de GEI (a consecuencia básicamente del tráfico que soportan) y efectos adversos del cambio climático se producen en esta fase. No hay que descartar, no obstante, la revisión de los efectos de las emisiones durante la fase de construcción de las infraestructuras.

El orden de magnitud de los efectos asociados a la emisión de GEI podría estimarse a partir de algunos ratios medios de emisiones que una revisión del estado del arte pueda proporcionar. A través de la lista de revisión sería conveniente además identificar cuáles son las diferentes alternativas que, desde la etapa inicial de definición del plan o programa, se están considerando con objeto de disminuir los efectos adversos sobre el cambio climático.

Desde un punto de vista de la adaptación, convendría exigir, en paralelo, la consideración de escenarios climáticos y la realización de un análisis – también preliminar – sobre su incidencia en los objetivos del plan o programa, atendiendo a cuestiones como:

- el grado en el que el plan o programa podría ser vulnerable a los riesgos derivados del cambio y de la variabilidad climática;
- la consideración que se ha dado a los riesgos asociados al cambio climático en la formulación del plan o programa;



- la medida en que el plan o programa inducirá un incremento de la vulnerabilidad derivada del cambio climático;
- en el caso de planes o programas que estén siendo revisados, las mejoras que pueden ser incorporadas, para considerar adecuadamente los riesgos y oportunidades derivadas de diferentes escenarios climáticos.

4. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS Y EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE CADA UNA DE ELLAS (SCOPING)

Dentro del proceso de EAE, el órgano ambiental debe determinar la amplitud, nivel de detalle y el grado de especificación del ISA, tras haber consultado a las Administraciones públicas afectadas y al público interesado. Además, el órgano ambiental ha de comunicar al órgano promotor los criterios ambientales estratégicos e indicadores de los objetivos ambientales y principios de sostenibilidad aplicables.

Este capítulo tiene como primer objetivo proporcionar al órgano ambiental, a modo de referencia, un compendio de objetivos, criterios y principios en materia de reducción de emisiones de GEI y de adaptación al cambio climático que ya están presentes a través de diversidad de políticas, planes e iniciativas legislativas en España.

El capítulo proporciona además algunas consideraciones para facilitar también al órgano ambiental la definición de indicadores de los objetivos a alcanzar en planes y programas de infraestructuras de transporte en relación con el cambio climático.

4.1. ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS ESTRATÉGICOS Y PRINCIPIOS APLICABLES

4.1.1. El marco de referencia comunitario

Los objetivos, criterios y principios enunciados en las políticas, planes y leyes adoptadas por el Estado español y que inciden sobre el binomio cambio climático y transporte, derivan a menudo de aquéllos adquiridos en el marco de la UE. Ello es especialmente cierto en el ámbito de la afección de las emisiones del transporte al cambio climático.

De acuerdo con la Decisión 406/2009/CE², y en la hipótesis de que el reparto del esfuerzo de reducción entre todos los sectores difusos (no afectados por el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión) se realice en igual proporción, corresponde al sector del transporte reducir las emisiones de GEI en 2020 hasta el 10% menos de las existentes en 2005.

En su Comunicación “EUROPA 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador”³, la Comisión Europea incluye el compromiso de los Estados miembros a reducir un 20% las emisiones de GEI, a aumentar un 20% la parte de las energías renovables en la combinación energética de la UE y a lograr el objetivo del 20% de eficiencia energética de aquí a 2020. Para contener el cambio climático por debajo de

² Decisión 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020.

³ COM(2010) 2020. Comunicación de la Comisión “EUROPA 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador”. Comisión Europea. Marzo 2010.



CEDEX

los 2°C, el Consejo Europeo reafirmó en febrero de 2011 el objetivo de la UE de reducir las emisiones de GEI entre un 80% y un 90% de aquí a 2050 respecto a los niveles de 1990, lo que ha resultado en la presentación en marzo de 2011 de una hoja de ruta para un desarrollo hipocarbónico a largo plazo⁴.

El análisis hecho por la Comisión Europea en su Libro Blanco "*Hoja de ruta hacia un espacio único de transporte: por una política de transporte competitiva y sostenible*"⁵, muestra que - aunque puedan lograrse reducciones más radicales en otros sectores de la economía - el sector del transporte es una fuente importante de GEI en continuo aumento, y ha de realizar una reducción de al menos el 60% de GEI para el 2050, con respecto a los niveles de 1990. Para el 2030, el objetivo para el transporte será reducir las emisiones de GEI cerca del 20% por debajo de su nivel de 2008. Para conseguir dicha reducción, el Libro Blanco propone por una parte diversos objetivos encaminados a desarrollar y utilizar nuevos combustibles y sistemas de propulsión sostenibles, especialmente en el ámbito urbano. Desde un punto de vista de las infraestructuras, los objetivos se centran en primar el desarrollo de infraestructuras ferroviarias y su conexión con puertos y aeropuertos, y en el aumento de la eficiencia del transporte y del uso de la infraestructura con sistemas de información y gestión del tráfico.

Conviene recordar, por último, que pueden existir criterios o exigencias específicos de la UE en el caso de planes o proyectos que reciban financiación comunitaria, lo cual no es infrecuente cuando se trata de infraestructuras de transporte. En particular, la Comisión Europea adoptó en Octubre de 2011 un borrador para un paquete legislativo que dará forma a la política de cohesión de la UE durante el periodo 2014-2020, política que comprende al Fondo de Desarrollo Regional Europeo (FEDER), entre cuyos objetivos temáticos figuran el cambio climático y las infraestructuras de transporte.

4.1.2. Las políticas en España con incidencia en la consideración de los efectos del transporte sobre el cambio climático

4.1.2.1. La Ley de Economía Sostenible

La Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible establece que uno de los objetivos a los que debe responder la planificación estatal de las infraestructuras de transporte es la movilidad sostenible y segura en términos económicos y medioambientales, a través de proyectos cuya ejecución produzca una efectiva reducción de las emisiones contaminantes. Para ello, se impulsarán proyectos relativos a los modos de transporte más sostenibles y eficientes y, dentro de cada uno de los modos de transporte, los dirigidos a la incorporación de la innovación tecnológica y a la mejora de la eficiencia energética del transporte que se desarrolle en el respectivo modo.

La Ley de Economía Sostenible hace hincapié en prioridades muy concretas de la planificación estatal de las infraestructuras del transporte. Aunque no justifica dichas prioridades en base a su incidencia sobre el cambio climático, sí es cierto que las

⁴ COM(2011) 112 final. Comunicación de la Comisión "*Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050*". Comisión Europea. Marzo 2011.

⁵ COM(2011) 144 "*Hoja de ruta hacia un espacio único de transporte: por una política de transporte competitiva y sostenible*". Comisión Europea. Marzo 2011.

actuaciones que supongan una gestión más eficiente de las infraestructuras y servicios de transporte redundan a menudo en una reducción de las emisiones de GEI. Entre las prioridades mencionadas destacan las siguientes, que se deberán aplicar a cada territorio según sus características:

- Adaptar las líneas de la red básica para el transporte de mercancías por ferrocarril para hacer posible la circulación de trenes de mercancías de más de 750 m de longitud.
- Potenciar las conexiones viarias y ferroviarias con los puertos de interés general en función de su impacto económico potencial, de las disfuncionalidades existentes y los costes de oportunidad.
- Impulsar la creación y mejora de apartaderos y centros de cambio modal y actividades logísticas que propicien la reducción de los costes de operación del transporte, la mejora de la intermodalidad y la eficiencia del consumo energético.
- Introducir las mejoras que permitan la conexión de la red ferroviaria de alta velocidad con la red ferroviaria convencional.
- Favorecer el desarrollo de las infraestructuras de transporte ferroviario metropolitano y de las plataformas reservadas a autobuses y a vehículos de alta ocupación, así como de estaciones de autobuses e intercambiadores intermodales y plataformas de estacionamiento disuasorio.

Otros principios que recoge la Ley de Economía Sostenible que tienen incidencia sobre las emisiones del transporte son:

- Apoyarse en todas las posibilidades que ofrecen las tecnologías de la información y comunicación: sistemas de información sobre la red estatal de infraestructuras del transporte y de análisis y evaluación de la demanda de los viajeros, que reduzcan la movilidad obligada y faciliten el acceso a los servicios sin necesidad de desplazamiento físico.
- Integrar las políticas de desarrollo urbano, económico y de movilidad de modo que se minimicen los desplazamientos.
- Facilitar la penetración de infraestructuras de transporte y material móvil que permitan avanzar hacia una economía con mayor soporte del sistema eléctrico.

4.1.2.2. El Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020

La Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos fija un objetivo mínimo orientativo de ahorro energético del 9% en 2016. Por otra parte, el Consejo Europeo de 17 de junio de 2010 ha fijado como objetivo para 2020 ahorrar un 20% de su consumo de energía primaria. Como consecuencia de estas obligaciones, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en colaboración con el IDAE, ha elaborado el *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020*, aprobado por el Consejo de Ministros en julio de 2011.

El esquema que propone este Plan de aplicación de medidas de ahorro y eficiencia energética en el sector del transporte consiste en:

- Articular medidas que permitan reducir el crecimiento de la demanda previsible de movilidad y equilibrar el reparto modal del transporte de personas y mercancías



CEDEX

hacia aquellas tecnologías más eficientes. Entre las medidas se incluyen las siguientes:

- Mayor participación de los medios colectivos en el transporte por carretera.
- Mayor participación del ferrocarril en el transporte de viajeros y mercancías
- Mayor participación del sector marítimo en el transporte de mercancías
- Articular medidas que vayan dirigidas a impulsar la renovación de las flotas de transporte.
- Articular medidas que potencien el uso racional de los medios de transporte, como:
 - Mejorar la gestión de infraestructuras a través de redes de intercambiadores y centros logísticos, así como sistemas de pago por uso de las infraestructuras

4.1.2.3. El Plan de ahorro, eficiencia energética y reducción de emisiones en el transporte y la vivienda

El *Plan de ahorro y eficiencia energética en el transporte y la vivienda* (abril de 2011), de aplicación al Ministerio de Fomento y a todas sus entidades dependientes, recoge – entre otros - el conjunto de estrategias y actuaciones orientadas a conseguir la reducción del consumo energético y del impacto medioambiental del sector del transporte. Además de las medidas estructurales encaminadas a la reorientación modal del sistema de transportes y al impulso de la sostenibilidad urbana, el plan incorpora 100 actuaciones operativas consecuentes con el análisis de la trayectoria de gasto energético en cada uno de los sectores de competencia de este Departamento.

Entre las medidas estructurales incluidas en el Plan cabe citar las siguientes:

- Reorientación modal del sistema de transporte terrestre
 - Impulso al transporte ferroviario de mercancías
 - Impulso al transporte ferroviario de viajeros
- Impulso al transporte marítimo de mercancías
- Plan de eficiencia energética en el transporte aéreo
 - Actuaciones para mejorar la eficiencia del espacio aéreo
 - Aproximaciones en descenso continuo
 - Definición de nuevas rutas nocturnas
 - Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones aeroportuarias
 - Potenciación de la utilización de energías renovables
 - Uso de vehículos eléctricos en los aeropuertos

4.1.2.4. Instrucción sobre medidas específicas para la mejora de la eficiencia de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento

El 17 de diciembre de 2010 se aprobó – a través de la Orden FOM/3317/2010 - la Instrucción sobre medidas específicas para la mejora de la eficiencia de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento. El objeto de esta instrucción es dictar normas para los estudios informativos y proyectos que se encuentren en la fase de redacción y los que se inicien a partir de la entrada en vigor de la orden, medidas todas ellas enfocadas a la reducción del coste económico de las distintas actuaciones. En los anexos de dicha norma se recogen los parámetros de eficiencia económica para los estudios y proyectos de infraestructuras ferroviarias, de carreteras y de aeropuertos, parámetros que miden la eficiencia en

términos de coste material de unidades de obra e instalaciones (medidos en M€/km o m²) por tipos de terreno (según diferente orografía), considerando e incluyendo las distintas intensidades medias diarias de las autovías/autopistas construidas en diferentes tipologías de suelos, por características geológicas-geotécnicas, condiciones fisiográficas que condicionan diferentes inestabilidades de ladera, macizos con problemas tectónicos y diferentes afecciones hidrogeológicas.

Aunque la norma señala su intención de que todas las actuaciones en las infraestructuras se diseñen con criterios de sostenibilidad social, ambiental y económica considerando el ciclo de vida útil del activo en cuestión, la preocupación que se deduce del documento es la de reducir el coste económico de las obras dentro del respeto al medio ambiente y de satisfacción de las necesidades sociales para las que dicha obra se construye, aunque sin hacer mención explícita al cambio climático.

4.1.2.5. El Plan Estratégico para el Impulso del Transporte Ferroviario de Mercancías

El *Plan Estratégico para el Impulso del Transporte Ferroviario de Mercancías* (PEITFM) tiene por objetivo primario incrementar la cuota modal de este medio hasta un rango objetivo de entre el 8% y 10% (según escenarios) en 2020, allí donde la demanda esté suficientemente justificada.

Entre las medidas con impacto más directo sobre el ahorro energético, cabe destacar:

- Adaptación de la red básica a la circulación de trenes de 750 m.
- Electrificación de las infraestructuras lineales en la red básica de mercancías, con una reducción del 15% el consumo energético respecto a la tracción diesel.
- Devolución de energía a la red (freno regenerativo, instalación de subestaciones bidireccionales, sincronización de operaciones de arranques y paradas y otro tipo de medidas contrastadas de ahorro energético).
- Evolución del transporte ferroviario de mercancías hacia un modo de transporte íntimamente vinculado con otros modos (en especial el transporte por carretera) y con los puertos, dentro de una lógica multimodal, que se acompañará con una mejora de las conexiones a nodos de intercambio y de los accesos ferroviarios a los puertos y a la red ferroviaria interior.

4.1.2.6. Los nuevos planes de Cercanías

Entre las medidas previstas con impacto más directo sobre el ahorro energético, cabe destacar:

- Intensificar los servicios ferroviarios de viajeros en entornos metropolitanos donde la actividad diaria del transporte lo aconseje.
- Potenciar la intermodalidad con sistemas integrados de transporte urbano y metropolitano.
- Incorporar a las nuevas redes de cercanías los avances extraídos de los proyectos de I+D+i (e.g. freno regenerativo, incorporar transformadores de corriente bidireccional a las redes).
- Incorporar a la red de cercanías todas las energías alternativas posibles a su alcance (e.g. servicios de climatización de vagones con energía geotérmica).



CEDEX

4.1.3. Las políticas de adaptación al cambio climático en España

4.1.3.1. *El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en España*

Mientras que las acciones de mitigación del cambio climático requieren una respuesta conjunta y coordinada a nivel internacional, se reconoce que las acciones e iniciativas de adaptación deben ser definidas e implementadas a distintos niveles territoriales y de organización, con un protagonismo destacado de los niveles nacional y local.

A nivel español, el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)* – aprobado en 2006 – es el marco general de referencia para la coordinación entre las Administraciones Públicas en las actividades de evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en España.

El objetivo general del PNACC es integrar la adaptación al cambio climático en la planificación de todos los sectores o sistemas ecológicos, económicos y sociales que son vulnerables al cambio climático. Para ello, el PNACC se concibe como un proceso continuo de generación de conocimientos y de fortalecimiento de las capacidades de aplicarlo. Como objetivos específicos iniciales, el PNACC plantea entre otros los siguientes:

- Desarrollar escenarios regionales de cambio climático para España a lo largo del siglo XXI, que sirvan de referencia para elaborar estudios de impactos y vulnerabilidad específicos para varios sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos.
- Desarrollar y aplicar métodos y herramientas para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y las opciones de adaptación al cambio climático en los sectores y sistemas contemplados. El transporte es uno de los quince sectores y sistemas incluidos en el PNACC para iniciar la evaluación de su vulnerabilidad y sus posibilidades de adaptación. Otros sectores y sistemas citados son el de los recursos hídricos, las zonas costeras, o el urbanismo y la construcción.
- Incorporar al sistema español de I+D+i las necesidades más relevantes en materia de evaluación de impactos del cambio climático.
- Promover la participación entre todos los agentes implicados en los distintos sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos, con el objeto de integrar la adaptación al cambio climático en las políticas sectoriales.

El desarrollo del PNACC se aborda mediante programas de trabajo que establecen las actividades y proyectos a realizar, así como los calendarios de trabajo.

El *Primer Programa de Trabajo del PNACC* se aprobó en el año 2006 y se extendió hasta mediados del 2010. Este Primer Programa contempló el desarrollo de escenarios climáticos regionales y la evaluación del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, la biodiversidad y las zonas costeras.

El *Segundo Programa de Trabajo del PNACC* comenzó en el año 2009 y está actualmente en desarrollo. Su marco temporal es de 4 años y se estructura en torno a los siguientes ejes:

- Evaluación sectorial de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: este eje constituye el núcleo del Segundo Programa de Trabajo. Además de dar continuidad a las líneas de trabajo iniciadas en el Primer Programa (escenarios climáticos regionalizados, recursos hídricos, zonas costeras y biodiversidad), incorpora a la evaluación cinco nuevos sectores: salud, turismo, agricultura, bosques y suelos/desertificación.
- Integración en la normativa sectorial de la adaptación al cambio climático y desarrollo de directrices, instrucciones técnicas, orientaciones y manuales de buenas prácticas.
- Movilización de los actores clave en los sectores incluidos en el PNACC que deben tomar parte activa en la identificación de medidas de adaptación al cambio climático.
- Establecimiento de un sistema de indicadores de impactos y adaptación al cambio climático.

Aunque el sector transporte está integrado dentro del PNACC, no se ha sido incluido todavía de forma específica en los sucesivos Programas de Trabajo del Plan, al no ser considerado sector prioritario.

Según el PNACC, el transporte no parece que vaya a verse muy afectado por el aumento de las temperaturas, aunque sí por los cambios en el régimen de precipitaciones, vientos o nieblas. Podría ser necesario introducir modificaciones en las obras de infraestructura (puentes, pistas para aviones, etc.). Concretamente, en el ámbito portuario, los impactos pueden ser especialmente importantes debido al ascenso del nivel medio del mar y a la modificación de otros parámetros asociados al clima.

El PNACC propone - como línea de trabajo inicial para la evaluación de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el transporte - poner en marcha una cartografía de impactos previstos para este sector (transporte terrestre, aéreo y marítimo) relacionados con las infraestructuras y la seguridad.

4.1.3.2. Estrategias regionales de adaptación al cambio climático

En España, son diversas las Comunidades Autónomas (CCAA) que han elaborado planes o estrategias de adaptación al cambio climático. Así, Canarias cuenta con un Plan de Adaptación al Cambio Climático elaborado por la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático. La Junta de Andalucía ha aprobado asimismo el Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático.

En algunas CCAA – como País Vasco, Navarra, Valencia o Castilla-León - las estrategias de adaptación se concretan en forma de acciones dentro de un plan de acción más amplio de cambio climático, que incluye también mitigación. Cabe señalar que el Gobierno Vasco aprobó en mayo de 2011 el Anteproyecto de la Ley Vasca de Cambio Climático, que establece la elaboración de un Programa de adaptación al cambio climático y sus finalidades prioritarias, como parte del próximo Plan Vasco de Cambio Climático.

En Cataluña, la Oficina Catalana de Cambio Climático ha elaborado una serie de estudios, con objeto de definir posteriormente su estrategia de adaptación al cambio



climático. Uno de los estudios se centra en la zona del delta del Ebro, considerada una de las áreas más vulnerables a los efectos del calentamiento global de Cataluña. Además, la Oficina ha colaborado en el estudio “Agua y cambio climático”, elaborado por la Agencia Catalana del Agua (ACA), en el que se analizan los diferentes impactos sobre los recursos hídricos en Cataluña.

En general, los planes y estrategias de las CCAA plantean la realización prioritaria de escenarios climáticos sobre sus regiones particulares, y el análisis de los posibles impactos en los sectores más vulnerables. Entre éstos se cita con frecuencia el agua y los espacios costeros, así como la adaptación frente a eventos extremos. El Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático y la Estrategia Regional contra el Cambio Climático de Castilla y León citan explícitamente al transporte como uno de los sectores para evaluación de impactos y medidas de adaptación al cambio climático.

4.1.3.3. Mecanismos de coordinación entre sectores y niveles administrativos

Los principales obstáculos encontrados en las estrategias de adaptación provienen no sólo de la incertidumbre científica sino de la falta de coordinación entre diferentes sectores, de la ambigua distribución de responsabilidades entre los niveles administrativos y de la insuficiente participación de los agentes interesados. Por esta razón, la coordinación y distribución de responsabilidades entre los distintos entes administrativos implicados es un reto al que deben enfrentarse todos los países. Además, aunque las estrategias nacionales de adaptación reconocen la importancia de la cooperación intersectorial, en la práctica éstas tratan escasamente los posibles conflictos y sinergias entre los distintos sectores involucrados.

En España, los órganos de coordinación a alto nivel dentro de la Administración General del Estado son el Grupo Interministerial de Cambio Climático y la Comisión Delegada del Gobierno para el Cambio Climático. En ambos está representado el Ministerio de Fomento.

Por su parte, el Consejo Nacional del Clima reúne desde 2001 a distintos departamentos de la Administración General del Estado, las CCAA, la Federación Española de Municipios y Provincias, representantes del ámbito de la investigación, los agentes sociales y las organizaciones no gubernamentales. El Consejo Nacional del Clima se configura como un órgano colegiado que tiene entre sus objetivos asesorar al Gobierno sobre las estrategias de respuesta frente al cambio climático.

La Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático – creada en 2005 - es también un órgano de coordinación y colaboración entre la Administración General del Estado y las CCAA para todo lo relacionado con los asuntos de cambio climático. Además incluye una representación de las entidades locales. Entre sus funciones figura el seguimiento del cambio climático y la adaptación de sus efectos.

Las funciones de secretariado de los dos últimos órganos citados están aseguradas a través de la Oficina Española de Cambio Climático.

4.1.4. Comunicación de los criterios y principios al órgano promotor

La tabla siguiente recoge algunos ejemplos de posibles criterios y principios que el órgano ambiental puede trasladar al órgano promotor, para que sean tenidos en cuenta a lo largo del proceso de generación de alternativas y de elaboración del ISA, y que condicionarán en buena parte el abanico de medidas de mitigación y adaptación finalmente consideradas.

Posibles criterios y principios aplicables durante la redacción del ISA	
<u>Mitigación</u>	<ul style="list-style-type: none">- adopción de estrategias de gestión de la demanda de transporte- incremento de la eficiencia energética de los medios de transporte- disminución del uso de combustibles fósiles- incremento del porcentaje de uso de energías renovables- mejora de la ordenación territorial, con el fin de reducir las emisiones- mantenimiento de la captura de carbono por sumideros naturales
<u>Adaptación</u>	<ul style="list-style-type: none">- evaluación de la capacidad de adaptación de los sistemas de transporte ante cambios térmicos- evaluación y gestión de zonas inundables- generación de una red de infraestructuras capaz de soportar las escenarios climáticos más adversos- adopción de un enfoque basado en la gestión del riesgo

4.2. DESARROLLO DE INDICADORES

La consideración del cambio climático en el proceso de EAE conlleva la incorporación de un conjunto de indicadores capaces de establecer, de manera transparente y robusta, las afecciones de las diferentes alternativas del plan o programa.

Entre los indicadores relativos a mitigación se incluirá típicamente algunos que se refieran a las emisiones de CO₂ y GEI (e.g. emisiones totales de CO₂, emisiones de GEI por viajero-km) y a las medidas de mitigación (uso de electricidad, uso del transporte público y privado, eficiencia energética de las nuevas construcciones, porcentaje de energía basada en fuentes renovables)⁶. En relación con la adaptación, se incorporarán indicadores que permitan caracterizar los cambios climáticos (nivel del mar, precipitaciones, temperatura, magnitud de crecidas fluviales y fenómenos de sequía, fenómenos térmicos extremos), sus impactos (e.g. zonas de inundación) y las medidas de adaptación.

⁶ El Grupo de Trabajo “*Transporte Sostenible*” de CONAMA 2010 elaboró algunas consideraciones para el desarrollo de indicadores de emisiones de CO₂ de cada medio de transporte. El Grupo de Trabajo considera en particular más apropiado, al elegir la unidad de referencia en el transporte, recurrir a unidades de demanda o tráfico (e.g. viajero-km) en lugar de emplear unidades de oferta (e.g. plaza-km), y combinarlas con la longitud de la ruta para analizar la eficiencia del trazado de la infraestructura; para ello es necesario conocer o estimar el índice de ocupación de los vehículos.



A la hora de formular los indicadores, convendrá tener presente la disponibilidad de mecanismos adecuados (también en coste) para su medición, así como qué procedimientos de integración de los indicadores en metodologías de evaluación reconocibles se prevé utilizar.

En Europa, «*Laying the foundations for greener transport (Bases para un transporte más ecológico)*» es el más reciente de los informes anuales publicados por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), dentro del *Mecanismo de información sobre transporte y medio ambiente (TERM)*. En esta publicación se incluye por primera vez un escenario de partida para evaluar los progresos en la consecución de los objetivos medioambientales del sector del transporte, que cubren entre otros las emisiones de GEI. Entre los indicadores desarrollados por la AEMA figuran los siguientes:

- Emisiones de GEI por el transporte (TERM 02)
- Volumen y distribución modal del transporte de viajeros (TERM 12a/b)
- Volumen y distribución modal del transporte de mercancías (TERM 13a/b)
- Consumo final de energía por el transporte, por modo (TERM 01)

En España, diversas administraciones han venido trabajando y proponiendo sistemas de indicadores ambientales durante los últimos años. Así, por ejemplo, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino puso en marcha en 2005 “*El perfil ambiental de España*”. Se trata de un informe basado en indicadores sobre el estado del medio ambiente, los recursos naturales y los principales sectores económicos productivos. Sus objetivos son la representación de la situación ambiental de España con información desagregada por Comunidades Autónomas. También cuenta con referencias a la UE, lo que contribuye al seguimiento de políticas sectoriales y de integración, permitiendo realizar el seguimiento de la evolución del medio ambiente. En su edición referida al año 2010, el informe incluye 85 indicadores, distribuidos en 16 capítulos temáticos, entre los que se incluyen uno específico sobre *Transporte* y otro referido a *Medio urbano*. Entre los indicadores elaborados figuran los siguientes:

- Tráfico interior interurbano de viajeros por modos de transporte (viajeros-km)
- Tráfico interior interurbano de mercancías por modos de transporte (Tm-km)
- Emisiones de GEI procedentes del transporte (CO₂-eq)
- Consumo de energía final del transporte (TJ totales equivalentes)
- Eficiencia ambiental del transporte, medida como crecimiento de las emisiones de GEI procedentes del transporte y de consumo de energía final del transporte, en comparación con el crecimiento del PIB
- Variación del uso del transporte público en las áreas metropolitanas (número de viajes)

Los datos sobre emisiones de GEI incluidos en “*El perfil ambiental de España*” proceden del “*Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España*”, elaborado por el propio Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino dentro del Sistema Español de Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera según la metodología EMEP/CORINAIR-IPCC. Su edición de 2011 recopila datos correspondientes al periodo 1990-2009. El inventario incluye, en particular, los datos siguientes:

- Emisión bruta anual de GEI procedentes del sector del transporte (CO₂-eq), por tipo de gas (CO₂, CH₄, N₂O), a partir del
- Consumo de combustibles fósiles (GLP, gasolina motores, gasolina aviación, jet fuel, gasóleo diésel, fuel óleo, gas natural), bioetanol y biodiesel, por sector (ferrocarril, transporte por carretera, transporte aéreo civil internacional, transporte aéreo doméstico y navegación interior)

El Inventario trata además de forma individualizada los aeropuertos con más de 100.000 ciclos de aterrizajes-despegues por año, por tener la consideración de grandes focos puntuales.

Los datos sobre uso del transporte público en medio urbano que figuran en “*El perfil ambiental de España*” se extraen de los datos recopilados anualmente por el “*Observatorio de la Movilidad Metropolitana*”, OMM. El OMM es una iniciativa de análisis y reflexión constituida en la actualidad por 22 Autoridades de Transporte Público de las principales áreas metropolitanas españolas, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y el Ministerio de Fomento, con el objeto de reflejar la contribución del transporte público al desarrollo sostenible en las ciudades. En el informe publicado por el OMM en 2011 (referido a 21 áreas metropolitanas e información del año 2009) figuran, entre otros, los siguientes indicadores:

- Variación del uso del transporte público en las áreas metropolitanas (número de viajes y viajes-km)
- Relación entre el uso del transporte público y el índice de motorización
- Reparto modal de los viajes motorizados, distinguiendo entre los realizados en transporte público y los realizados en otros modos motorizados
- Reparto modal de los viajes, distinguiendo entre viajes en coche/moto, en transporte público, a pie y bicicleta, y otros
- Porcentaje de autobuses urbanos de emisiones reducidas respecto al total de la flota

También el Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), en su informe de Sostenibilidad en España 2011 recopila una batería sintética de indicadores que se han seleccionado a partir de los sistemas de indicadores contemplados en las Estrategias Europea y Española de Desarrollo Sostenible, la Estrategia de Economía Sostenible, el Plan Nacional de Reformas y la estrategia con visión de futuro Europa 2020, así como otros indicadores que el OSE considera esenciales para el análisis y seguimiento de las prioridades estratégicas para el desarrollo sostenible de España, entre lo que se incluye:

- Evaluación de la intensidad energética del transporte en España (ktep/millones de euros constantes de 2000),

elaborado a partir de datos proporcionados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) sobre:

- Consumo de energía final del sector del transporte en España (ktep)

Por su parte, el Ministerio de Fomento recopila y analiza con carácter anual en su “*Anuario Estadístico*” y en su informe sobre “*Los transportes y los servicios postales*” la evolución sectorial de los transportes en España.



CEDEX

En el año 2006 el Ministerio de Fomento encargó al CEDEX un informe de indicadores del transporte dentro de las directrices definidas por el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT). El resultado del trabajo está recogido en la publicación “*El transporte en España: Informe basado en el Sistema de indicadores de seguimiento del transporte y su impacto ambiental (SISTIA, 2009)*”. Algunos de los indicadores utilizados en el SISTIA que podrían ser de interés para caracterizar el impacto del transporte sobre el cambio climático y las medidas para su mitigación son los siguientes:

- Evolución de las emisiones de GEI procedentes del transporte (totales, por modo, del transporte de viajeros y mercancías por carretera)
- Evolución del consumo de energía en el sector transporte, por modos
- Distribución modal del transporte de viajeros (total, en porcentaje)
- Distribución modal del transporte de mercancías (total, en porcentaje)
- Consumo de biocarburantes

Desde una perspectiva modal del transporte en España, cabe citar igualmente por su interés el “*Observatorio del Ferrocarril en España*” (OFE), pilotado desde la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, con apoyo del Ministerio de Fomento. Entre los indicadores elaborados por el OFE cabe citar:

- El consumo de energía y emisiones de CO₂ por viajero, punto a punto, en distancia ortodrómica, en fase de explotación de la vía

También ADIF elabora periódicamente diversos indicadores de desempeño medioambiental de su actividad, no sólo para rendir cuentas sobre las obligaciones legales que le aplican, sino también para ofrecer los resultados de los compromisos adquiridos de manera voluntaria. Entre los indicadores que incluye su Informe de Sostenibilidad 2010 figuran los siguientes:

- La ecoeficiencia relativa del sistema de transporte por ferrocarril en infraestructuras gestionadas por ADIF, en comparación con otros modos de transporte, evaluada – entre otros – en términos de consumo de energía total y de emisiones de GEI.
- Las emisiones de GEI derivadas de la tracción eléctrica en infraestructuras gestionadas por ADIF (toneladas/año)
- Las emisiones de GEI de la tracción diésel en infraestructuras gestionadas por ADIF (toneladas/año)
- Las emisiones de GEI derivadas de actividades propias de ADIF (toneladas/año)
- El consumo de energía eléctrica y combustibles (gasóleo B) para usos de tracción por los operadores en infraestructuras gestionadas por ADIF (TJ/año)
- El consumo total de energía en actividades propias de ADIF (TJ/año)

En el ámbito aéreo, es el *Observatorio de la Sostenibilidad en Aviación (OBSA)* – iniciativa de la empresa pública SENASA en funcionamiento desde 2007 – quien tiene por objeto constituirse en referencia nacional en relación con la elaboración de indicadores sobre la sostenibilidad de la aviación. Los indicadores incluidos en el apartado de eficiencia energética y cambio climático han sido desarrollados en el marco de la revisión

del Inventario Nacional de Emisiones de la aviación, tarea encomendada a SENASA/OBSA por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Los indicadores utilizados son los siguientes:

- Emisiones absolutas anuales de los principales GEI emitidos por las aeronaves civiles que aterrizan o despegan en aeropuertos españoles
- Emisiones de CO₂ por cada pasajero transportado por kilómetro recorrido en línea recta (ortodrómico) en rutas de tráfico interior.
- Cantidad de queroseno consumido anualmente por las aeronaves civiles que aterrizan o despegan en aeropuertos españoles.
- Cantidad de combustible consumida para transportar un pasajero (potencial) durante 100 km recorridos en línea recta.

La revisión de los indicadores citados anteriormente y de otros disponibles en la bibliografía, permite que el órgano ambiental establezca dentro del proceso de EAE un conjunto de indicadores capaces de evidenciar la previsión de afecciones de las diferentes alternativas del plan o programa sobre el cambio climático. A modo de ejemplo, la tabla siguiente presenta la definición de algunos posibles indicadores que se podría considerar incluir en la formulación de planes y programas de infraestructuras de transporte para referirse al cambio climático.



Objetivos	Indicador	Fórmula	Definición	Referencias bibliográficas
Valorar la reducción de emisiones de GEI: - Total - Por modos de transporte	Ahorro de emisiones de GEI en todo el ciclo de vida de la infraestructura de transporte, bajo las diferentes alternativas del plan o programa	Kt de CO ₂ -eq sin y con plan/programa	Emisión de N ₂ O, CO ₂ y CH ₄ , expresados en unidades de CO ₂ equivalente	Inventario MARM SISTIA 2009
	Ahorro de emisiones de GEI por uso de biocombustibles en las diferentes alternativas del plan o programa	Kt de CO ₂ evitadas: cálculo de Tep de biocombustible utilizado en todo el plan o programa en sustitución de combustibles convencionales	Emisiones de N ₂ O, CO ₂ y CH ₄ ahorradas al utilizar biocombustibles en lugar de combustibles convencionales, expresados en unidades de CO ₂ equivalente	Inventario MARM SISTIA 2009
Valorar el desacoplamiento entre el consumo energético debido al transporte y el PIB	Intensidad del consumo de energía en el sector de transportes: consumo de energía por unidad de PIB	Ktep de transporte / PIB mill de €	Cociente entre consumo total de energía en ktep del conjunto de modos de transporte y el PIB	Informe OSE 2011 SISTIA 2009
Valorar la previsión de transferencia modal del transporte interurbano de viajeros y mercancías hacia modos más sostenibles	Variación de la distribución modal del transporte de viajeros, bajo las diferentes alternativas del plan o programa	% viajero-km por modo / viajero-km en el conjunto de modos sin y con plan/programa	Número de viajeros multiplicado por los km recorridos en el desplazamiento, segregado por modos (carretera, ferrocarril, aéreo y marítimo) para transporte interior e interurbano en relación al total de viajeros.	SISTIA 2009
	Variación de la distribución modal del transporte de mercancías, bajo las diferentes alternativas del plan o programa	% tonelada-km por modo / tonelada-km en el conjunto de modos sin y con plan/programa	Toneladas de mercancías transportadas multiplicada por los km recorridos en el desplazamiento interior e interurbano, segregado por modos de transporte en relación al total de mercancías	SISTIA 2009

Valorar la evolución de la demanda de transporte de viajeros en vehículo privado en áreas urbanas y metropolitanas	Avance de políticas que favorecen el trasvase de viajeros en coche a otros modos más sostenibles: metro, tranvía o ferrocarril	% de incremento de plazas por modo sostenible, en relación a viajeros-km totales, en áreas urbanas/ metropolitanas		Observatorio de la Movilidad Metropolitana
	Reparto modal en las principales áreas supramunicipales y municipales españolas: vehículo privado, transporte público, a pie, moto y otros.	viajeros-km por modo/ viajeros-km total en áreas urbanas/ metropolitanas		Observatorio de la Movilidad Metropolitana
Valorar el grado de penetración de la electricidad en el sistema de transporte	Evolución de las vías electrificadas de transporte por ferrocarril	% km de vías electrificadas / km de vías totales en mercancías y viajeros		
Valorar el efecto de la pérdida y reposición de la cubierta vegetal debido a las infraestructuras de transporte	Pérdida de superficie forestal en las diferentes alternativas del plan o programa, con la consiguiente pérdida de poder fijador de CO ₂ del suelo	Kt de CO ₂ que se dejan de captar en todo el ciclo de vida del plan o programa, por pérdida de superficie forestal debida al mismo	CO ₂ dejados de captar por pérdida de masa forestal, expresado en unidades de CO ₂ equivalente	Proyecto CLEAM
	Emisiones de GEI fijadas por reforestación de la superficie degradada en las diferentes alternativas del plan o programa	Kt de CO ₂ eq que se captan en todo su ciclo de vida el plan o programa, por reforestación de superficie en zonas degradadas	CO ₂ captado por la reforestación expresado en unidades de CO ₂ equivalente	Proyecto CLEAM



LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PLANES Y PROGRAMAS:
APLICACIÓN AL CASO DE PLANES Y PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

CEDEX

5. LA CONSIDERACIÓN DE LA MITIGACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL ISA

La mitigación de los efectos sobre el cambio climático de planes y programas de infraestructuras de transporte puede realizarse a través de un amplio abanico de medidas. El objetivo de este capítulo es proporcionar al redactor del plan o programa una descripción de apoyos con los que puede contar a la hora de identificar tales efectos, seleccionar medidas de mitigación y valorar la idoneidad de tales medidas.

Las emisiones de GEI y la eficacia de las medidas para su mitigación pueden valorarse, al menos desde un punto de vista teórico, recurriendo a metodologías de cálculo de la huella de carbono.

La huella de carbono (*carbon footprint*, en inglés) cuantifica la cantidad de emisiones de GEI que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad. La cuantificación de estas emisiones permite a los agentes emisores identificar todas sus fuentes de emisiones de GEI y establecer así medidas de reducción más efectivas.

Se han perfeccionado diferentes enfoques metodológicos para el cálculo de la huella de carbono, entre los que cabe citar el GhG Protocol, la norma UNE-EN-ISO 14064 o el MC3. Estas metodologías se han concebido fundamentalmente para el cálculo de la huella de carbono asociada a organizaciones, a diferencia de otras - como la PAS 2050 o la futura ISO 14067 -, orientadas hacia el cálculo de la huella de carbono de productos.

El GhG Protocol - iniciativa del World Business Council for Sustainable Development y del World Resources Institute, publicado por primera vez en 2011 - es la guía de referencia más utilizada por las empresas para inventariar sus emisiones de GEI, calcular la huella de carbono y elaborar informes voluntarios. Organiza el cálculo de la huella de carbono en torno a las emisiones denominadas de Alcance 1 (emisiones directas de GEI de fuentes que están controladas directamente por la organización que genera el informe), Alcance 2 (emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad, calor o vapor consumida por la organización, pero no generada por ella) y Alcance 3 (emisiones indirectas de GEI que son consecuencia de las actividades de la organización que informa, pero que se generan a partir de fuentes que controlan o pertenecen a otras empresas).

A diferencia del Protocolo GhG, la Norma UNE-EN-ISO 14064 es un estándar internacional verificable, desarrollado como guía para que las empresas puedan elaborar e informar sobre su inventario de gases de efecto invernadero⁷.

⁷ ACI Europe - asociación internacional que agrupa cerca de 400 aeropuertos en Europa - dispone desde 2009 de un programa voluntario (*Airport Carbon Accreditation*) que evalúa y acredita los esfuerzos para gestionar y reducir las emisiones de CO₂ de los aeropuertos que se adhieren a él (actualmente una treintena). El programa - ideado por la consultora WSP Environmental - comprende cuatro niveles crecientes de acreditación: *Mapping* (medición de la huella de carbono), *Reducción*, *Optimización* y *Neutralidad*. *Airport Carbon Accreditation* utiliza



El “*método compuesto de las cuentas contables*” o MC3 se empezó a desarrollar a finales del año 2000 como consecuencia de la aplicación de la huella ecológica “clásica” (tradicionalmente aplicada a naciones y territorios) en organizaciones. Este método tiene como objetivo convertir todos los impactos ambientales de una organización (tanto de lo que entra -consumos- como de lo que sale -desechos-) a carbono o a emisiones equivalentes de CO₂.⁸.

En el caso de métodos enfocados a producto, el cálculo supone recopilar información sobre consumos de materia y energía en cada una de las etapas por las que va pasando el mismo y traducirlas a emisiones de CO₂. Ello conlleva cálculos que exigen a menudo técnicas muy especializadas y la participación de los proveedores.

Las metodologías más utilizadas para el cálculo de la huella de carbono de productos están basadas en los análisis de ciclo de vida (ACV). El apartado 5.1 de este capítulo presenta un estado del arte de estas metodologías de cara a su posible empleo en la elaboración de planes y programas de infraestructuras de transporte. El análisis tan detallado y minucioso que éstas suponen obliga en cualquier caso a cuestionarse sobre su uso como herramienta idónea para analizar la evolución y el ahorro de emisiones que tiene lugar como consecuencia de un plan o programa y sus diferentes alternativas.

En el caso concreto de planes y programas de infraestructuras de transporte, la dificultad práctica (técnica y económica) de su aplicación lleva a menudo a diferenciar entre la vertiente constructiva y de mantenimiento de las infraestructuras incluidas en el plan o programa, y la etapa de explotación de las mismas una vez construidas, y a concentrar el esfuerzo de estimación de emisiones e identificación de medidas de mitigación en esta última etapa, que es normalmente la que tiene mayores efectos sobre el cambio climático. Con esta perspectiva se incluye el apartado 5.2, en el que se revisan algunas herramientas disponibles para el cálculo prospectivo de las emisiones de GEI durante la fase de explotación de las infraestructuras de transporte. Puesto que la movilidad inducida por la puesta en explotación de una nueva infraestructura puede ser importante en muchos casos, es conveniente que en la elaboración del ISA se incluya siempre un estudio de previsión de tráfico que tenga en cuenta dicha demanda inducida.

Este capítulo concluye con una revisión en el apartado 5.3 de posibles medidas de mitigación, encaminadas todas ellas a reducir las emisiones de CO₂ de las actividades del transporte.

los principios del GhG Protocol para las definiciones de la huella de carbono y requiere a los aeropuertos que tengan su huella de carbono verificada de forma independiente conforme a la ISO14064. El aeropuerto de Madrid-Barajas recibió a final de 2011 la verificación favorable de sus emisiones de acuerdo con los requerimientos de la *Airport Carbon Accreditation*.

⁸ En España, el método MC3 se ha aplicado por ejemplo con carácter experimental a la medida de la huella ecológica y de carbono de la Autoridad Portuaria de Gijón (véase I. Mateo-Mantecón et al. “Measurement of the ecological and carbon footprints in Port Authorities. Comparative study”, Journal of the Transportation Research Board 2222).

5.1. INCORPORACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ACV EN LA EVALUACIÓN DE PLANES Y PROGRAMAS

El ACV es una herramienta que permite la cuantificación de las emisiones de GEI en todas y cada una de las fases de las que consta un proyecto o conjunto de proyectos (plan o programa) de infraestructuras de transporte: construcción, mantenimiento y explotación (incluso deconstrucción).

La aplicación del ACV viene siendo objeto de normalización internacional a través de la familia de normas ISO-14040 y derivadas. Estas normas aparecen a finales de la década de los noventa y tratan de evaluar el ciclo de vida y los efectos ambientales que genera un determinado producto o servicio en sus sucesivas etapas: producción, distribución, utilización y eliminación. En cada etapa se consideran no sólo los efectos directos, sino también los indirectos, esto es, los que se generan en la obtención de las materias primas, productos semielaborados, servicios auxiliares y en general cualquier actividad vinculada al ciclo de vida del producto.

Existe diversidad de metodologías que se apoyan en el ACV. Incluir las metodologías de ACV en el proceso de EAE de planes y programas presenta no obstante ciertas limitaciones, puesto que estas metodologías están concebidas para ser aplicadas a proyectos con elevado nivel de definición, en los que las etapas del mismo están detalladas, y su ámbito y momento de ejecución también.

5.1.1. Determinación de los factores técnicos del cálculo de la intensidad energética y de las emisiones de GEI

Ante la importancia que tienen las cuestiones relacionadas con las emisiones de GEI y la íntima relación que guardan estas cuestiones con las energéticas, diferentes organizaciones han puesto en marcha mecanismos encaminados a permitir definir con exactitud las emisiones de GEI y el consumo de energía en todas las fases del ciclo global de un servicio. En los últimos años han sido numerosas las instituciones de todo el mundo que han tratado de elaborar sus propias bases de datos mediante el cálculo de factores de intensidad energética y de emisiones, lo que permite calcular estas variables en las diferentes unidades de obra que integran cada actuación.

En este sentido, es importante destacar como referencia la existencia de la *Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida*⁹, establecida por la Comisión Europea. El propósito de esta Plataforma es mejorar la credibilidad, aceptación y el uso del ACV. Para este fin desarrolla una serie de herramientas como la *Base de Datos Europea de Ciclo de Vida* (European Life Cycle Database - ELCD). Estos datos debieran contribuir en un futuro a un *Sistema Internacional de Referencia sobre Datos de Ciclo de Vida* (International Reference Life Cycle Data System - ILCD).

Una herramienta que resulta de interés y que está desarrollada dentro de la Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida es el Directorio Internacional de Recursos de ACV, que contiene información de metadatos sobre bases de datos relacionadas con el concepto del ciclo de vida. Habitualmente estas bases de datos son muy extensas, lo que

⁹ Dirección web: <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>



CEDEX

hace que para gestionarlas sea necesaria la utilización de herramientas informáticas de ACV o huella de carbono. En la mayoría de los casos han sido desarrolladas por empresas o universidades que restringen el acceso tanto a las bases de datos como a las herramientas que las gestionan, aunque existen algunas excepciones en las que el acceso a la información o al programa informático es gratuito. En la tabla 5.1 se pueden ver las bases de datos o herramientas del Directorio que tienen mayor interés desde el punto de vista de nuestro país, aunque existen muchas otras que se pueden consultar en la página web de este Directorio.

Tabla 5.1
Bases de datos y herramientas del Directorio Internacional de Recursos de ACV
Herramientas de la Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida

Organización/ Empresa	País	Base de datos	Idioma de BBDD	Programas	Idioma del servicio de BBDD	Observaciones
CODDE	Francia	EIME V9.0	Español	EIME V3.0	Español	Licencia Anual
Ecobilan – PwC	Francia	DEAM (DEAM impact)	Inglés	TEAM 4.5	Español	Licencia Anual
Escola Superior de Comerç Internacional	España (Barcelona)	GaBi databases 2006	Inglés	GaBi	Español	No desarrolla, sólo vende
ifu Hamburg GmbH	Alemania	Umberto library 5.5	Inglés	Umberto 5.5	Español	Varias opciones (Demo, Universidades, Empresas, etc)
LBP, University of Stuttgart (former IKP)	Alemania	GaBi databases 2006	Inglés	GaBi	Español	Desarrolla pero no vende
Oeko-Institut (Institute for applied Ecology), Darmstadt Office	Alemania	GEMIS	Español	GEMIS version	Español	Gratuito
PE International GmbH	Alemania	GaBi	Inglés	GaBi	Inglés	Vende varias bases de datos
PRé Consultants B.V.	Holanda	SimaPro	Inglés	SimaPro	Inglés	Vende varias bases de datos
ReMa - MEDIO AMBIENTE, S.L.	España (Castellón)	-	-	LCA Manager	-	Sólo vende
SIMPPLE	España (Tarragona)	-	-	LCA Manager	-	-
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)	España (Barcelona)	LCA_sostenipra_v.1.0	Español	-	-	Forma parte del proyecto Ecotech SUDO E

Otras bases de datos que pueden resultar de interés y que no aparecen en este cuadro son:

- Por un lado ECOINVENT, con datos de Inventario de Ciclo de Vida (ICV) disponibles en formato EcoSpold y que son compatibles con la mayoría de las herramientas de software de ACV y eco-diseño. Esta base de datos se gestiona desde *Ecoinvent Centre*. Se trata de una de las bases de datos más citadas en la bibliografía consultada y se emplea como base para alguna de las bases de datos de la tabla anterior.
- Por un lado la base de datos BEDEC (*Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos*) del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC), de interés por ser una base de datos española.

La realidad española apenas se ve representada en la Plataforma o en otras bases de datos. Son países como Alemania, Francia, Holanda o Dinamarca, ya sea desde el ámbito privado o público, los que lideran la elaboración de este tipo de servicios. Recientemente, en el marco del proyecto Ecotech SUDOE (INTERREG IV)¹⁰, se ha tomado la decisión de iniciar la base de datos española de forma piloto durante el último trimestre de 2011, algo que se reclama desde algunos de los proyectos de investigación analizados en este informe, como es el proyecto CLEAM.

Existen también referencias bibliográficas a otras bases de este tipo:

- Hegger, M et al. "Construction Materials Manual", Ed Birkhauser, 2006;
- Vázquez, 2001 "Construcción e impacto ambiental", informes de construcción, vol 52, nº 471, pp.29-43.

La primera base de datos es norteamericana y, aunque más completa, cuenta con la dificultad de recoger información de un conjunto de Estados americanos donde los patrones de conducta, de tecnología y de medio físico son muy diferentes a la realidad española. La base española (Vázquez, 2001) es deficiente en cuanto al número de unidades de obra que recoge, aunque parece ser más representativa de la realidad por cuanto recoge un intervalo de comportamiento para definir las emisiones posibles de cada unidad de obra.

También se cuenta con la base de datos ya citada BEDEC del ITEC, utilizada en el proyecto CLEAM. Esta base de datos incluye para cada unidad de obra estimaciones de generación de emisiones de CO₂ y consumo energético (MJ y kwh). Las limitaciones que puede tener son las incertidumbres en la exactitud de esas estimaciones, por estar supuestamente calculadas para unidades de obra cerradas, de tal forma que podrían no coincidir completamente con otras unidades de obra específicas para las que se quisieran conocer estos parámetros ambientales.

Así, para establecer el análisis del inventario de los consumos energéticos, sus costes y de las emisiones debidas a la diferentes unidades que integran las diferentes tipologías de proyectos, tanto en la fase de construcción, como en su posterior mantenimiento, se debería elaborar el análisis de consumos energéticos de las distintas unidades de obra de los que consta una actuación de ingeniería con lo que se determinaría el coste energético, y su correspondencia en emisiones. Una vez realizada la actuación, se deberían poner en marcha auditorías energéticas del mismo, lo que permitiría comprobar el grado de aproximación entre el coste energético planteado y el realmente producido.

Operativamente se partiría de la información contenida en los presupuestos de los proyectos constructivos, en los que se detallan exhaustivamente los materiales a utilizar y maquinaria en las unidades de obra a realizar, con lo que se puede conocer con aproximación el consumo de energía y las emisiones a las que dará lugar el proyecto (siempre con ciertas desviaciones propias de las condiciones específicas de ejecución de proyecto: diferencias en materiales de construcción, tipo de maquinaria, eficiencia de

¹⁰ Seminario "Base de datos española de ACV", 8 de septiembre de 2011, organizado por la Red Española ACV, Xarxa Catalana ACV y Ecotech Sudo. Uno de los socios de este proyecto es el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Este organismo ha desarrollado una base de datos (LCA_sostenipra_v.1.0) que aparece en el Directorio de Recursos Internacional de ACV.



CEDEX

construcción y logística de acopio de materiales...). Para cada proyecto y en función de las diferentes características constructivas se puede calcular los costes energéticos, y los derivados de los mantenimientos, con sus correspondientes emisiones.

5.1.2. Proyectos de investigación en España que calculan los impactos del transporte considerando el ACV

5.1.2.1. La aplicación CO₂NSTRUCT desarrollada por el proyecto CLEAM para la cuantificación de las emisiones de GEI en la construcción y el mantenimiento de carreteras

CO₂NSTRUCT es una herramienta de cuantificación de emisiones de GEI en la construcción y mantenimiento de carreteras, constituida por una aplicación web-base de datos, que ha sido desarrollada en el marco del proyecto de investigación CLEAM – *Construcción Limpia, Eficiente y Amigable con el Medio Ambiente* -. El proyecto CLEAM se desarrolló entre 2007 y 2010 como una iniciativa de la Plataforma Tecnológica Española de la Construcción, con el apoyo de SEOPAN (Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional) y con financiación del Plan Nacional de I+D+i. El consorcio investigador fue liderado por las empresas constructoras Ferrovial y OHL.

El objetivo fundamental de CO₂NSTRUCT es cuantificar en lo posible las emisiones de GEI (CO₂, CH₄, N₂O y SF₆, HFCs y PFCs), identificar las oportunidades de ahorro de emisiones e incorporar las emisiones de CO₂eq como indicador en la toma de decisiones de todos los agentes intervinientes en el ciclo de vida de un proyecto de carreteras¹¹.

En CO₂NSTRUCT se ha prestado especial atención a la creación de una base de datos de marcado carácter ibérico-español para poder calcular las emisiones de los diferentes proyectos de obra, primando los datos de ámbito nacional y, en su defecto, europeo. La estructura de los metadatos está basada en los formatos de las bases de datos de ACV (en particular, en la de Ecoinvent), aunque, por criterios operativos, presenta una versión sintetizada más acorde con el objetivo y alcance de la herramienta.

La herramienta incluye todas las fases significativas de la construcción y el mantenimiento de un proyecto de carreteras, cubriendo la producción y el transporte de los materiales, su puesta en obra mediante la maquinaria pertinente en cada caso, y su uso y mantenimiento. CO₂NSTRUCT integra asimismo los resultados obtenidos de otra de las tareas del proyecto CLEAM, a saber el balance de emisiones relacionado con el impacto sobre los elementos naturales (vegetación y suelos), junto con su posterior reposición y conservación. La fase de deconstrucción no se ha considerado, tampoco la parte proporcional a la construcción y transporte de la maquinaria a la obra, ni tampoco su mantenimiento.

¹¹ Como complemento de la evaluación con CO₂NSTRUCT, el proyecto CLEAM desarrolló también un modelo proyectivo para la evaluación de las emisiones de CO₂ debidas al tráfico en la fase de explotación de una carretera. Para el cálculo del consumo de combustibles y de los factores de emisión de los diferentes GEI se ha utilizado la metodología EMEP de la Agencia Europea de Medio Ambiente, base del programa europeo COPERT.

CO₂NSTRUCT ha sido aplicado a cuatro ejemplos de proyectos viales por el consorcio del proyecto CLEAM. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las emisiones durante la construcción de la infraestructura son hasta 20 veces superiores a las emisiones asociadas a su mantenimiento considerada una vida útil de 20 años. Dentro de la fase constructiva, las emisiones relacionadas con el movimiento de tierras representan en torno al 75% de las emisiones totales; siguen en importancia las emisiones por afección a elementos naturales y por la construcción de estructuras-túneles y de los firmes. La maquinaria off-road es la principal fuente de emisión (80-85% del total), seguido de los materiales (15%).

5.2. HERRAMIENTAS PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES ASOCIADAS A LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Al hablar de infraestructuras de transporte es habitual distinguir entre la fase de construcción inicial de la misma y la fase de su explotación, a partir de su puesta en servicio. Durante la vida útil de la infraestructura, una vez en explotación, las emisiones de GEI estarán asociadas a las tareas de mantenimiento de la infraestructura, a la operación de la infraestructura (incluidas las producidas por el tráfico de vehículos que soportan), e incluso a eventuales nuevas obras de ampliación o mejora.

Figura 5.1
Componentes del ciclo de vida de una infraestructura de transporte

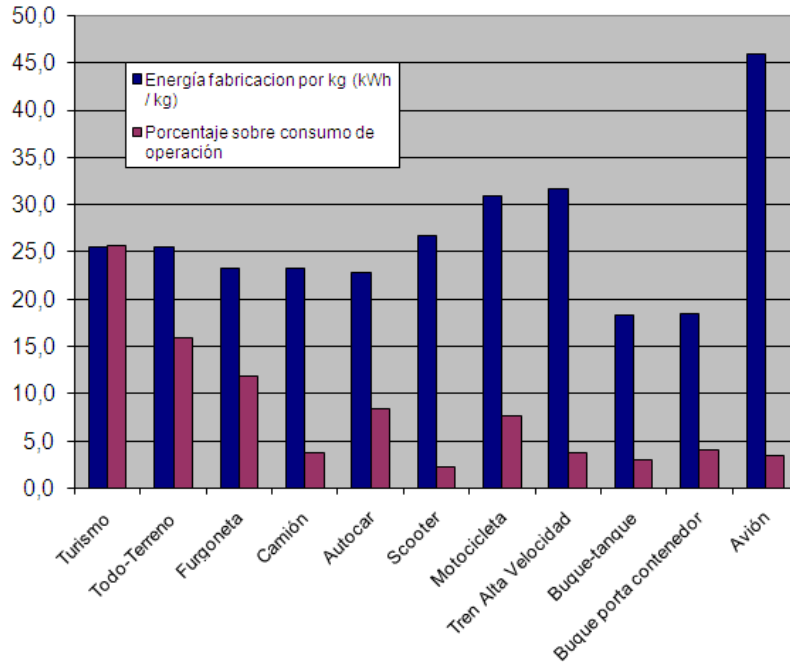
Construcción de la infraestructura	Fase de explotación de la infraestructura
	Mantenimiento de la infraestructura
	Operación de la infraestructura
	Obras de ampliación y/o mejora

Aunque se están haciendo esfuerzos para disponer de herramientas encaminadas a estimar las emisiones durante todo el ciclo de vida de las infraestructuras de transporte, la mayoría de herramientas disponibles para el cálculo de emisiones en uno o varios modos de transporte tienen que ver con las emisiones asociadas al funcionamiento de los vehículos durante la fase de operación de las infraestructuras. Para una infraestructura concreta, estas emisiones suelen ser significativamente superiores a la generación de emisiones tanto durante las fases de construcción, mantenimiento y ampliación de la infraestructura como incluso durante las fases de construcción y mantenimiento de los propios vehículos, tal como se deduce de la figura 5.2, que representa los consumos energéticos en la fase de fabricación de diferentes tipos de móviles, frente a sus consumos en fase de operación.



CEDEX

Figura 5.2
Energía para materiales y fabricación y comparación con el uso



Fuente: Estudio "Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte". ENERTRANS, 2010.

Gran parte de las metodologías para la estimación de emisiones asociadas a la operación de los vehículos de transporte se han desarrollado como apoyo a la elaboración de los Inventarios de Emisiones a la Atmósfera que se realizan para todas las actividades productivas susceptibles de generar emisiones desde hace más de dos décadas en la UE siguiendo la metodología de inventario CORINEAIR. La metodología de inventario CORINEAIR prevé la utilización de diferentes metodologías de estimación de emisiones con tres niveles de complejidad creciente en función de la relevancia de la fuente de emisión (viario, ferroviario, aéreo o marítimo en el caso del transporte) y la disponibilidad de información. El nivel de complejidad menor prevé el uso de factores de emisión por defecto, en tanto que el intermedio requiere incorporar factores de emisión específicos de cada país o específicos de cada tecnología.

El intento de estimar las emisiones del transporte ha venido también desde otros ámbitos y sensibilidades en que la preocupación se ha centrado en la internalización de los costes del transporte para reconducir y mejorar su sostenibilidad. Algunas iniciativas a destacar en este ámbito son el informe INFRAS-IWW sobre costes internos del transporte (del año 2000 y su actualización de 2004) y el proyecto MEET (*Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport*) desarrollado a finales de los años 90, en estrecha colaboración con la acción COST 319 (*Estimation of pollutant emissions from transport*). El proyecto MEET tuvo continuidad con la acción COST 346 para vehículos pesados y proyectos europeos como ARTEMIS (*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*) y PARTICULATES (*Characterisation of Exhaust*

Particulate Emissions from Road Vehicles). Más recientemente (2008) se publicó el “*Handbook on estimations of external cost in the transport sector*” dentro del estudio IMPACT (*Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport*).

En España, el IDAE utiliza estas herramientas para cuantificar el efecto de sus políticas en movilidad sostenible, argumentándolas con valoraciones ambientales, sociales y económicas. Entre las consideraciones ambientales ha incluido la reducción de emisiones de GEI porque, aunque su ámbito de competencias sea la energía, existe una estrecha relación en el binomio energía-emisiones. La dificultad para estimar los efectos que determinadas medidas incluidas en Planes de Movilidad Urbana Sostenible tienen en las emisiones de GEI y de consumos energéticos se debe a la falta de una metodología estandarizada. Con la particularidad de que en el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero las emisiones debidas a la movilidad urbana no se calculan directamente, sino que se estiman.

No existe por tanto una metodología estandarizada para el cálculo de la movilidad urbana, y para la cuantificación de las emisiones derivadas de la aplicación de ciertas políticas de movilidad; la única herramienta posible es estimar la posible reducción de movilidad por efecto de determinado tipo de políticas, y por diferencia con las emisiones del escenario del estado base, sin aplicación de políticas, sería posible cuantificar la posible reducción de éstas políticas de movilidad.

5.2.1. Programas para el cálculo de las emisiones del tráfico de vehículos durante la fase de operación de las infraestructuras de transporte

Hasta ahora los cálculos de consumos energéticos y emisiones han sido utilizados para cuantificar políticas de ahorro energético y de imposición tarifaria para internalizar costes de los distintos modos de transporte y reconducir su comportamiento medioambiental. La metodología que siguen es calcular los consumos energéticos ligados a cada modo de transporte, y más en concreto los consumos necesarios para producir una unidad de transporte, y analizar a posteriori las fuentes de energía ligadas a esos consumos (fósil o renovable); también existen modos de transporte que desarrollan sus propias metodologías.

Estas mismas herramientas pueden ser utilizadas para completar los análisis de cálculo de emisiones de diferentes alternativas de diseño en su fase de operación, más conocidas como emisiones de tráfico debidas a la movilidad.

Se describen a continuación los programas más utilizados para el cálculo de emisiones para los diferentes modos de transporte, que permiten comparar las emisiones entre diferentes modos y que podrían ser utilizados para comparar alternativas de diseño de transporte modal e intermodal según necesidades. Algunos de ellos permiten estimar las emisiones asociadas a un modo concreto (caso de COPERT o MECETA) y otros permiten comparar las emisiones entre diferentes modos (TREMOVE, EcoTRANSIT o EcoPASSENGER). Estas herramientas se pueden utilizar para estimar las emisiones debidas a los vehículos durante la operación de la infraestructura; algunas de ellas ofrecen incluso la posibilidad de actuar como herramientas de prospectiva, aunque teniendo siempre en cuenta que los resultados aportados tendrían una importante incertidumbre. Para ello hay que introducir en el software de cuantificación de emisiones



CEDEX

las variables que se consideran representativas para cubrir las características territoriales y temporales de una infraestructura concreta.

5.2.1.1. El programa COPERT IV para transporte por carretera

Para calcular las emisiones de la carretera dentro de la metodología elaborada por Naciones Unidas, CORINE AIRE, se ha desarrollado y actualizado de forma continuada el programa COPERT, actualmente en su versión IV, válido para el cálculo de emisiones por uso de la carretera. Para el cálculo de emisiones se introducen datos propios que caracterizan la movilidad de la carretera de la que se quiere calcular las emisiones: movilidad derivada de un plan o programa, tipología por categorías de vehículos y combustibles de los vehículos que transitan por las carreteras, antigüedad del parque... COPERT es también un programa de prospectiva porque cubre el horizonte temporal hasta el año 2020, para lo que exige incluir la movilidad y las características de ésta en dicho horizonte temporal.

En muchos casos se han elaborado adaptadores informáticos que permiten el cálculo de las emisiones variando las características del parque móvil una vez que se han introducido en el programa las diferentes normativas que afectan a las prestaciones de los vehículos según su año de matriculación "normas euro", y que permiten tipificar los vehículos, sus emisiones según su antigüedad y los recorridos que se estiman que pueden hacer en relación a este factor.

El programa se puede utilizar descargándolo de la web sin ninguna restricción; la dificultad radica en la alimentación del programa.

5.2.1.2. EmiTRANS – Adaptador del programa COPERT IV para transporte por carretera

EmiTRANS es una herramienta integral desarrollada a partir de COPERT IV por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, para el cálculo de emisiones atmosféricas del transporte por carretera. Como herramienta de prospectiva cubre el período desde la actualidad hasta el año 2020. EmiTRANS parte de la definición de los distintos factores que condicionan y que influyen en las emisiones por carretera: tipología del parque de vehículos, antigüedad de los mismos, movilidad o número de kilómetros que realizan al año en función de su edad, la tecnología del parque de vehículos y la tecnología del parque nuevo cada año (definido por las normas euro de fabricación), factores de ocupación de los vehículos, factores de carga de los vehículos de mercancías, grado de penetración de biocarburantes y grado de penetración de otras tecnologías bajas en emisiones (hidrógeno-eléctricos) o híbridos. La herramienta explora varios aspectos: curvas de vida de los vehículos, factores de reducción del kilometraje con la edad del vehículo, penetración de tecnologías en el parque nuevo cada año. Se intenta de esta forma proyectar las características del parque automovilístico en ciertos escenarios temporales, teniendo presente la relación entre la movilidad, antigüedad del vehículo, grado de renovación del parque y contaminación atmosférica marcada por la tecnología a la que pertenece los vehículos circulantes. Otros factores como la ocupación de los vehículos de viajeros y los de las mercancías se consideran recreando varias alternativas, desde las más pesimistas a las más optimistas, y con estas premisas se construyen los diferentes escenarios y valora el posible efecto de cierto tipo de políticas: reducción de la movilidad en las diferentes tipologías de

carreteras, renovación del parque de vehículos, optimización de la carga de los vehículos de mercancías y aumento de la ocupación de los vehículos.

5.2.1.3. GlobalTRANS – Adaptador del programa COPERT IV para transporte por carretera

GlobalTRANS es un software diseñado también por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid para computar las emisiones del parque de vehículos por carretera. EmiTRANS estima emisiones del tanque a la rueda (TTW), pero GlobalTRANS incorpora las emisiones del pozo al tanque (WTT) y de construcción del vehículo en términos de CO₂eq.

Este software está compuesto de varios módulos:

- Módulo 1. Emisiones de la fabricación y desguace del vehículo:
 1. Extracción y fabricación de materias primas.
 2. Fabricación y ensamblaje del vehículo.
 3. Mantenimiento del vehículo.
 4. Sistema de gestión de residuos.Se calculan dos coeficientes, que abarcan consumo de energía y emisiones de GEI, para cada clase de vehículo COPERT usando la herramienta GABI 4¹²
- Módulo 2. Emisiones del pozo al tanque.
Se basa en estudios de EUCAR/JRC/CONCAWE y de U.S. General Motors que tienen en cuenta las emisiones del pozo a la rueda. (WTW). El alcance sería la extracción de combustible, refinado y transporte a la gasolinera.
- Módulo 3. Emisiones del tanque a la rueda.
Se basa en COPERT IV.
- Módulo 0. Producción de electricidad.

Los coeficientes por defecto se implementan en los módulos anteriores después de una decisión multidisciplinar de expertos. La construcción y desmantelamiento de la planta no se tienen en cuenta. Tampoco se incluye el tratamiento de residuos.

5.2.1.4. Modelo Español de Cuantificación de Emisiones (MECETA) en el transporte aéreo

MECETA es un modelo específico de cuantificación de emisiones para el sector aéreo, que facilita el cálculo de las emisiones y consumo según la metodología Tier 3 (nivel 3) descrita en EMEP CORINAIR 2009. Este modelo - desarrollado por el Ministerio de Fomento con apoyo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid - no es de acceso público y está siendo actualmente explotado por SENASA (Servicios de Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica) para la revisión del Inventario Nacional de Emisiones.

¹² Es una base de datos con más de 4000 perfiles de Inventario de Ciclo de Vida (ICV). Todos estos perfiles ICV se generan en cumplimiento con los estándares ISO 14044, ISO 14064 e ISO 14025, incluyendo el alcance 3. Descripción más amplia en el Anexo VI.



CEDEX

El modelo cuenta con las siguientes características:

- Calcula las emisiones ligadas al tráfico aéreo (vuelos).
- Se adapta a vuelos que siguen reglas de vuelo instrumental, introduciendo información de los movimientos de las aeronaves, tanto en el ciclo LTO¹³, como en la información de crucero¹⁴.
- En el ciclo LTO: Permite el cálculo de las emisiones por el uso de tiempos de rodaje característicos de los aeropuertos españoles. Además permite el cálculo para cada aeronave de uno o varios motores. En el caso de mejoras de operaciones aeroportuarias el MECETA puede aplicar “derate o empuje reducido” en el despegue, que es práctica habitual de compañías aéreas.
- En la fase crucero: Calcula la distancia de vuelo, con información de los aeropuertos de origen y de destino, y realiza una estimación independiente del consumo de combustible en función del modelo de aeronave. Para el cálculo del consumo y emisiones en crucero emplea las tablas EMEP/CORINAIR corregidas con los consumos reales de vuelos realizados por las principales compañías españolas, y del posible error que se puede cometer empleando la distancia ortodrómica, que no tiene en cuenta posibles restricciones del espacio aéreo o circuitos de espera en aeropuertos congestionados.

Como resultado se puede obtener el consumo de combustible y las emisiones de GEI y otros gases contaminantes. El consumo de fuel con sus correspondientes emisiones pueden ser detalladas en las distintas fases del vuelo (LTO y crucero), para el total de vuelos de España, en los vuelos de destino nacional o internacional o de un único aeropuerto.

El MECETA es un modelo de prospectiva en cuanto se pueden estimar los vuelos a realizar en un próximo horizonte temporal, y valorar o estimar el consumo de combustible en el futuro y su correspondiente consumo de emisiones.

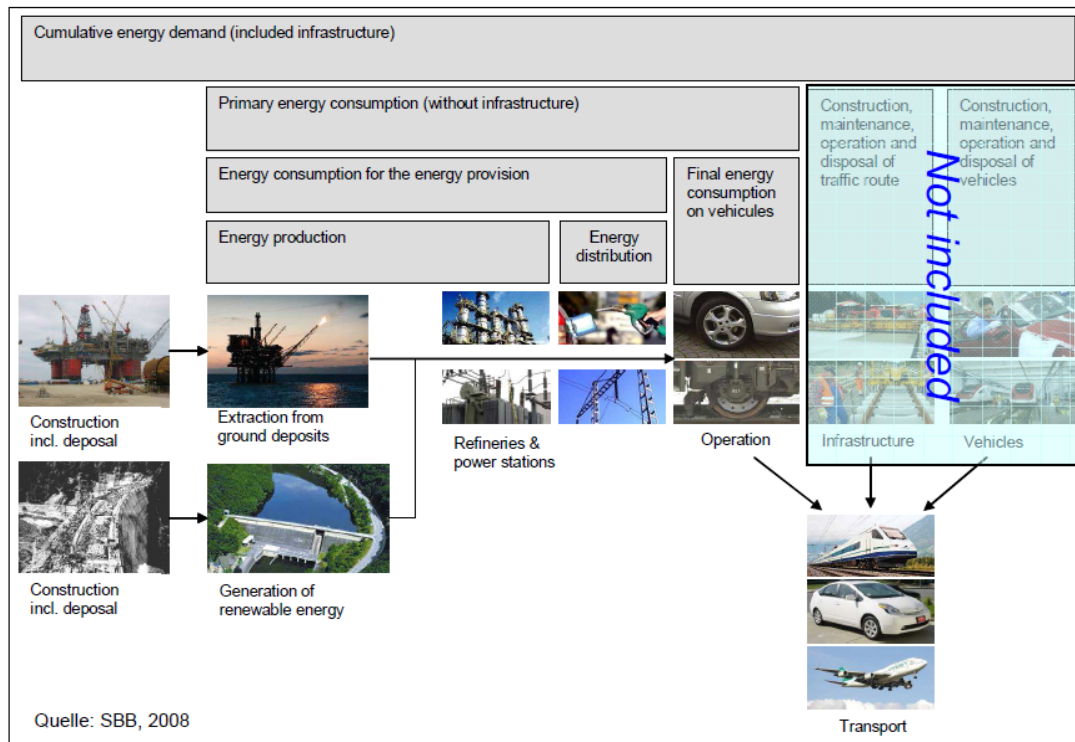
5.2.1.5. EcoTransIT World, para el transporte intermodal de mercancías

La *Ecological Transport Information Tool* (Herramienta de Información de Transporte Ecológico), EcoTransIT, es una herramienta gratuita disponible a través de Internet que da soporte a la gestión del transporte de mercancías en la búsqueda de una solución respetuosa con el medio ambiente. EcoTransIT no es un instrumento de prospectiva propiamente dicho, sino que sirve de apoyo para analizar la sostenibilidad ambiental de cadenas logísticas y redes de distribución que emplean uno o más modos de transporte, al comparar – entre otros parámetros - el consumo energético y las emisiones de CO₂ de las mercancías transportadas por tren, camión, barco y avión, y en servicios de transporte intermodal.

¹³ El ciclo LTO - *Landing Take Off* – comprende las fases de aterrizaje y despegue (por debajo de 3.000 pies) y rodaje/ralentí en pista hasta/desde el estacionamiento.

¹⁴ Incluye el ascenso/descenso hasta/desde los 3.000 pies.

Gráfico 5.3



Tal como muestra el gráfico 5.3, EcoTransIT cuantifica los impactos ambientales en términos de consumo directo de energía y las emisiones que producen los vehículos durante el transporte de las mercancías. Los cálculos cubren también los consumos indirectos y emisiones provenientes de la producción, el transporte y la distribución energética (combustible o electricidad) que se requiere para mover los vehículos. EcoTransIT no incluye sin embargo los impactos debidos a la producción y mantenimiento del vehículo, a la construcción y mantenimiento de infraestructuras, o los consumos de recursos adicionales como edificios, estaciones, aeropuertos, etc.

El cálculo de las emisiones y el consumo de energía en la cadena de producción de electricidad toma en cuenta el mix energético de cada país e incluye la exploración y extracción de la fuente energética primaria (carbón, petróleo, gas, energía nuclear, etc.), el transporte de estas fuentes de energía a la planta, también la conversión dentro de la planta (así como su construcción y desmantelamiento) y la distribución de energía (transformación y pérdidas en el cableado). Las principales fuentes de información utilizadas son la UIC, Eurostat y la Asociación Internacional de la Energía.

En la cadena energética de la producción de diesel, EcoTransIT tiene en cuenta la prospección y extracción del crudo, su transporte a la refinería (así como su construcción y desmantelamiento), el refinado de combustible, y el transporte a la estación de servicio. Los datos de emisiones y consumo de energía se obtienen de la base de datos Ecoinvent 2009.



CEDEX

Para el cálculo de las emisiones de operación del vehículo, EcoTransIT tiene en cuenta diversos factores que influyen en las emisiones generadas y la energía consumida en cada modo transporte de mercancías, entre los que destacan:

- El tipo de vehículo, en el caso de transporte por carretera y ferrocarril.
- El tipo de emisión de camiones (según categoría Euro) y trenes (según sea tracción eléctrica o diesel).
- Los factores medios de carga y de viaje en vacío en el caso de transporte por carretera, ferroviario o fluvial.
- La capacidad de carga máxima de los vehículos (según peso o volumen)
- La densidad de la red de transporte.

5.2.1.6. EcoPassenger: comparación de emisiones para distintos modos de transporte de viajeros

EcoPassenger es una herramienta de uso sencillo desarrollada por la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC) que calcula y compara el consumo de energía y emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes para el transporte de pasajeros en Europa en los modos de transporte carretera, ferrocarril y aéreo. EcoPassenger no es una herramienta de prospectiva propiamente dicha, sino que funciona como calculadora para comparar las emisiones de GEI entre los diferentes modos de transporte dentro de una misma ruta, utilizando datos promedio disponibles para todos los modos a nivel nacional.

Al igual que EcoTransIT, EcoPassenger no sólo calcula las emisiones y la energía o combustible consumido en la fase de operación de los vehículos, también incluye el cálculo de estos parámetros en la generación de electricidad y producción de combustible para la cadena que va “desde el pozo a la rueda”. Sin embargo, no se incluyen la producción y mantenimiento del vehículo, la construcción y mantenimiento de infraestructura y los consumos de recursos adicionales como edificios, estaciones, aeropuertos, etc.

La herramienta se construye sobre datos de consumo de energía y emisiones de los ferrocarriles europeos disponibles en la base de datos UIC de energía/CO₂ (en el caso de Francia se obtienen de un calculador específico); los factores de emisión de los motores diesel se toman del Rail Diesel Project (UIC 2006) y de UmweltMobilCheck (IFEU 2008). Los factores de emisión para la carretera se estiman con el modelo COPERT 4 v6.1. Para al modo aéreo, se usa la metodología Rail UmweltMobilCheck (IFEU 2008), con información adicional de EEA Guidebook 2009; las bases de datos son diversas (DLR, IFEU, EEA).

La cadena de producción de la energía eléctrica incluye la explotación y extracción de la materia prima y transporte a la entrada de la planta de energía, conversión en la planta de energía (incluyendo construcción y desmantelamiento de la planta) y distribución de energía (incluyendo transformación y pérdidas de cableado). Los factores de emisión de la producción de la electricidad dependen sobre todo del mix energético y de la eficiencia de producción. Para ello se considera el mix energético de cada país, el porcentaje de producción diario y estacional, la liberalización del mercado de la energía y la combinación de producción de calor-electricidad (base de datos de Energía de UIC 2009, Eurostat 2009 y Eurelectric 2007).

La cadena de producción del combustible incluye la explotación y extracción de la materia prima y transporte a la entrada de la refinería, conversión en la refinería (incluyendo construcción y desmantelamiento de ésta) y distribución del combustible (incluyendo el transporte a la gasolinera y las pérdidas del repostaje). Los factores de emisión y demanda de energía de la construcción y desmantelamiento de la refinería, exploración y preparación de los combustibles de entrada, el transporte a la refinería, la conversión en la refinería y el transporte a la gasolinera se toman de la base de datos Ecoinvent 2006.

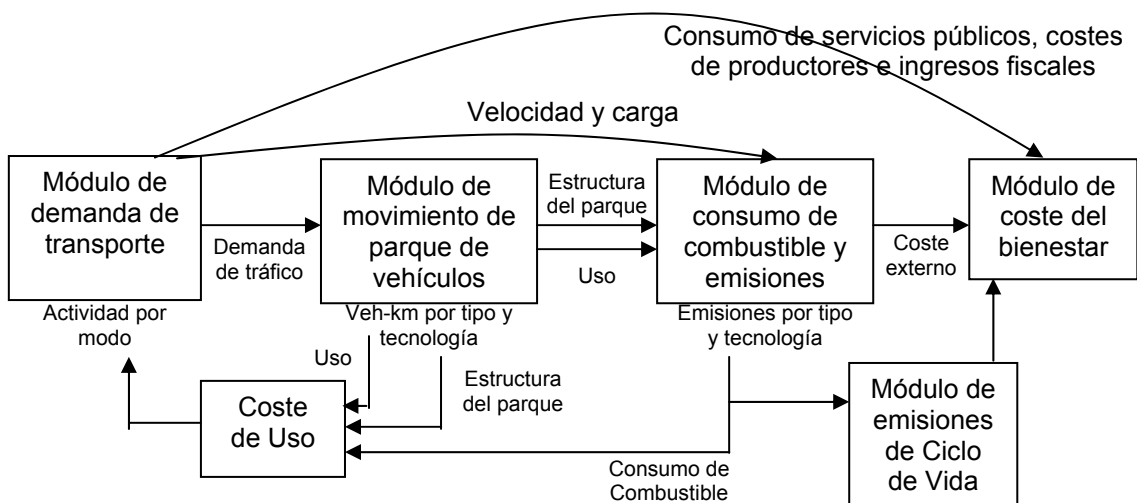
5.2.1.7. **TREMOVE. Transporte multimodal**

TREMOVE es un modelo de simulación de políticas de gestión del transporte y su incidencia en las emisiones que contempla 31 países europeos y 8 regiones marítimas. El modelo simula tanto el transporte de viajeros como el transporte de mercancías en todos los modos de transporte, el transporte marítimo y aéreo de larga distancia y cubre el periodo 1995-2030 con intervalos anuales.

Las versiones más modernas han sido desarrolladas por la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica) y Transport & Mobility Leuven, una empresa privada de investigación fundada por la propia Universidad Católica de Lovaina y TNO, organización de investigación independiente de Holanda. Este desarrollo se ha producido en el contexto del Programa Europeo Aire Limpio para Europa (CAFÉ), la Evaluación Intermedia del Libro Blanco del Transporte y varios proyectos de Investigación del Programa Marco.

TREMOVE es un modelo integrado de simulación desarrollado para el análisis estratégico de los costes y efectos de un amplio rango de instrumentos y medidas de políticas orientadas a los mercados locales, regionales y europeos de transporte. Permite un desarrollo de los módulos año a año. Los mismos módulos se usan tanto para el escenario base como para la evaluación de los escenarios que generan las diferentes políticas. Estos módulos conforman el modelo general y se relacionan de forma continua entre sí.

Así, TREMOVE estima la demanda de transporte, la distribución de esta demanda por modos, el movimiento del parque de vehículos, las emisiones de contaminantes atmosféricos, y el nivel de bienestar en función de la aplicación de diferentes políticas.





a) Parque de vehículos

El módulo de demanda de transporte produce valores agregados por modo. El módulo de parque de vehículos desagrega estos valores en vehículos-km por tipo de vehículo, tecnología y edad. Esto requiere un modelado y una predicción detallados de las estructuras de vehículos para cada modo.

Las flotas de vehículos de tren y carretera se modelan usando un enfoque desguace y venta. Cada año las tasas de desguace se aplican para estimar el número de vehículos desguazados. El total de venta de vehículos por modo se puede obtener comparando las existencias del parque de vehículos restante con el parque que se necesita para satisfacer la demanda de transporte. El siguiente paso es desagregar las ventas totales de cada modo en ventas por tipo, y tecnología de vehículo.

Para coches, motos, furgonetas y autobuses la desagregación por tipo de vehículo se realiza usando un modelo de elección discreta logit (multinomial). Estos modelos se han calibrado con datos de la consultora COWI, Eurostat y la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles.

Los vehículos de carretera se subdividen dentro de cada tipo de tecnología, así las tecnologías se han modelado en el escenario base correspondiente con los estándares de emisión de la UE, lo que está directamente relacionado con su antigüedad.

La desagregación de la venta de trenes se basa en insumos externos. Los porcentajes de venta se han determinado de tal manera que la evolución de la flota de trenes está en consonancia con las tendencias a largo plazo en la base de datos TRENDS (Transport and Environment Database System).

TREMOVE distingue 21 tipos de barcos de transporte marítimo interior. El modelo no incluye un enfoque desguace y venta para el transporte marítimo, algo que sí sucede en el transporte por carretera y ferrocarril como modelo complementario. Los porcentajes utilizados para la reposición de los diferentes tipos de barcos siguen otros criterios. La composición de la flota del escenario base se obtiene de datos detallados de la oficina Central Alemana de Estadística. Estos datos se extrapolan a otros países teniendo en cuenta las diferentes características de las redes de navegación interior.

No se ha modelado la flota de vehículos del transporte aéreo. Se desglosa esta flota en 5 clases distintas.

b) Consumo de combustible y emisiones

Los factores de emisión derivan de fuentes oficiales aceptadas en el seno de la UE:

- Carretera: Basados en la metodología de cálculo de COPERT IV.
- Tren y aviones: Los factores de emisión y consumo de combustible se han tomado de la base de datos de TRENDS.
- Marítimo: Los factores de emisión y consumo se han tomado de ARTEMIS.

c) *Emisiones del ciclo de vida*

Se centra en el ACV del combustible. Se tienen en cuenta las emisiones de la producción y distribución del combustible (o electricidad). Análisis WTT y TTW (del pozo al tanque y del tanque a la rueda).

5.2.2. Metodologías para el cálculo de las emisiones de infraestructuras nodales de transporte en explotación

5.2.2.1. Guía estadounidense para la elaboración de inventarios de emisiones de GEI en aeropuertos

Aunque en España no se han publicado metodologías específicas para la elaboración de inventarios de emisiones de GEI de aeropuertos, sí existen a nivel internacional algunos documentos de referencia que pueden resultar de interés. Tal es el caso, en concreto, del “*Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories*”, editado por el TRB con apoyo de la Federal Aviation Administration.

El objetivo de esta guía es proporcionar consignas precisas fundamentalmente a los operadores aeroportuarios sobre cómo desarrollar un inventario de emisiones de GEI específico para un aeropuerto. La guía proporciona unas consideraciones previas a la realización del inventario, así como métodos para calcular las emisiones (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFC y PFC) de cada componente aeroportuaria y hacer la equivalencia a emisiones de CO₂.

El inventario de emisiones se realiza distinguiendo los componentes indicados a continuación, así como el nivel de control que sobre las emisiones tiene el operador aeroportuario (siguiendo las pautas del GhG Protocol y USEPA):

- Aviones, incluido unidades de energía auxiliar, durante los ciclos de rodaje en tierra, aterrizaje y despegue, crucero y operaciones de verificación/mantenimiento en tierra.
- Equipos y vehículos de soporte a los aviones en tierra: remolque de equipaje, vehículos para servicio en cabina, escalerillas, etc.
- Equipos y vehículos dentro del recinto aeroportuario para servicios de mantenimiento invernadero y de emergencias.
- Infraestructuras e instalaciones fijas: energía asociada al funcionamiento de pistas, área de rodaje y estacionamiento de aviones y terminales, refrigerantes, generadores de emergencia.
- Equipos y vehículos de transporte terrestre dentro del recinto aeroportuario para traslado de tripulaciones, personal aeroportuario y pasajeros.
- Viajes de acceso terrestre al aeropuerto, tanto para suministros al aeropuerto como de quienes trabajan en el mismo y de los pasajeros en general.
- Actividades de mantenimiento y construcción.
- Otras actividades (gestión de residuos, explotación agraria de terrenos, etc.).

La tabla 5.4 muestra uno de los ejemplos de inventario de emisiones relacionadas con aeropuertos incluido en la guía. Aunque la mayoría de emisiones del transporte aéreo (90% de las emisiones de CO₂ y el 70% del CO) corresponden a la fase de crucero de los



vuelos, en tierra son significativas, por este orden, las emisiones procedentes de los vehículos que acceden al aeropuerto, de los aviones que ruedan en pista (además del aterrizaje/despegue), de las infraestructuras e instalaciones aeroportuarias fijas y, en menor medida, de los vehículos de asistencia en tierra.

Tabla 5.4 – Ejemplo de inventario de emisiones de GEI en un aeropuerto

User/Source Category	WRI Scope	Current Emissions (metric tons CO ₂ e)
A: Airport Operator Owned/Controlled		
Electrical consumption	2	41,400
Natural gas & heating oil	1	1,000
Airport fleet vehicles	1	10,000
Ground access vehicles (all vehicles on airport roads)	1/3	<u>14,567</u>
<i>Total Airport Operator Owned/Controlled</i>		66,967
B: Airlines/Tenants/Aircraft Operator Owned/Controlled		
Aircraft		
Ground	3	140,000
Ground to 3,000 ft	3	207,000
Above 3,000 ft	3	<u>1,890,000</u>
<i>Subtotal (Aircraft)</i>		<i>2,237,000</i>
Auxiliary Power Units	3	30,000
Ground support equipment	3	6,540
Ground access vehicles	3	1,278
Stationary sources/facility power	3	<u>0</u>
<i>Total Airlines/Tenants/Operator Owned/Controlled</i>		<i>2,274,818</i>
C: Public Owned/Controlled		
Public vehicles	3	235,467
Shuttles and private vehicles	3	<u>1,467</u>
<i>Total Public Owned/Controlled</i>		<i>236,934</i>
Total Categories A-C		2,578,719
Waste recycling		<u>(852)</u>
Grand Total Emissions		2,577,867

5.2.2.2. La guía de World Ports Climate Initiative sobre la huella de carbono en puertos

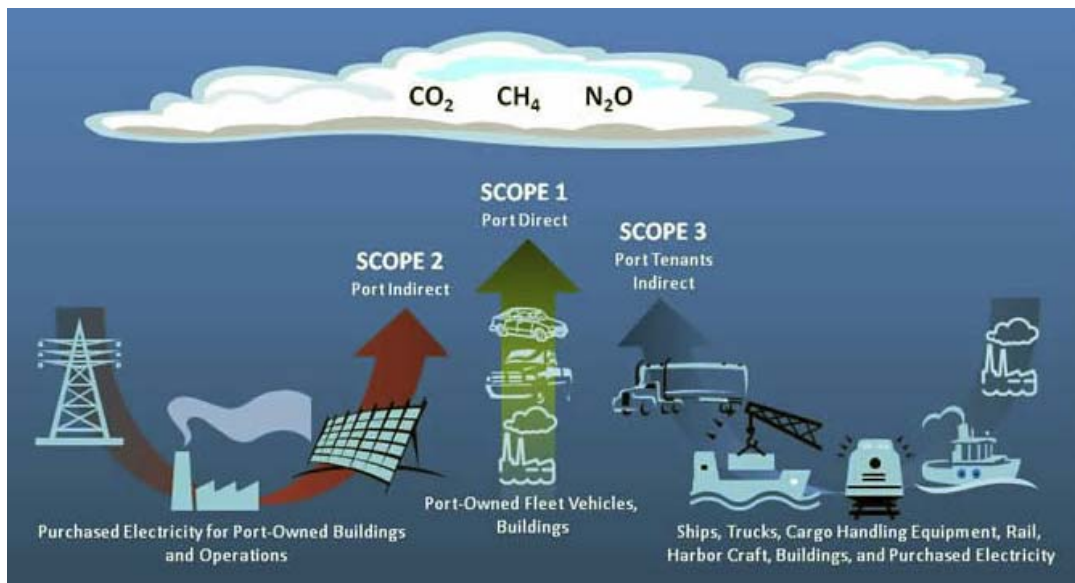
En 2008, la IAPH – *International Association of Ports and Harbors* – decidió promover un mecanismo para prestar apoyo a los puertos en materia de mitigación del cambio climático. A este mecanismo – actualmente conocido como *World Ports Climate Initiative* (WPCI) - se han adherido 59 puertos de todo el mundo. El grupo de trabajo del WPCI *Carbon Footprinting* publicó en 2010 la guía “*Carbon footprinting for ports: Guidance document*”, para los puertos interesados en estimar las emisiones de GEI asociadas a sus operaciones¹⁵.

¹⁵ Se han encontrado referencias también a una herramienta web para inventarios de emisiones de GEI (CO₂, N₂O y CH₄) denominada Portensys, con objeto de que los puertos finlandeses documenten sus emisiones anuales. Dicha herramienta contiene dos módulos, uno para

En la elaboración de la guía de la WPCI han participado más de una docena de autoridades y organizaciones portuarias, bajo el liderazgo del puerto de Los Angeles. Algunos de estos puertos – entre los que se encuentran Houston, Long Beach, Los Angeles, Nueva York & Nueva Jersey, Oakland, Oslo, Rotterdam, Seattle o Takoma – realizan desde hace varios años inventarios de emisiones de GEI. Otros puertos – como Jurong - se han basado en esta guía para realizar dichos inventarios más recientemente. En España, la guía del WPCI es una de las herramientas cuya aplicación está siendo actualmente evaluada por las Autoridades Portuarias de Valencia y Bahía de Algeciras, a través de su participación en el proyecto europeo Climeport¹⁶. En la bibliografía de este informe figuran algunas referencias de interés sobre informes realizados por algunos de los puertos mencionados.

La guía de la WPCI revisa cuáles son las emisiones de GEI asociadas con las operaciones portuarias (gráfico 5.5).

Gráfico 5.5 – Emisiones de GEI asociadas con las operaciones portuarias



Siguiendo las pautas del GhG Protocol, la guía clasifica las fuentes de emisiones según su *alcance*. Las fuentes de alcance 1 son aquellas que están directamente bajo el control y operación de la autoridad portuaria e incluye, entre otros, los vehículos que son propiedad de la autoridad portuaria, sus edificios y sus equipos para manipulación de cargas. Como fuentes de emisión indirecta o de alcance 2 se incluye la electricidad

barcos y otro para fuentes de emisiones terrestres. No ha sido posible sin embargo obtener información de carácter público sobre esta herramienta.

¹⁶ Los puertos de Valencia y de Bahía de Algeciras participan desde 2009 en el proyecto Climeport, entre cuyos objetivos está evaluar la contribución de los puertos mediterráneos al cambio climático. Durante 2011 se han completado sendos informes de diagnóstico sobre las emisiones de GEI en ambos puertos y el cálculo de la huella de carbono de ambos recintos portuarios.



comprada para los edificios y operaciones de la autoridad portuaria, aunque no la adquirida por los arrendatarios/concesionarios portuarios. Las otras fuentes de emisión (alcance 3) están asociadas sobre todo a la operación de los arrendatarios/concesionarios, e incluye típicamente barcos, camiones, su equipo de manipulación de carga, locomotoras ferroviarias, servicios marítimos portuarios (remolcadores, policía y guardacostas, botes turísticos, etc.), sus edificios y electricidad adquirida; incluye además la movilidad de personal del puerto y de los arrendatarios/concesionarios desde su casa al trabajo y viceversa.

La guía sugiere también métodos para estimar las emisiones de las distintas fuentes fijas o móviles (incluido los barcos), así como de equipos de construcción y dragado.

En general, las emisiones directas e indirectas de la autoridad portuaria suelen representar un porcentaje reducido frente al total de emisiones de un puerto, y varían en función del modelo de organización y operación portuaria y la especialización de sus tráfico¹⁷. La magnitud de las emisiones directas de la autoridad portuaria suele ser similar a sus emisiones indirectas. Entre las emisiones de los arrendatarios/concesionarios portuarios, los principales focos suelen ser los buques y las compañías de transporte que les sirven.

La tabla 5.6 recoge los resultados de los inventarios de emisiones de GEI de varios puertos estadounidenses, atendiendo al origen de los principales focos de emisión. Destacan de nuevo las emisiones debidas a los buques que escalan en el puerto y a los camiones que transitan por su recinto.

Tabla 5.6 – Principales focos de emisión de GEI en diversos puertos de Estados Unidos

Categoría	Los Ángeles (2010)	Houston (2007)	Long Beach (2010)
Buques que entran y salen del puerto	27%	31%	40%
Embarcaciones portuarias	6%	1%	5%
Equipos para manipulación de cargas	17%	18%	13%
Locomotoras ferroviarias	7%	9%	6%
Vehículos pesados	43%	41%	36%

Conviene hacer notar que, para hacer comparable las emisiones entre recintos portuarios o en situaciones anteriores y posteriores a la implantación de un nuevo plan en un puerto, conviene manejar, no tanto el valor absoluto de las emisiones, sino las emisiones por unidad de carga o viajero.

¹⁷ El Puerto de Oslo obtiene - al calcular su huella de carbono excluyendo la debida a arrendatarios/concesionarios - un reparto similar entre emisiones directas, emisiones indirectas debidas al consumo de electricidad y otras emisiones indirectas (fundamentalmente por desplazamientos hogar-trabajo de sus empleados).

5.3. ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ EN PLANES Y PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Las alternativas para reducir las emisiones de GEI vinculadas a un plan o programa de infraestructuras de transporte giran básicamente en torno a:

- La posibilidad que tenga el promotor de coordinar el plan o programa con la planificación de otras actividades fuertemente vinculadas a la generación de demanda de viajes, como es el caso del planeamiento territorial y urbanístico.
- Tratar de influir – a través del plan o programa - en el comportamiento de la demanda de transporte, especialmente en viajeros, para reducirla y encaminarla hacia los modos de transporte menos contaminantes.
- Para la construcción y mantenimiento de las infraestructuras de transporte, recurrir a prácticas, técnicas y materiales lo menos intensivos posible en consumo energético.
- Ya en fase de explotación de las infraestructuras, mejorar la eficiencia de su funcionamiento – tanto del sistema en su conjunto como de cada modo de transporte de manera aislada - y la optimización del uso de los vehículos.
- Promover el empleo de vehículos eficientes en el uso de combustibles de origen fósil y favorecer la introducción del uso de combustibles alternativos bajos en contenido de carbono.

5.3.1. Coordinación de la planificación del transporte con la ordenación territorial y el planeamiento urbanístico

La planificación del transporte tiene efectos considerables en el territorio ya que posee una significativa capacidad de modificar e impulsar el desarrollo territorial y el desarrollo urbano, incluso antes de que sus propuestas se lleguen a ejecutar. En particular, toda nueva infraestructura produce una reordenación en la accesibilidad relativa de su territorio de influencia, propiciando nuevos usos del suelo, por lo que estos efectos deben analizarse con antelación con el fin de conseguir que el sistema de transporte sea coherente con el modelo territorial que se propone impulsar.

Por su parte, la planificación territorial debe integrar las líneas estratégicas de la planificación del sistema de transporte, que ha de concebirse como un soporte básico para el logro de los objetivos territoriales previstos.

Es por tanto fundamental y necesaria la coordinación entre la planificación territorial y de transportes. Ello permitirá atender mejor cuestiones como:

- La previsión de las necesidades de movilidad derivadas de las actuaciones de transporte contempladas (movilidad inducida).
- La evaluación de los impactos sobre las dinámicas territoriales de las infraestructuras y servicios de transporte previstos.
- La integración en la planificación territorial de las infraestructuras y reservas de espacio necesarios para servir adecuadamente a las necesidades de movilidad.
- El tratamiento de manera integrada de grandes equipamientos y centros de fuerte atracción-generación de viajes de personas y mercancías.



En este contexto, los pactos de movilidad y la creación de figuras supra-municipales de coordinación de los planes urbanísticos y de transporte suelen resultar útiles para establecer mecanismos de coordinación administrativa y de consenso a largo plazo, imprescindible para poder consolidar modelos territoriales.

5.3.2. Transferencia de la demanda de movilidad a los modos de transporte más sostenibles en términos de emisiones

El plan o programa debiera favorecer, en la medida de lo posible, una movilidad mediante el uso de los modos de transporte más sostenibles desde el punto de vista de las emisiones de GEI.

Frente a la preeminencia del transporte por carretera, en el ámbito interurbano de las mercancías, conviene promover en el ámbito interurbano de las mercancías corredores ferroviarios si la distancia y la cantidad de mercancías lo aconsejan, e impulsar el desarrollo de infraestructuras específicas y plataformas en los principales nodos de la red. También cabe potenciar la intermodalidad ferroportuaria, reforzando la accesibilidad ferroviaria a los puertos y consolidando la integración del ferrocarril con las plataformas logísticas terrestres.

Asimismo, cabe plantear la potenciación del transporte marítimo de corta distancia y el desarrollo de las denominadas Autopistas del Mar, dentro de un sistema intermodal de ámbito intraeuropeo, mediante el desarrollo de instalaciones específicas, con medidas normativas y de apoyo económico y financiero al sector para la puesta en marcha y consolidación de este tipo de servicios, facilitando su desarrollo e integración en las cadenas intermodales de transporte, con las debidas garantías de calidad, seguridad y de coste energético.

En la movilidad de las personas se han de incorporar mejoras que permitan la conexión de la red ferroviaria de alta velocidad con la red ferroviaria convencional, favorecer el desarrollo de las infraestructuras de transporte ferroviario metropolitano y de las plataformas reservadas a autobuses y a vehículos de alta ocupación, así como de estaciones de autobuses e intercambiadores intermodales y plataformas de estacionamiento disuasorio. También conviene ajustar los sistemas de transporte a la demanda en las zonas de baja densidad de población y con características especiales.

Además, se debería promover la dotación de accesos y servicios de transporte público a las terminales de transporte interurbano, con el fin de ofrecer al usuario alternativas de movilidad más eficientes que el vehículo privado.

5.3.3. Planificar las redes de transporte para facilitar el desarrollo de una oferta modal integrada, multimodal e intermodal

Cada modo de transporte tiene ámbitos preferentes de aplicación. Una planificación de transporte que considere el conjunto de redes y modos facilita el desarrollo de una oferta de modos alternativos para los desplazamientos – multimodalidad - y la combinación entre modos – intermodalidad - para lograr el mejor funcionamiento posible del conjunto. Por otra parte, este planteamiento favorece la consideración en toda su importancia de

los objetivos socioeconómicos, funcionales y ambientales a la hora de seleccionar las alternativas a favorecer en el futuro, y permite un mayor margen de maniobra para satisfacer las necesidades de movilidad sin comprometer la consolidación de modelos urbanos sostenibles.

La separación tradicional entre modos de transporte, y su consideración como sistemas en competencia, y no en cooperación, por parte de titulares y operadores, ha dificultado el desarrollo de la multimodalidad e intermodalidad.

La relativa complejidad técnica de las soluciones a adoptar, la necesidad de incorporar a los distintos operadores y agentes de las distintas Administraciones en operaciones de fomento de la intermodalidad obliga a la utilización de instrumentos de cooperación y concertación tanto institucional como social.

5.3.4. Recurrir a prácticas, técnicas y materiales de construcción y mantenimiento de las infraestructuras menos intensivos en consumo energético

Los planes y programas raramente llegan a tratar en detalle los aspectos constructivos de las infraestructuras, por ser más propio de los proyectos que los desarrollan. Aún así, se incluyen a continuación algunas consideraciones al respecto.

La maquinaria utilizada en las obras es una de las principales causas de emisión de GEI durante la construcción de infraestructuras. Consecuentemente, una de las medidas para reducir dichas emisiones será recurrir o favorecer a aquellas empresas constructoras y de mantenimiento que adecuen en lo posible el dimensionamiento de la flota de vehículos utilizados a las características de la obra, y utilicen vehículos y maquinaria más modernos, i.e. más eficientes en consumo de combustible (incluso híbridos o que usen combustibles alternativos), bien mantenidos y que dispongan de sistemas que minimicen los tiempos de funcionamiento en régimen de ralentí.

También conviene valorar el compromiso general de las empresas constructoras con la mitigación del cambio climático, por medio – por ejemplo – de la incorporación de determinadas prácticas que redunden en una reducción de las emisiones de GEI durante la ejecución de las obras (por ejemplo: la conducción eficiente de los vehículos; el uso de generadores en obra que funcionen con electricidad o incluso energía solar, en lugar de hacerlo con fuel; el control de humedad en los áridos para producción de la mezcla asfáltica; etc.).

En obras lineales, conviene valorar sobre todo la opción de:

- utilizar materiales locales de construcción, cercanos a la traza;
- reciclar materiales en el caso de obras de rehabilitación; o
- fabricar materiales in situ (hormigón, mezcla asfáltica), frente a la alternativa de transporte desde plantas fijas.

En obras de carreteras, es conveniente valorar algunas técnicas de pavimentación, como el reciclado en caliente in situ, el empleo de material reciclado en mezclas en caliente y el empleo de mezclas templadas, o incluso plantear el uso de pavimentos de hormigón en lugar de materiales bituminosos.



CEDEX

5.3.5. Mejora de la eficiencia del sistema ferroviario y optimización en el uso de trenes

En el modo ferroviario, las emisiones de GEI provienen fundamentalmente de las locomotoras diésel, empleadas en España sobre todo para transporte de mercancías, formación de trenes y/o en líneas no electrificadas. En consecuencia, al elaborar planes o programas debería valorarse la posibilidad de electrificación de líneas y de sustitución de locomotoras diésel por locomotoras con energía eléctrica.

Otras medidas a considerar que afectan a la eficiencia del transporte ferroviario y pueden tener un impacto directo sobre el ahorro energético y las emisiones de GEI son:

- La adaptación de la red ferroviaria española a la circulación de trenes de mercancías de mayor longitud (750 m).
- Mantener el concepto de red mixta, que permita el uso conjunto para servicios de viajeros y mercancías.
- Definir un mapa de nodos de intercambio y sus accesos ferroviarios, apoyado con la construcción de ramales específicos (by-pass) para mercancías en las redes arteriales ferroviarias de áreas metropolitanas.

Bajo responsabilidad directa de los operadores ferroviarios cabría plantear medidas como:

- Incorporar locomotoras al parque diésel existente energéticamente más eficientes.
- Utilizar locomotoras de potencia variable¹⁸ o híbridas para formación de trenes.
- Dotar a las locomotoras de sistemas inteligentes de monitoreo a bordo que indiquen al conductor qué velocidad es la óptima en función del trazado de la vía y las características del tren.
- Formar a los maquinistas en técnicas de conducción eficiente.
- Incorporar a los trenes todas las energías alternativas posibles a su alcance, como servicios de climatización de vagones con energía geotérmica.

Además cabría valorar la incorporación de algunas medidas de ahorro energético contrastadas a través de proyectos de investigación, como son la devolución de energía a la red gracias al freno regenerativo e instalación de subestaciones bidireccionales, la sincronización de operaciones de arranques y paradas, el empleo de técnicas de lubricación sobre el raíl, etc.

En España, el proyecto de investigación ElecRail - desarrollado entre 2007 y 2011 dentro de la convocatoria del PEIT gestionada por el CEDEX – ha realizado un inventario y análisis sistemático de las medidas posibles para reducir el consumo de energía de los ferrocarriles eléctricos y la explotación del freno regenerativo. ElecRail - proyecto liderado por la Fundación de los Ferrocarriles Españolas – se centra en el transporte ferroviario de pasajeros, cubriendo los segmentos que producen la mayor parte del tráfico y la inversión: alta velocidad, ferrocarriles metropolitanos y servicios de cercanías. El proyecto

¹⁸ La locomotora está dotada de varios motores independientes que se encienden o apagan según la potencia de arrastre que requiera la misma.

analiza, entre otros, los efectos del empleo de materiales ligeros en la construcción de vehículos, el impacto de la aerodinámica del tren, los sistemas de cogeneración a la red, la acumulación de la energía regenerada y el diseño eficiente de horarios y conducción de los trenes. También modela otros aspectos relacionados con las instalaciones de suministro de energía: tensión de la electrificación, esquema eléctrico, cogeneración, devolución de energía a la red (freno regenerativo, instalación de subestaciones bidireccionales, almacenamiento estático), etc.

5.3.6. Mejora de la eficiencia del sistema viario y optimización del uso de los vehículos

Entre las medidas a valorar para reducir las emisiones de GEI durante la fase de explotación de las infraestructuras viarias están:

- Mejorar la gestión del tráfico empleando medidas y tecnologías que reduzcan la congestión y hagan la circulación más fluida, por ejemplo por medio de una resolución más rápida de las incidencias, la implantación de carriles reversibles – con apoyo especialmente de las nuevas tecnologías -, la aplicación de tarifas punta y valle en tramos de peaje, el control de accesos, etc.
- Proporcionar información actualizada en tiempo real a los conductores y viajeros sobre condiciones del tráfico, accidentes, condiciones meteorológicas adversas, obras en la carretera, eventos especiales, etc.
- Actuar sobre cuellos de botella puntuales en la infraestructura, tales como enlaces o intersecciones.
- Limitar la velocidad máxima de circulación de los vehículos en vías de gran capacidad (el consumo de carburante es inferior cuando la velocidad de los vehículos se sitúa en torno a 50-70 km/h y empieza a subir considerablemente a partir de 100 km/h).
- Incentivar el empleo de vehículos lo menos contaminantes posible, por ejemplo escalando el coste del peaje de los vehículos pesados según su estándar Euro.
- Incentivar la ocupación de los vehículos, por ejemplo permitiendo que los turismos con tres o más viajeros a bordo utilicen carriles reservados al transporte público o se beneficien de tarifas de peaje reducidas.
- Flexibilizar en determinadas vías los límites máximos para dimensiones y pesos de los vehículos pesados, con objeto de optimizar el transporte de mercancías.

5.3.7. Plantear la incorporación de medidas de reducción de emisiones en infraestructuras nodales en explotación

La cultura del ahorro energético y de reducción de emisiones de GEI debe tener cabida también en infraestructuras nodales (espacios portuarios o aeroportuarios principalmente, pero también en estaciones ferroviarias, áreas de servicio en carreteras, etc.), donde los titulares o gestores de las mismas pueden no sólo actuar directamente sino también promover que los diferentes operadores que participan en la explotación del nodo (concesiones de servicios a aviones o buques, servicios a los viajeros, terminales especializadas, ...) cuenten con una cultura creciente de “carbono cero”, que promueva medir las emisiones, planificar su reducción y elaborar proyectos para su reducción.



CEDEX

En nodos portuarios y aeroportuarios, es posible por ejemplo promover el uso de espacios afectados por un plan o programa para generación de energías renovables. Por citar algunos ejemplos:

- Cabe plantear que los diques portuarios de protección dispongan de minigeneradores eólicos, lo que permitiría abastecer de energía verde a las propias concesiones portuarias.
- Es posible promover diseños de edificaciones que incorporen en lo posible placas solares en sus cubiertas, con la ventaja de adaptarse bien para este uso.

Se puede igualmente reconsiderar la generación de la energía distribuida mediante:

- La instalación de sistemas de energía solar térmica en espacios cívicos comunes para agua caliente sanitaria.
- La climatización de edificios comunes y específicos con energía solar térmica.
- La sustitución de sistemas de iluminación ineficientes (incandescentes, vapor de mercurio) por lámparas eficientes.
- La utilización de energía geotérmica de baja temperatura para agua caliente sanitaria y climatización.
- La introducción de sistemas de climatización de conjunto, con especial hincapié en el uso de fuentes de energía renovable.
- Instalaciones de producción de energía a partir de biomasa en zonas y espacios poco poblados.
- La potenciación de plantas de cogeneración, para aquellos sistemas de calefacción, agua caliente y refrigeración donde la energía de origen renovable no es suficiente, que permiten suministrar la energía adicional para incorporar los niveles de confort adecuado.

A la hora de identificar con cierto detalle posibles estrategias para la reducción de emisiones de GEI en el ámbito aeroportuario, puede ser interesante recurrir como referencia al *ACRP Report 56*, publicado por el Transportation Research Board norteamericano y esponsorizado por la Federal Aviation Administration de ese país. En el ámbito portuario, la International Association of Ports and Harbors ha recopilado también – dentro del *IAPH Tool Box for Greenhouse Gases* – las estrategias a las que puede recurrir un puerto para reducir sus emisiones. El informe *Sharing Best-Practices in Reducing Greenhouse Gas Emissions at Ports* del Grupo de Expertos Marítimo de la APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation) ilustra la implantación que se ha hecho de algunas de estas prácticas en diversos puertos. Los párrafos siguientes describen con algo más de detalle estas iniciativas.

5.3.7.1. Incorporación de medidas en el ámbito aeroportuario: el ACRP Report 56

El ACRP Report 56 constituye una verdadera guía para los operadores aeroportuarios a la hora de identificar, evaluar y priorizar estrategias para reducir las emisiones de GEI. La guía considera una panoplia de posibles estrategias que pueden ser implantadas en distintas clases de aeropuertos, tanto directamente por los titulares o gestores aeroportuarios como en colaboración con otros operadores, incluidos las líneas aéreas o los concesionarios de los distintos servicios aeroportuarios.

El *ACRP Report 56* identifica y describe 125 posibles estrategias para la reducción de emisiones de GEI, que organiza en torno a las siguientes 12 categorías:

- Diseño y operación del aeropuerto
- Planificación del negocio
- Construcción
- Secuestro de carbono
- Gestión de la energía
- Equipos de apoyo en tierra
- Transporte terrestre
- Materiales y energía empleada para su producción
- Operación y mantenimiento
- Medición del funcionamiento
- Energía renovables
- Refrigerantes

Cada una de las estrategias se ha evaluado a través de once criterios, de los cuales tres se refieren a consideraciones económicas, tres a su implantación y los restantes a sus impactos potenciales:

- Costes de implantación estimados
- Costes de mantenimiento y operación estimados
- Periodo de amortización estimado
- Tiempo necesario para su implantación
- Madurez de la estrategia de reducción de emisiones
- Control del aeropuerto
- Potencial de reducción de GEI en el ámbito de responsabilidad directa o indirecta del responsable aeroportuario
- Potencial de reducción de GEI fuera del ámbito de responsabilidad del responsable aeroportuario
- Impactos sobre los recursos naturales
- Impactos sobre el medio ambiente habitado
- Impactos sobre el cumplimiento del marco regulador.

Las estrategias a las que se otorga mayor prioridad son aquellas cuyo coste de implantación es relativamente reducido y cuyo potencial de reducción de GEI es relativamente elevado, o bien cuyo periodo de amortización es relativamente corto y su potencial de reducción de GEI alto. Las tablas siguientes ilustran – a modo de ejemplo - cuáles son las estrategias que se situarían bajo la primera de estas premisas.



Tabla 5.7 - Ejemplos de estrategias para la reducción de emisiones de GEI con coste estimado de implantación bajo (<\$10.000) y elevado potencial de reducción









Potencial de reducción de emisiones de GEI: Alcance 1 & 2	
<p>Medio: El potencial de reducción varía de bajo a alto, en función de las condiciones concretas de implementación</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Invertir en sumideros de carbono terrestres - Especificar requerimientos de eficiencia energética para equipos en contratos y acuerdos - Mejorar el aislamiento de los edificios - Cambiar puntos de toma o excluir determinadas zonas de calefacción o refrigeración - Implementar un programa de eficiencia energética en el sistema de alumbrado - Instalar sistemas de refrigeración por evaporación - Diseñar tuberías de diámetro superior
<p>Alto: El potencial de reducción es siempre relativamente alto</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar el diagnóstico inteligente de fallos para los sistemas de refrigeración HVAC
Potencial de reducción de emisiones de GEI: Alcance 3	
<p>Medio: El potencial de reducción varía de bajo a alto, en función de las condiciones concretas de implementación</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Implantar incentivos y tasas de aterrizaje basadas en el nivel de emisiones de los aviones - Apoyar la modernización de la gestión del tráfico aéreo (ATM) - Apoyar el desarrollo de combustibles alternativos para los aviones - Apoyar el estacionamiento con motor único o reducido - Apoyar el uso de tractores push-back para transportar los aviones al área de estacionamiento, final de pista o área de despegue - Invertir en sumideros de carbono terrestres - Especificar requerimientos de eficiencia energética para equipos en contratos y acuerdos - Mejorar el aislamiento de los edificios - Apoyar el empleo de equipos de servicio en tierra que empleen combustibles alternativos - Proporcionar aparcamiento preferente para empleados que compartan vehículo - Promover el uso de transporte público para acceder al aeropuerto - Actuar sobre el precio del aparcamiento para empleados y pasajeros - Apoyar la conversión de las flotas de vehículos de los concesionarios de servicios y comerciales a vehículos que usen combustibles alternativos - Incorporar el diagnóstico inteligente de fallos para los sistemas de refrigeración HVAC
<p>Alto: El potencial de reducción es siempre relativamente alto</p> 	<p>Ninguna</p>

Tabla 5.8 - Ejemplos de estrategias para la reducción de emisiones de GEI con coste estimado de implantación relativamente bajo (\$10.000-\$100.000) y elevado potencial de reducción

Potencial de reducción de emisiones de GEI: Alcance 1 & 2	
<p>Medio: El potencial de reducción varía de bajo a alto, en función de las condiciones concretas de implementación</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Emplear evaluaciones de impacto de GEI como criterio de decisión - Utilizar guías específicas para la planificación, diseño y construcción de aeropuertos sostenibles - Participar en un programa para acreditación o registro de las emisiones de GEI - Emplear imágenes térmicas para identificar pérdidas energéticas - Requerir que el diseño de edificios esté orientado a la reducción del uso de energía - Aplicar pintura solar reflejante - Instalar enfriadores energéticamente eficientes - Instalar filtros y marquesinas para protección contra el sol en ventanas - Realizar inventarios periódicos de emisiones de GEI - Instalar sistemas térmicos solares para producción de agua caliente
<p>Alto: El potencial de reducción es siempre relativamente alto</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer una estrategia para la compra de compensación de carbono - Reemplazar refrigerantes por otros gases con menor efecto invernadero potencial - Instalar componentes microcanal e intercambiadores de calor
Potencial de reducción de emisiones de GEI: Alcance 3	
<p>Medio: El potencial de reducción varía de bajo a alto, en función de las condiciones concretas de implementación</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar el empleo de las unidades auxiliares de energía (APU) - Reciclar y reutilizar los residuos de construcción y demolición - Proporcionar descuentos en las tarifas de transporte público - Apoyar el empleo de vehículos comerciales que utilicen combustibles alternativos - Realizar inventarios periódicos de emisiones de GEI
<p>Alto: El potencial de reducción es siempre relativamente alto</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Apoyar la gestión optimizada de los despegues en las pistas existentes

5.3.7.2. Incorporación de medidas en el ámbito portuario: el IAPH Tool Box for Greenhouse Gases

La guía de la IAPH describe un compendio de las medidas que pueden tomar tanto las autoridades portuarias como los distintos operadores portuarios para reducir las emisiones de GEI en un puerto. Las medidas mencionadas – agrupadas por categorías – son las siguientes:



CEDEX

- Políticas portuarias y fuentes de emisión directamente controladas:
 - Uso de vehículos que utilicen combustibles alternativos, incluido vehículos eléctricos o híbridos.
 - Desarrollo de programas para que el desplazamiento al trabajo de los empleados se haga en transporte público, en bicicleta, andando, en coche compartido, etc.
 - Implantar estándares de eficiencia energética en las edificaciones nuevas o existentes.
 - Aumentar la eficiencia de las operaciones portuarias.
 - Plantación de árboles y zonas verdes.
 - Aumentar el uso de alumbrado energéticamente eficiente en las terminales.
- Generación de electricidad con energías renovables:
 - Generación de energía solar.
 - Compra de energía procedente de fuentes renovables.
- Buques:
 - Reducción de la velocidad de los buques (unos 12 nudos) en la zona portuaria y proximidades del puerto.
 - Suministro de energía al buque desde la costa mientras éste está atracado en el muelle (los mejores candidatos para ello son los buques portacontenedores, los barcos frigoríficos y los cruceros).
 - Otorgar beneficios (por ejemplo, reduciendo las tasas portuarias) a aquellos buques con motores y equipos energéticamente más eficientes y/o con menores emisiones.
- Embarcaciones portuarias:
 - Poner áreas de “aparcamiento” para las embarcaciones con fuentes de alimentación terrestre, para que éstas puedan apagar sus motores en espera de entrar en servicio.
- Equipos de manipulación de cargas:
 - Sustituir las grúas pórtico móviles, tractores y otros equipos de la terminal que funcionan con motores diésel por grúas y equipos eléctricos.
- Vehículos pesados:
 - Descongestionar los accesos viarios a las terminales del puerto (por ejemplo, mediante identificación automática de vehículos).
 - Otorgar beneficios a los transportistas por carretera que utilicen vehículos que cumplan con los requerimientos más actuales y exigentes de emisiones.
 - Promover el empleo de vehículos eléctricos o híbridos para trasladar cargas dentro del recinto portuario y su zona próxima de influencia (almacenes, áreas logísticas, terminales ferroviarias, etc.).
 - Promover que los transportistas por carretera utilicen camiones híbridos o eléctricos para la carga y descarga de mercancías en el puerto.
- Locomotoras ferroviarias:
 - Instalar equipos en las locomotoras diésel para minimizar las emisiones cuando éstas no estén operando.
 - Reemplazar las locomotoras diésel que operan en el puerto por locomotoras híbridas.

5.3.8. Alternativas en el caso particular del transporte urbano

5.3.8.1. Reducción de las necesidades de movilidad y gestión de la demanda

En la fase de evaluación de planes y programas en el ámbito urbano es clave incluir criterios de gestión de la demanda, cambiar la preeminencia de una lógica "de oferta" sobre una lógica "de demanda" en la configuración metropolitana: cambiar el comportamiento de una oferta de servicios de todo tipo controlada por unos operadores que reproducen los mismos modelos de oferta en todas las grandes ciudades, basados en el atractivo de precio, de calidad, incluso de "seguridad", que se impone sobre la lógica tradicional que privilegiaba la "proximidad" física y de "contacto personal". Algunas alternativas para ello son:

- Promover políticas de aparcamiento restringido para vehículos privados en áreas congestionadas, con zonas reservadas para los residentes y zonas de aparcamiento limitado.
- Adecuar progresivamente el sistema de cargas y tarifas directas sobre la movilidad y el uso de la infraestructura a un esquema que integre las externalidades, que equipare transporte público y privado en lo que concierne a los costes de producción y utilización de los sistemas y que regule la accesibilidad ordenada al núcleo urbano y al centro de las ciudades y disuada de hacer un uso poco racional del vehículo privado.
- Desarrollar medidas coercitivas como los peajes urbanos.
- Mejorar la información por parte de las administraciones públicas competentes sobre la oferta de transporte, especialmente público y no motorizado, y el estado del tráfico apoyándose en la tecnología de la información.
- Conseguir la mayor transparencia posible en la estructura de costes del transporte urbano, aplicando en este ámbito el principio de "quien contamina, paga", rompiendo el principio de caja única para fortalecer los recursos disponibles del transporte público.

5.3.8.2. Movilidad alternativa al vehículo privado, con carriles BUS y BUS/VAO

Es posible priorizar las obras de infraestructura que potencien el transporte público, en detrimento del vehículo privado, introduciendo además variables que hagan más atractivo el uso del transporte público a los ciudadanos, en términos de frecuencia, calidad, accesibilidad e información.

Para lograr una movilidad alternativa al vehículo privado, es posible fomentar actuaciones en medio urbano mediante infraestructuras reservadas, específicamente dedicadas al transporte colectivo de viajeros como los carriles BUS y BUS/VAO. La implantación de carriles de alta ocupación en los principales corredores metropolitanos de la red viaria puede ser progresiva, atendiendo a las circunstancias particulares de cada situación concreta y a factores como el volumen de tráfico y los problemas de congestión, la demanda de viajes en autobús, la existencia o previsión de realización de intercambiadores de transporte, o la viabilidad física y disponibilidad de espacio para la inserción de la plataforma.



5.3.8.3. Promover una utilización racional del vehículo privado

Cada modo de transporte en la ciudad tiene su ámbito de utilización. Ese “ámbito adecuado” viene definido por las características y necesidades del usuario, la influencia o repercusiones que puede tener el desplazamiento sobre el resto de usuarios del sistema de transporte y sobre los ciudadanos, el entorno en el que se realiza el desplazamiento o las condiciones del desplazamiento. Las políticas públicas deben dirigirse, de manera coordinada, a favorecer para cada tipo de desplazamiento el uso de aquellos modos de transporte más adecuados.

Las medidas que pueden adoptar las diferentes administraciones resultan poco eficaces si no obedecen a un esfuerzo y estrategia compartidos. Por ejemplo, las políticas de tarificación y ordenación del aparcamiento en el centro sólo resultan plenamente eficaces si se ofrecen alternativas de acceso al centro de la ciudad en transporte público; las inversiones en transporte público pueden ser una ocasión para redistribuir el espacio público entre los diversos tipos de vehículos en el itinerario o corredor afectado y, de esta manera, puede esperarse captar nuevos usuarios; las inversiones a realizar deben ser coherentes con las políticas de sensibilización y de estímulo al cambio modal, que requieren mucho tiempo para desarrollarse y tienen una gran fragilidad.

Las actuaciones a favor del cambio modal incluyen un importante componente social, además de tratarse de actuaciones con un alcance de largo plazo, que obliga a contar con una estabilidad y consenso creciente en el tiempo para ser progresivamente compartidas por una parte cada vez mayor de la población.

Las políticas para la racionalización del uso del vehículo privado cubren un amplio abanico: desde las infraestructuras (construcción y gestión), hasta la intervención sobre los costes (fiscalidad, tarificación de uso de aparcamiento y de otras infraestructuras...), pasando por la sensibilización y apoyo a los ciudadanos, la educación, la gestión urbanística tanto del conjunto de la ciudad como de sus espacios públicos, o la tecnología, para ofrecer vehículos y combustibles más adecuados al entorno en el que se utilizan.

Entre los elementos sobre los que es posible actuar, puede destacarse las características - consumo, tamaño o emisiones - del vehículo utilizado en el desplazamiento. También se ha de procurar una política de máxima ocupación de los vehículos, favoreciendo y equiparando en ventajas a los vehículos privados con tres o más viajeros con los que cuentan los vehículos de transporte público en cuanto a carriles reservados y aparcamiento de vehículos.

Evolucionar hacia el concepto de “comodalidad” entre los distintos modos de transporte colectivo y entre los diversos modos de transporte individual (automóvil privado, bicicleta y marcha a pie) contribuirá asimismo a mejorar la movilidad en zonas urbanas dispersas, donde el transporte público no puede competir con las oportunidades que ofrece el vehículo privado,

Convendrá poner además atención al desarrollo de fórmulas y servicios alternativos a la propiedad del vehículo privado, que cubran de manera satisfactoria las necesidades singulares y ocasionales de movilidad que puedan tener los ciudadanos que no dispongan de vehículo propio.

5.3.8.4. Fomentar los modos de transporte no motorizados

En ciudades como Madrid y Barcelona, la movilidad con transporte motorizado ocupa el 70% de la superficie de la ciudad y resuelve aproximadamente el 30% de los desplazamientos. Por medio de una progresiva concienciación ciudadana y de la actuación desde los poderes públicos es posible ir invirtiendo esta tendencia, a través del fomento de los modos de transporte no motorizados, dándoles relevancia en la movilidad urbana e incrementando las oportunidades para el peatón y la bicicleta como modos de transporte alternativo con consecuencias muy positivas sobre la salud. Es recomendable impulsar los carriles bici y los itinerarios peatonales como modos no motorizados que fomentan la sostenibilidad de las ciudades, o poner en marcha una política de movilidad viaria que concilie la movilidad del automóvil con la bicicleta, mediante zonas 30 para el calmado de tráfico. También es posible crear zonas prioritarias de acceso de estos modos que permitirán desplazar a los vehículos a un segundo plano, o acondicionar los espacios públicos mediante el establecimiento de áreas de coexistencia e itinerarios de preferencia a los modos no motorizados.

5.3.8.5. Fomento y mejora del sistema de transporte público

El sistema de transporte público debe ser una alternativa atractiva para atender las necesidades de movilidad de los ciudadanos. Los estilos de vida y el crecimiento disperso de las áreas metropolitanas constituyen un reto para los gestores, al obligar a expandir las redes y a crear nuevos tipos de servicio sin comprometer la viabilidad financiera del sistema.

La mejora del transporte público tiene una evolución similar en muchas ciudades: en primer lugar, se intenta establecer un sistema más integrado, mediante horarios coordinados y tarifas simplificadas, reordenando y conectando entre sí los servicios existentes y creando nodos de intercambio, para conseguir que el transporte público funcione como una red. Por otra parte, se atiende y mejora la calidad de los servicios, con una gestión por parte de los operadores cada vez más orientada hacia las necesidades de los ciudadanos en general, y de ciertos colectivos en particular. Las inversiones se multiplican para articular y expandir el sistema, introduciendo líneas y servicios de mayores prestaciones, en términos de capacidad, rapidez y comodidad, incluyendo nuevos servicios en "sitio propio" (metro, tranvía o autobús con plataforma segregada). Finalmente, los operadores especializan sus servicios, distinguiendo las necesidades particulares de diferentes colectivos y grupos sociales, para así ser capaces de atender de manera satisfactoria una demanda de transporte cada vez más diversificada y exigente¹⁹.

El transporte público, a pesar de su enorme eficiencia ambiental en comparación con el vehículo privado, supone una fuente de impactos para el entorno urbano, especialmente si su utilización no es suficientemente elevada en relación con su capacidad teórica, en términos de ocupación del suelo, efecto barrera, consumo energético o emisiones. Los elevados costes de inversión y operación obligan a una evaluación rigurosa de los

¹⁹ Con apoyo de herramientas de información en red, para informar de los servicios de transporte público interurbano, incorporando las nuevas tecnologías de la información o billética en los sistemas de transporte público.



CEDEX

proyectos para mantener, a largo plazo, la capacidad del transporte público para seguir evolucionando al ritmo de la ciudad y de las necesidades de los que en ella habitan.

La actuación en este ámbito debiera dirigirse preferentemente a:

- Promover la creación de Autoridades de Transporte Público en las áreas metropolitanas que todavía carecen de ellas u otras fórmulas de integración.
- Incorporar las cuestiones relacionadas con la coordinación, intermodalidad e integración de los servicios de transporte dentro de los Planes de Movilidad Sostenible.
- Incluir en las actuaciones del medio urbano el estudio sistemático de alternativas basadas en el transporte público, contemplando la reserva de espacio para su operación.
- Desarrollar un marco legal de apoyo al desarrollo de nuevos servicios, como la mejora de la oferta de transporte público en áreas de baja densidad e incrementar los servicios que cubren desplazamientos “transversales” dentro de las coronas metropolitanas.
- Incorporar criterios de sostenibilidad y calidad en el marco de financiación del transporte público, con incentivos a los operadores en función de la consecución de los objetivos de movilidad sostenible.

5.3.8.6. Planes de movilidad en los grandes centros de atracción de viajes

La fase de plan y programa es el momento idóneo para plantear fomentar e incluso exigir el desarrollo de planes de transporte de centros de trabajo en aquellos centros de titularidad pública o privada, centros educativos, comerciales y de ocio, incluidos en el plan, cuyas características de dimensión de la plantilla, actividad, procesos o ubicación así lo requieran, así como Planes Mancomunados cuando varias empresas compartan un mismo centro o edificio o bien desarrollen su actividad en un mismo polígono industrial o recinto asimilable. Se persigue de esta forma garantizar la accesibilidad de los trabajadores del modo más racional y con el menor impacto ambiental y social posible.

5.3.8.7. Aplicación de las nuevas tecnologías a la eficiencia y calidad del transporte

La fase de planificación puede prever la implantación progresiva de sistemas inteligentes de transporte encaminados a: mejorar la seguridad de las personas y mercancías involucradas o afectadas por el transporte y el tráfico; optimizar la explotación de los recursos de transporte (e.g. capacidad, disponibilidad, fiabilidad), tanto de manera individual como por modo o conjunto de modos; armonizar y estandarizar definiciones de compatibilidades entre sistemas y claridad en su presentación al usuario. La movilidad no es un fin en sí mismo, por lo que se ha de avanzar en los servicios de información integral para el usuario de los sistemas de transporte, reduciendo las necesidades de desplazamiento mediante las nuevas tecnologías de la información y comunicación: administración electrónica, tele trabajo, tele compra, tele atención médica, tele conferencia, tele enseñanza, etc.

5.3.8.8. Favorecer la transición a un mayor uso de la electricidad como vector energético

Se debería facilitar en la fase de plan y programa la transición a una economía con mayor eficiencia energética, con especial hincapié en el uso de la electricidad como vector energético, cuyo mix puede ser abastecido con energía autóctona (generación distribuida) de origen renovable, y térmicas de alta eficiencia (ciclo combinado de gas natural). Favoreciendo así la transición a un mix con menor dependencia del carbono y de combustibles más eficientes.

- Favoreciendo la gestión de la demanda mediante redes inteligentes, contadores inteligentes que faciliten el cambio de comportamiento del consumidor.
- Favorecer la entrada del vehículo eléctrico en las flotas cautivas de empresa públicas y privadas, administraciones públicas, transporte de mercancías en ciudad y otros servicios públicos.
- Favorecer el desarrollo de la infraestructura necesaria en los aparcamientos públicos y privados.

5.3.8.9. Adecuar los estándares de aparcamiento

La política de aparcamiento puede contribuir notablemente a la contención del uso del vehículo privado a través de la revisión de los estándares que fijan los números de plazas de aparcamiento asociados a los desarrollos urbanísticos. Esto implica abandonar en determinados proyectos urbanos la idea de garantizar la disposición de aparcamiento vinculado a la residencia o especialmente al lugar de trabajo, liberando este espacio para otros usos, y definir nuevos criterios para la determinación de estos estándares. Puede establecerse un número máximo total de plazas de estacionamiento en cada zona, combinar los actuales estándares mínimos en edificios con estándares máximos, ligar la propiedad de plazas de garaje en el propio edificio o en otro lugar a la propiedad de la vivienda o espacio comercial, y ajustar los estándares a las condiciones particulares de cada zona de la ciudad, y en particular a su accesibilidad en transporte público.

Estas medidas tropiezan con una larga tradición sobre la utilidad de disponer de aparcamiento en los edificios para evitar que los vehículos ocupen y congestionen el viario. El cambio a estos nuevos criterios debe estudiarse cuidadosamente en cada caso y asociarse con rigor a unas metas concretas de mejora de la movilidad en el área afectada. Por otra parte, la existencia de una abundante oferta de aparcamiento público o privado en otros edificios de la misma zona limita su eficacia, si no se establecen en paralelo algunas medidas de intervención complementarias.

La revisión de los estándares de aparcamiento se dirige, de manera prioritaria, a las zonas consolidadas, afectadas por problemas severos de congestión y con una oferta aceptable de transporte público, en las que se tiene previsto llevar a cabo nuevos proyectos inmobiliarios significativos. Estas características obligan a definir y aplicar los instrumentos de transición para permitir la reducción progresiva de las plazas existentes en los edificios ya construidos, y la dedicación del espacio liberado para otros usos.



CEDEX

6. LA CONSIDERACIÓN DE LA ADAPTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL ISA

Para integrar adecuadamente la adaptación al cambio climático en planes y programas de infraestructuras de transporte, el redactor del mismo suele tener que enfrentarse típicamente a las siguientes tareas:

1. En primer lugar, el redactor del plan o programa debería tratar de identificar los principales impactos asociados al cambio climático que afectarán negativamente al mismo durante todo el horizonte para el que éste se redacta. Esta relación de impactos adversos principales suele estimarse habitualmente combinando la probabilidad de que los impactos del cambio climático ocurran con la magnitud esperada de sus consecuencias. El apartado 6.3 de este capítulo proporciona un marco metodológico para que el redactor del plan o programa pueda tratar de imaginar cuáles pueden ser los principales riesgos del cambio climático para las infraestructuras del transporte en el caso particular de España. Para la identificación de dichos riesgos, se puede tomar como base las previsiones para el cambio climático en España descritas en el apartado 6.1 y una relación general de impactos potenciales sobre las infraestructuras de transporte incluida en el apartado 6.2.
2. Una vez identificados los riesgos principales del cambio climático, el redactor del plan o programa debería llevar a cabo una reflexión sobre las posibles estrategias y medidas de adaptación para hacerles frente. Al respecto, el apartado 6.4 aporta diversas consideraciones a tomar en cuenta en la elaboración de estrategias de adaptación de infraestructuras de transporte, así como una relación de posibles medidas concretas de adaptación.

6.1. LAS PREVISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA

6.1.1. Las previsiones de cambio climático en España realizadas con modelos globales

Los modelos globales de clima en que la atmósfera y el océano interactúan de forma acoplada (AOGCM, del inglés *Atmosphere-Ocean General Circulation Model*) constituyen actualmente la mejor herramienta de que se dispone para estudiar los procesos que conforman el estado del clima y realizar proyecciones del cambio climático inducido por las actividades humanas. En la actualidad existen unas pocas decenas de modelos AOGCM, los más perfeccionados de los cuales se desarrollan en un número reducido de centros internacionales de investigación climática.

Para simular la evolución futura del clima terrestre, los AOGCM deben ser forzados transitoriamente con evoluciones de los niveles de GEIs y aerosoles acumulados en la atmósfera según se espera vayan cambiando las emisiones producidas por actividades humanas. Para eso es preciso elaborar lo que se llama “escenarios de emisiones”, bajo

diversos supuestos de desarrollo demográfico y socio-económico en el mundo. El Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (conocido como IPCC) ha elaborado un conjunto de seis escenarios de emisión, que son los actualmente utilizados para realizar proyecciones con modelos de clima a lo largo del siglo XXI. De estos escenarios - conocidos con las siglas SRES (del inglés, *Special Report on Emission Scenarios*) – los llamados A2 y B2 son los más utilizados por los AOGCM.

El Centro de Distribución de Datos del IPCC (DDC-IPCC) pone a disposición un conjunto de resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con varios AOGCM, bajo los diversos escenarios. La mayor parte de los datos corresponden a valores de las variables más utilizadas en estudios del cambio climático en superficie (temperatura, precipitación, presión), correspondientes a cada una de las celdillas de la malla del modelo (entre 200 y 350 km habitualmente) que cubre toda la atmósfera terrestre.

Puesto que se ha comprobado que todos los modelos incluidos en el DDC-IPCC reproducen razonablemente bien a escala global los principales rasgos del clima en el planeta, a menudo se recurre a promediar los resultados de sus previsiones para obviar las diferencias entre los resultados obtenidos por cada uno de ellos. Se ha observado, no obstante, un aumento de las discrepancias de los resultados de las proyecciones a escala regional obtenidos con los diversos AOGCM, en particular para la precipitación.

La escasa resolución espacial de los AOGCM (ver figuras 6.1 y 6.2) hace que sus proyecciones sean poco útiles para ser utilizadas en la mayor parte de estudios de adaptación desarrollados a nivel nacional o local. Para aumentar la resolución espacial de las proyecciones generadas por los AOGCM se recurre a las técnicas de regionalización. Las técnicas de regionalización permiten en algunos casos introducir además procesos atmosféricos de menor escala (orografía, interacciones mar-tierra), no considerados en las parametrizaciones físicas de los AOGCM.



CEDEX

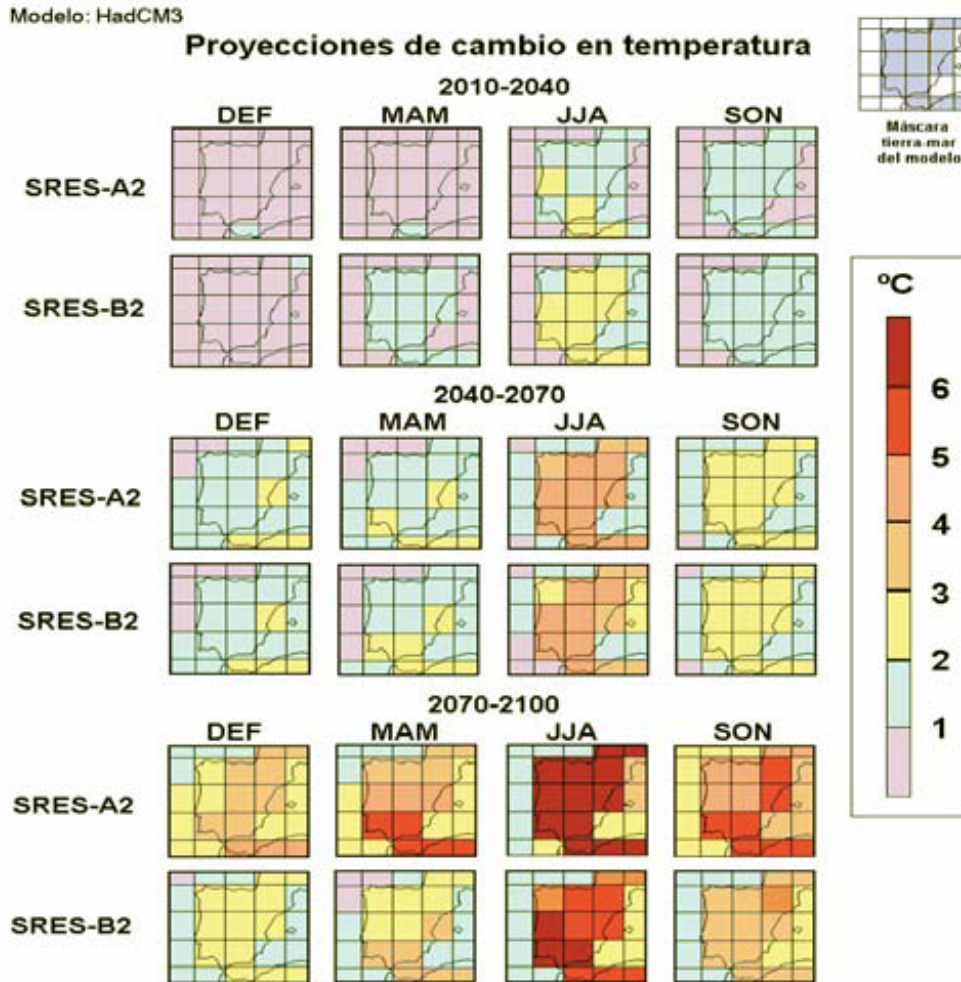


Figura 6.1

Ejemplo de las proyecciones de cambio de temperatura del aire a 2 m del suelo, promediadas para cada estación del año (DEF invierno, MAM primavera, JJA verano y SON otoño), realizadas con el modelo HadCM3. Las simulaciones corresponden a tres periodos del siglo XXI y a dos escenarios SRES de emisiones (A2 y B2). En la esquina superior derecha se muestra la malla del modelo sobre la Península Ibérica, donde las cuadrículas sombreadas corresponden en el modelo a superficie continental y las blancas a océanos.

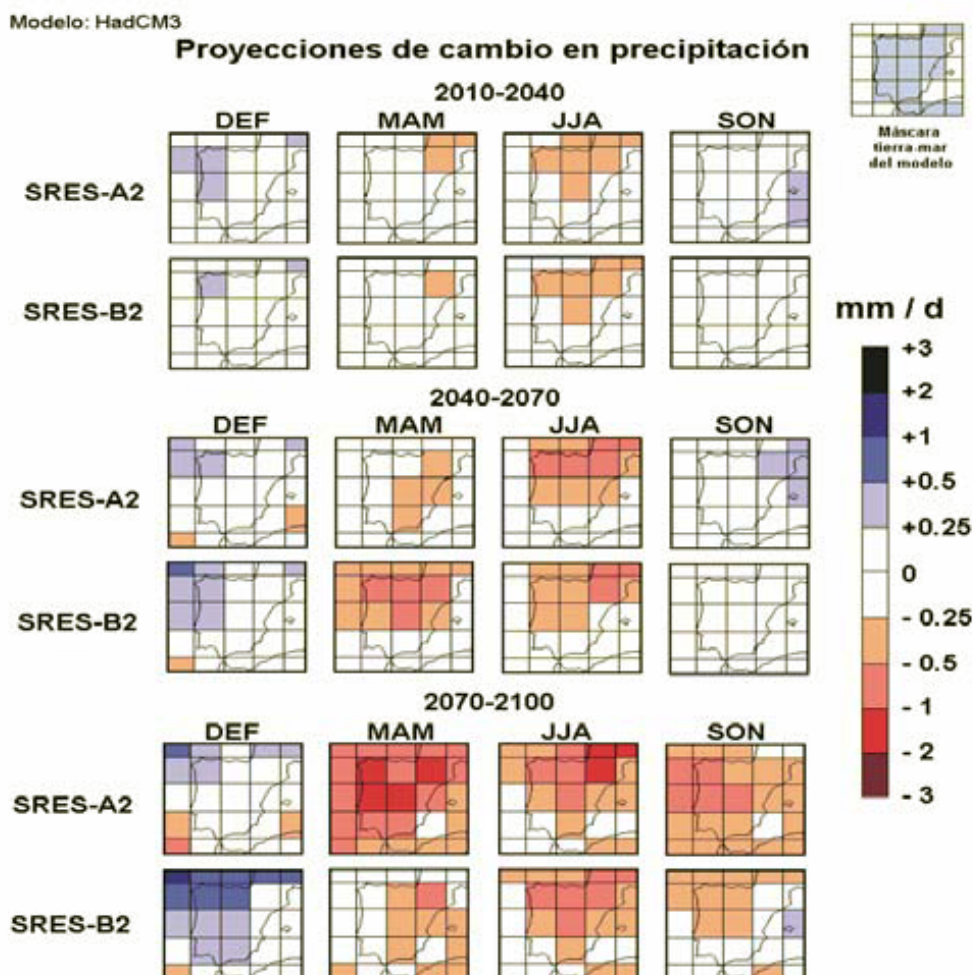


Figura 6.2

Ejemplo de las proyecciones de cambio de precipitación media, promediadas para cada estación del año (DEF invierno, MAM primavera, JJA verano y SON otoño), realizadas con el modelo HadCM3. Las simulaciones corresponden a tres periodos del siglo XXI y a dos escenarios SRES de emisiones (A2 y B2). En la esquina superior derecha se muestra la malla del modelo sobre la Península Ibérica, donde las cuadrículas sombreadas corresponden en el modelo a superficie continental y las blancas a océanos.

6.1.2. La disponibilidad de escenarios regionales de cambio climático en España

La tarea de proyección regional se puede llevar a cabo utilizando técnicas dinámicas, acoplando modelos regionales de clima de mayor resolución (*downscaling dinámico*), o estadísticas, con modelos empíricos que relacionan las variables de gran escala con variables locales (*downscaling estadístico*). Los resultados que se obtienen con los métodos estadísticos deben analizarse con cautela, pues se basan esencialmente en la



CEDEX

suposición implícita de que la correlación espacial entre las variables climáticas dentro de una celdilla del modelo, obtenida en condiciones de clima actual, no se altera después de un cambio climático global apreciable. Los modelos regionales de clima, aunque son considerados como la técnica más prometedora para realizar proyecciones de cambio climático a escala regional, no pueden corregir los errores generados en el AOGCM en que se anide.

6.1.2.1. Los escenarios regionales de cambio climático desarrollados por la AEMET

Tras la aprobación del PNACC en 2006, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) desarrolló con cierta urgencia - en colaboración con la Universidad de Castilla-La Mancha y la Fundación para la Investigación del Clima - una primera colección de escenarios regionalizados para España que respondiera a las demandas iniciales de ciertos sectores. Esta colección de escenarios climáticos regionalizados tiene en cuenta dos de los posibles escenarios de emisiones globales de gases de efecto invernadero del IPCC (el escenario de emisiones medio-alto SRES-A2 y el escenario de emisiones medio-bajo SRES-B2) y ha alimentado, por ejemplo, las evaluaciones sectoriales de impactos realizadas por la Administración General del Estado en sectores como las costas, los recursos hídricos o la biodiversidad.

En la actualidad está en marcha el desarrollo de una segunda generación de escenarios climáticos regionalizados, que se nutre de los trabajos de la propia AEMET y de los resultados de dos proyectos realizados en el marco del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011: los proyectos ESCENA (generación de escenarios de cambio climático regionalizados con métodos dinámicos) y ESTCENA (generación de escenarios de cambio climático regionalizados con métodos estadísticos). Como resultado de estos proyectos, se espera tener a finales de 2011 o inicio de 2012 una base de datos de escenarios más completa a disposición de los distintos actores interesados. La intención del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino es poner a disposición esta información, en un futuro próximo, en un formato amigable que facilite su explotación por terceros.

6.1.2.2. Escenarios regionales de cambio climático desarrollados por las Comunidades Autónomas

Además de la Administración General del Estado, diversas Comunidades Autónomas han desarrollado o están desarrollando también escenarios climáticos de aplicación a su territorio. Así, por ejemplo, en Cataluña el Servei Meteorològic de Catalunya dispone de proyecciones regionalizadas de temperatura y precipitación para los escenarios A2 y B1. También disponen de escenarios de cambio climático regionalizados Andalucía, La Rioja o Castilla-La Mancha.

6.1.3. Las previsiones climáticas futuras para España

A continuación se recopilan las previsiones climáticas más significativas obtenidas para España para este siglo. Aunque en los resultados de las diversas simulaciones realizadas existen discordancias sobre la magnitud de los cambios proyectados, se observan también notables coincidencias cualitativas.

6.1.3.1. La temperatura

La figura 6.3 muestra la temperatura media anual en España durante los últimos 30 años del siglo pasado. Al nivel del mar, la temperatura varía entre poco menos de 14°C en puntos de la costa cantábrica hasta algo más de 18°C en la costa surmediterránea y en la suratlántica; en la costa de las islas Canarias, las temperaturas son superiores, llegando a 21°C. De forma general, la temperatura media anual disminuye desde el litoral hacia el interior, y de sur a norte a igualdad de altitud; en el interior, los valores disminuyen de poniente a levante. En Canarias, las temperaturas son apreciablemente superiores a igualdad de altitud.

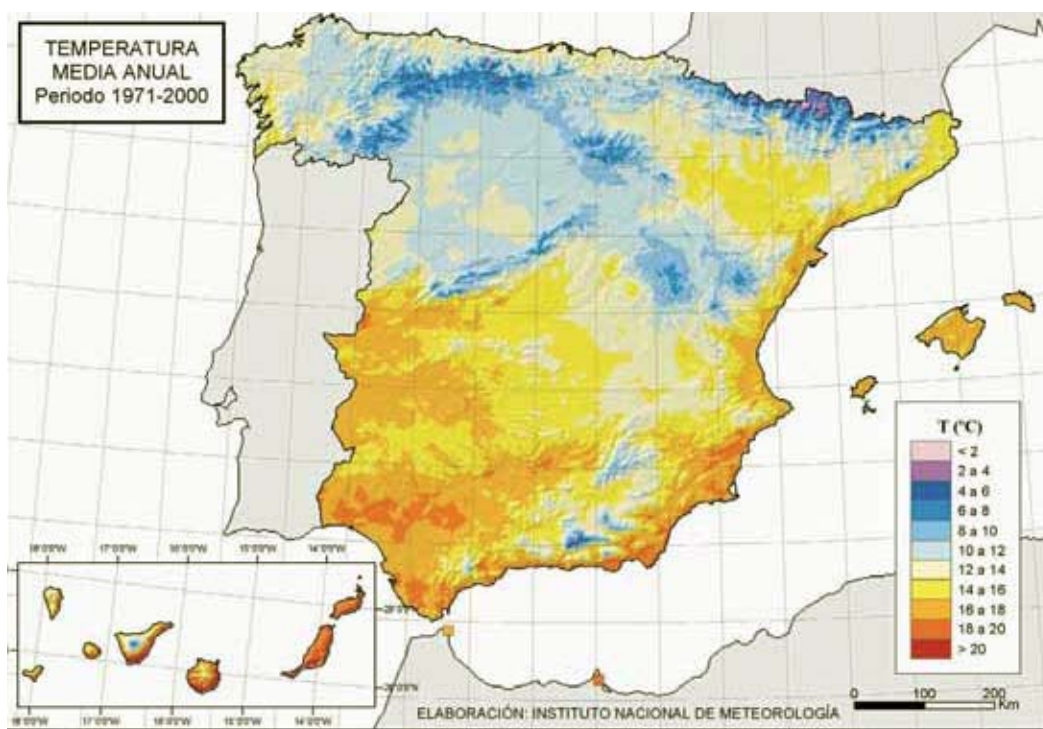


Figura 6.3
Temperatura media anual durante el periodo 1971-2000, en °C

- Tendencias recientes de la temperatura

Los registros fiables más antiguos de datos de temperatura de que se dispone en España se remontan a la segunda mitad del siglo XIX. Del estudio y análisis de estas series históricas se ha observado que las temperaturas medias anuales muestran una tendencia generalizada al alza en todo el territorio español, con incrementos que oscilan entre 1°C y 2°C en el periodo comprendido entre 1850 y 2005. Esta tendencia no es sin embargo homogénea, ni a escala temporal, ni espacial. De hecho:



CEDEX

- A lo largo del siglo XX se pueden diferenciar tres ciclos: uno de ascenso térmico durante la primera mitad de siglo, un descenso desde esa fecha hasta 1972 y un aumento visible y significativo desde 1973 hasta nuestros días²⁰.
- El calentamiento ha sido más acusado en primavera y verano.
- Las temperaturas diurnas en España se incrementaron más rápidamente que las nocturnas, especialmente durante el siglo XX.
- Por regiones, las más afectadas por el calentamiento son las situadas en la mitad oriental peninsular, cubriendo una amplia franja en torno al Mediterráneo que se extiende desde Girona hasta Málaga, incluyendo Castelló, Valencia, Alicante, Murcia y el Sureste peninsular.
- En las Islas Canarias, los cambios en el comportamiento térmico son similares a los observados en la Península.

Asimismo, se ha observado una disminución de los días fríos y un aumento de los cálidos por lo que, si se mantiene esta tendencia, es de prever un incremento de las olas de calor.

- Las previsiones de evolución de las temperaturas

Las proyecciones estimadas de la temperatura media a lo largo del siglo XXI indican que en todas las regiones españolas se proyecta un incremento progresivo de la temperatura media superficial a lo largo del siglo. La tendencia al calentamiento es más acusada cuanto más desfavorable es el escenario de emisiones considerado. De acuerdo con los resultados de los modelos globales de clima, la tendencia media para el escenario A2 se sitúa en +1,2°C por cada tercio de siglo en invierno y +2°C en verano; en el escenario B2, estos incrementos promedio de temperatura alcanzarán un valor aproximado de +1,1°C y de +1,8°C respectivamente cada 30 años.

El incremento de la temperatura media superficial se acelera más acusadamente a partir de mediados del siglo XXI en el caso de los escenarios de emisiones globales más altas. En el período 2011-2040 apenas se aprecian diferencias en el cambio medio de temperatura entre los escenarios de emisiones mayores y menores. Sin embargo, en el último tercio de siglo, resultan muy notables las diferencias de calentamiento medio anual o estacional entre los diversos escenarios de emisiones. Así, en el último tercio del siglo XXI, el calentamiento proyectado en el escenario de emisiones altas A1 es de unos 3°C mayor que en el de emisiones bajas B1.

No todas las regiones experimentarán el mismo grado de calentamiento medio, que será más notable en verano y menos acusado en invierno, dependiendo su magnitud críticamente del escenario de emisiones que se considere. Mientras que el incremento térmico proyectado en invierno sería bastante similar en todas las regiones, las diferencias territoriales se acrecientan un tanto en las otras estaciones del año. En primavera el calentamiento tendería a ser algo mayor en la mitad sur de la Península, mientras que en otoño y verano sería más alto en las regiones del interior que en las áreas costeras.

²⁰ Staudt (2004) concluye que las temperaturas máximas en la Península Ibérica han crecido, excepto en Galicia, a razón de 0,6°C/década desde los años 70, aunque con apreciables variaciones regionales; las temperaturas mínimas han experimentado un ascenso similar.

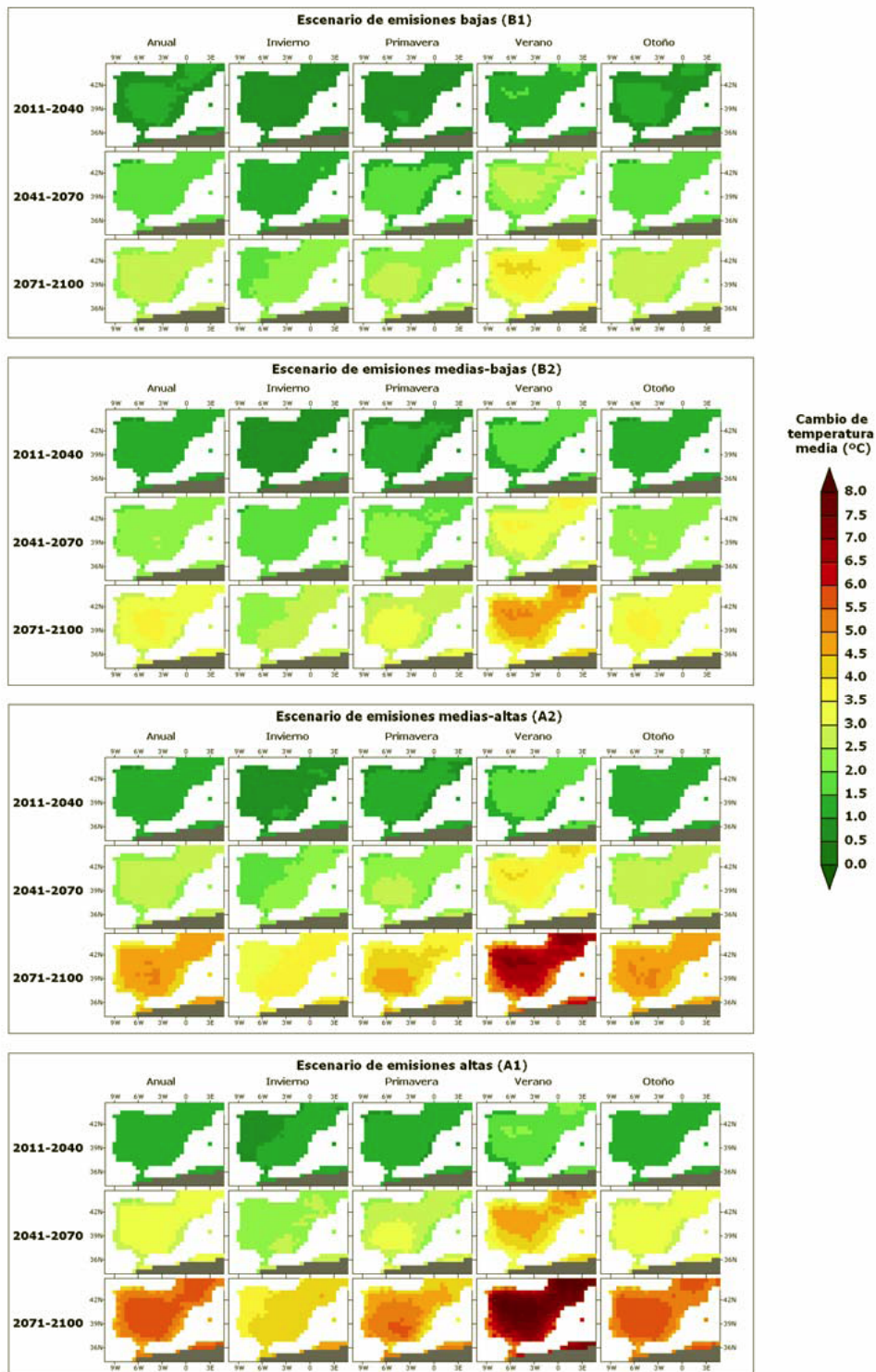


Figura 6.4
 Proyecciones de los cambios del promedio anual y estacional de la temperatura superficial en cada periodo tridecenal del presente siglo con respecto al “clima actual” (1961-1990), para cuatro posibles escenarios de emisiones.



En todas las regiones las temperaturas máximas diarias tienden a incrementarse algo más que las medias, y las mínimas algo menos. Puede decirse entonces que hay una tendencia a que la oscilación térmica diaria (diferencia entre temperatura máxima y mínima) se acreciente en los diversos escenarios de cambio climático, y más en los de emisiones altas. Dicha tendencia sería más suave en invierno en todas las regiones y más acusada en primavera en la mitad sur y en verano en el interior. En el Archipiélago Canario se predice una subida más moderada de las temperaturas máximas, al estar claramente atemperadas por la influencia oceánica.

6.1.3.2. La precipitación

La precipitación es un elemento climático de primer orden en España, no sólo por su modesta cuantía en gran parte del territorio sino por su elevada variabilidad estacional y espacial. Tradicionalmente se distinguen tres grandes áreas en función de la precipitación media anual: la España húmeda (con valores medios que superan en la mayoría de los casos los 1000 mm), la España seca (la más extensa, con valores frecuentes cercanos a los 500 mm) y la España semidesértica (con precipitaciones inferiores a los 300 ó 350 mm).

En líneas generales, la precipitación anual en España disminuye de norte a sur y de oeste a este, pasando de lugares donde las precipitaciones registran más de 2.500 mm a otros que no superan los 150 mm anuales. No obstante, el mapa de precipitación media anual (figura 6.5) es ciertamente complejo, con numerosos enclaves de alta o baja pluviometría relativa insertos en comarcas de signo opuesto.

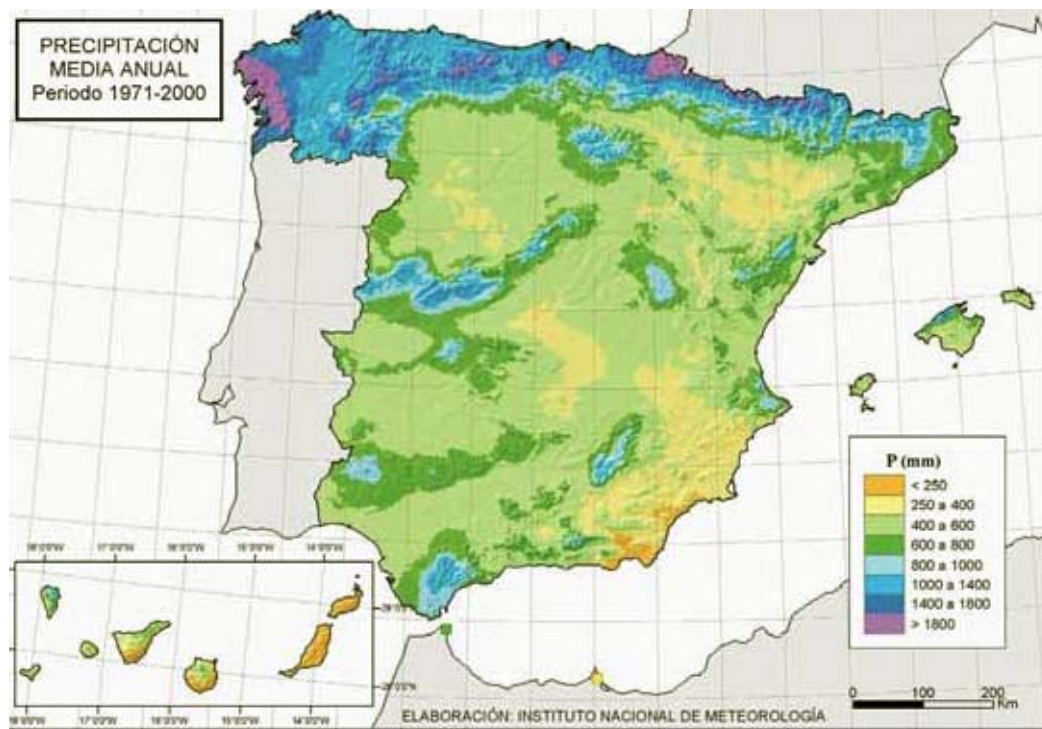


Figura 6.5
Precipitación media anual durante el periodo 1971-2000, en mm

- Tendencias recientes de la precipitación

Las tendencias seculares y recientes de la precipitación no son fáciles de identificar, como consecuencia precisamente de la complejidad de la distribución espacial de las lluvias en España y de su elevada variabilidad temporal. En el contexto de los últimos quinientos años, la reconstrucción del clima muestra la sucesión de periodos lluviosos y secos, de duración variable y sin cambios bruscos, tanto en el sur peninsular como en el norte. El comienzo del siglo XX fue de estabilidad climática, con sucesión de fases secas y húmedas de corta duración e intensidad, a las que siguieron marcados episodios de sequía (años 40, 50, 80 y 90) y otros de lluvias abundantes (años 60 y 70), pero sin una tendencia precisa. Por el contrario, en la segunda mitad del siglo XX, varios estudios realizados con datos de 1949 a 2005 revelan una tendencia claramente negativa de las lluvias en buena parte del territorio²¹.

- Las previsiones de evolución de la precipitación anual

Los escenarios de cambio de la precipitación anual presentan, por lo general, un aspecto menos regular que los de temperatura. Así:

- En la mayor parte de las regiones se proyecta una tendencia progresiva a la disminución de la precipitación acumulada anual, que será más acusada a partir de mitad de siglo y aún mayor en los escenarios de emisiones altas.
- En el período 2011-2040 se proyectan disminuciones del total anual de precipitación similares para los diversos escenarios de emisiones, con valores en torno al 5% en la mitad norte y Levante, y cercanos al 10% en el suroeste peninsular²².
- En el último tercio del siglo (2070-2100) el contraste entre escenarios de emisiones bajas y altas es mucho mayor. En las regiones de la mitad norte se producirían reducciones en el promedio de precipitación anual de hasta el 25% en el escenario de emisiones altas (A1), manteniéndose por debajo del 15% en el escenario bajas (B1). En el tercio sur peninsular, las reducciones serían superiores al 30% en el escenario A1 y en torno al 20% en el B1.
- Se prevé una tendencia generalizada a la reducción de la precipitación en los meses de primavera, y un aumento de precipitación en el noroeste de la Península en invierno y en el noreste en otoño.

En cualquier caso, los resultados relativos a la precipitación presentan mayor incertidumbre que los obtenidos para las temperaturas, consecuencia, por una parte, del error que introducen los métodos de regionalización cuando se aplican a la precipitación y, por otra, de la posición de la Península Ibérica en la zona de transición entre las latitudes altas, en las que aumentará la precipitación, y la zona subtropical, en la que habrá reducciones de precipitación.

²¹ En particular en el Cantábrico (disminuciones de 4,8 mm/año en Santander y 3,3 mm/año en Bilbao) y en el sureste peninsular.

²² Previsiones realizadas por el CEDEX muestran sin embargo disminuciones menores, e incluso algún aumento de precipitación anual, en la zona oriental de la Península en el escenario A2.



6.1.4. Tendencias futuras de otras variables asociadas al clima en España

Además de los factores climáticos directos descritos en el apartado anterior, se pueden identificar otras variables climáticas derivadas e indirectas, dependientes del régimen de temperaturas y/o precipitaciones, cuyas tendencias futuras requirieren ser conocidas para poder desarrollar de forma apropiada los estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de las infraestructuras de transporte. En este apartado se hace un compendio de las previsiones de algunas de ellas. En ocasiones, ante la falta de disponibilidad de previsiones, se describe únicamente el análisis de tendencias en el pasado.

6.1.4.1. El régimen hidrológico

Aunque a nivel nacional es difícil de detectar con las observaciones disponibles la tendencia en el pasado en el régimen hidrológico, a nivel europeo existen evidencias de alteraciones, con disminuciones de escurrimiento acusadas en el Sur de Europa.

En cuanto a las tendencias para el futuro, los modelos de clima predicen una disminución importante de escurrimiento a nivel general en los países del Mediterráneo, siendo ésta una de las zonas del mundo donde se proyectan los impactos más intensos. En España, los resultados de múltiples simulaciones realizadas coinciden en pronosticar una disminución significativa de las aportaciones medias, acorde a las tendencias de temperatura y precipitación²³. Junto a la disminución de los recursos se prevé un aumento de la variabilidad interanual de los mismos; el impacto se manifestará más severamente en las cuencas del Guadiana, Canarias, Segura, Júcar, Guadalquivir, Sur y Baleares.

Por lo que se refiere a la regularidad del régimen hidrológico anual en España, se prevé que la variabilidad aumente en las cuencas atlánticas en el futuro, lo que puede hacer que la frecuencia de avenidas disminuya, aunque no su magnitud. En las cuencas mediterráneas y del interior la mayor irregularidad del régimen de precipitaciones ocasionará un aumento en la irregularidad del régimen de crecidas y de crecidas relámpago. Cabe recordar que la pluviometría más torrencial se desarrolla tradicionalmente en España a lo largo de los litorales mediterráneo y cantábrico, Pirineos, y divisorias del Guadiana y Tajo, aunque se puedan encontrar episodios aislados a lo largo de todo el territorio.

6.1.4.2. El viento

De manera general, no se proyectan cambios significativos en la intensidad del viento en superficie de ahora a final de siglo, salvo un ligero incremento de las brisas en verano en la mayor parte de la Península, que puede llegar a aumentos relativos superiores al 10% en algunas zonas durante el último tercio de siglo.

²³ Las proyecciones realizadas por el CEDEX predicen unas reducciones de escurrimiento en España del 8% para el periodo 2011-2040, 16% para el 2041-2070 y 28% para el 2071-2100 en el escenario A2. Las reducciones en el escenario B2 son del 8%, 11% y 14%, respectivamente, siendo el efecto especialmente acusado en las cuencas Cantábricas, del País Vasco, cabeceras del Ebro y Duero, suroeste peninsular y Canarias.

- *El viento en el litoral*

Las intensidades del viento medias que afectan al litoral español son de mayor magnitud (≈ 20 km/h) en Galicia y Canarias, seguido del resto de la costa occidental peninsular, Golfo de Cádiz, costa occidental de Asturias y Baleares. La costa oriental peninsular recibe un viento medio menor, en torno a 10 km/h.

El análisis de tendencias en el pasado indica una reducción generalizada de la velocidad media del viento, relativamente pequeña. Las duraciones de excedencia de viento (en términos de duración media, duración máxima y número de eventos) tienden asimismo a un decremento generalizado leve a lo largo de la mayor parte de la costa española. La tasa de ocurrencia de vientos extremos disminuye también durante los últimos 50 años en la costa occidental peninsular y Canarias, aunque el número de sucesos extremos ha aumentado ligeramente en la costa occidental asturiana; en el Mediterráneo las variaciones son mínimas.

6.1.4.3. La niebla

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

6.1.4.4. El oleaje

En España, los valores del oleaje característico son mayores en la costa atlántica (especialmente la costa occidental gallega, seguida del litoral cantábrico) que en la costa mediterránea. En Canarias, las olas más grandes se dan en el norte de las islas.

Durante los últimos 50 años, se ha observado un aumento importante de la altura de ola media (superior a 10 cm) y de la altura de las mayores olas (hasta 50 cm) en las fachadas cantábrica y gallega. También se ha observado cambios en la dirección del oleaje en parte de los archipiélagos y de forma muy marcada en el norte de Cataluña. Las duraciones de excedencia de altura de ola significativa aumentan de forma generalizada en la costa mediterránea (hasta 100 h en todo el periodo), particularmente entre Cabo de Palos y Cabo de Gata. El clima marítimo general tiende a suavizarse en la zona de Cádiz.

6.1.4.5. El nivel del mar

En términos generales, el nivel del mar ha venido aumentando globalmente en el mundo entre 1961 y 2003 con una tasa media de $1,8 \pm 0,5$ mm/año, aunque con importantes diferencias regionales. En España los datos disponibles indican que el nivel del mar ha aumentado en el norte de la península, durante la segunda parte del siglo XX, entre 2 y 3 mm/año; las tendencias observadas en el Mediterráneo son algo menores.



Las proyecciones futuras prevén una subida generalizada del nivel medio del mar en toda la costa española, aunque no existe unanimidad acerca de la intensidad de dicha elevación²⁴. Las predicciones de variación de los modelos globales contemplados por el IPCC en su Tercer Informe señalan una horquilla de entre 9 y 88 cm en el intervalo 1990-2100. Otras cifras que se barajan para el horizonte del año 2050 – con una menor incertidumbre en las predicciones – son las de una elevación mínima del nivel medio del mar de 15 cm, en consonancia con los órdenes de magnitud señalados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.

6.1.4.6. La cota de inundación y la línea de costa

En estudio promovidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino se prevé para 2050 un aumento muy probable de la cota de inundación en toda España, especialmente en la cornisa gallega y norte de Canarias con valores de hasta 35 cm, y de 20 cm en el litoral mediterráneo, conduciendo a un mayor riesgo de eventos de inundación en la costa (figura 6.6).

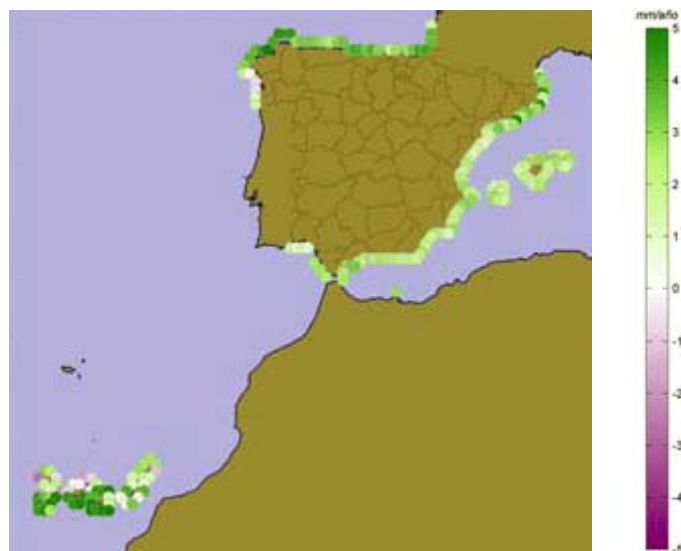


Figura 6.6
Variación anual de la cota de inundación en el litoral español hasta el año horizonte 2050.

El aumento del nivel del mar producirá además un retroceso de las playas con valores probables de hasta 15 m en Canarias, Huelva y Cádiz. No obstante, los cambios observados en la dirección del oleaje pueden dar lugar a daños más severos sobre las playas, especialmente en la Costa Brava, Islas Baleares y sur de Canarias donde pueden llegarse a alcanzar retrocesos de hasta 70 m.

²⁴ Aunque la marea astronómica sería a priori un factor no despreciable en las variaciones del nivel del mar, los análisis de tendencias^[9] muestran que la variación de la marea astronómica es un orden de magnitud menor que la asociada al nivel medio, siendo este factor predominante en el cambio de nivel del mar.

6.1.4.7. La desertificación

Una parte importante de la superficie del territorio español está amenazada actualmente por procesos de desertificación, fomentados por las actividades humanas bajo condiciones de aridez. Los dos componentes fundamentales de la desertificación son la erosión y la salinización del suelo. Se prevé que el cambio climático agrave el problema de la desertificación de forma generalizada, puesto que los impactos previsibles del cambio climático agravarían tanto la salinización de los suelos de regadío como el riesgo de erosión de los suelos (en combinación con el previsible aumento de los incendios forestales). El impacto de la salinización se concentrará en las regiones españolas de clima más seco.

6.1.4.8. Los eventos climáticos extremos

Otro aspecto muy importante de las proyecciones de clima futuro es la posible alteración en la intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos. El interés radica en que los impactos debidos a cambios en extremos climáticos son, por lo general, más severos que los asociados al cambio del clima promedio, pues aunque la frecuencia con que ocurren tales eventos es relativamente pequeña, los daños que producen pueden llegar a ser muy notables. Si bien actualmente no existe un conocimiento suficiente sobre la ocurrencia e intensidad de estos eventos climáticos extremos en el futuro, sí parece existir un consenso científico generalizado que apunta hacia un incremento de estos fenómenos (frecuencia y/o magnitud), excepto en lo que se refiere a precipitaciones de nieve y heladas.

En España, todas las proyecciones indican que habrá un sensible incremento en la intensidad y frecuencia de eventos extremos relacionados con la temperatura en todas las regiones, que será significativamente mayor en el caso de los escenarios de emisiones más altas.

- Las olas de calor

Un tipo de evento que merece una especial atención es el cambio que podría experimentar el número de olas de calor en el periodo estival. A título de ejemplo, se puede decir que en el último tercio de este siglo, si se cumpliera el escenario de emisiones medias-altas (A2), en más de la mitad de los días del periodo estival se podrían alcanzar temperaturas máximas diarias en el interior de la Península por encima de las que actualmente se consideran excepcionalmente altas.

- Las inundaciones

Respecto a los cambios en las precipitaciones máximas diarias, directamente relacionadas con la ocurrencia de inundaciones, no se proyectan cambios significativos en la intensidad de eventos extremos, pero variaría su frecuencia en diverso grado según las regiones y épocas del año. No obstante, conviene advertir que la incertidumbre en las proyecciones de cambios de eventos extremos de lluvia es más elevada que en el caso de los extremos de carácter térmico.

Como es sabido, las inundaciones son el riesgo natural con mayor impacto económico y social en España. El riesgo de inundaciones afecta prácticamente a toda la geografía



CEDEX

española, aunque el territorio más castigado se centra en las costas mediterráneas y cantábricas y en los espacios fluviales de los grandes ríos peninsulares.

La Agencia Europea de Medio Ambiente señala que, aunque las pérdidas económicas por inundaciones en espacios fluviales en Europa ha aumentado en los últimos años, no existe una influencia significativa del cambio climático en dicho aumento y sí una relación directa con factores socio-económicos y de aumento de exposición al riesgo.

A fecha de hoy, no existe en España todavía una identificación de zonas con riesgo de inundación que incorpore las previsiones de cambio climático. A raíz de las graves inundaciones en el Levante y País Vasco en 1982-83, la Comisión Nacional de Protección Civil elaboró un mapa con las zonas de mayor riesgo potencial (figura 6.7). En la actualidad, se están desarrollando los trabajos fijados en el R.D. 903/2010 de Evaluación y gestión de riesgo de inundación para la identificación de las zonas inundables con criterios históricos, geomorfológicos e hidrológicos-hidráulicos, y la representación cartográfica de la peligrosidad y el riesgo. Las zonas identificadas formarán parte de una base de datos de zonas inundables y los mapas que resulten en el año 2013 habrán de incorporarse a los planes de protección civil autonómicos ante el riesgo de inundaciones.

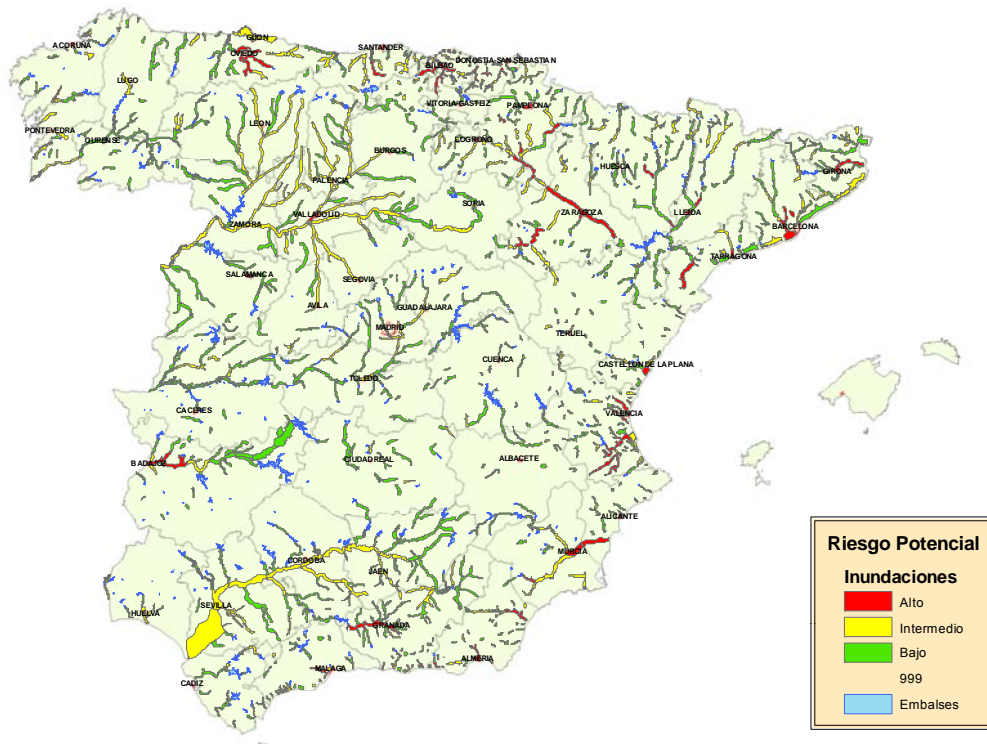


Figura 6.7
Zonas con riesgo de inundación identificadas por la
Comisión Nacional de Protección Civil en 1983

- Las sequías

También se prevé que los períodos de sequía aumenten, especialmente en verano. En general, las sequías de corta duración (hasta 3 años) serían más frecuentes e intensas en el último tercio del siglo, mientras que las de larga duración presentan mayor frecuencia e intensidad hacia mediados de siglo. En todo caso, cualquier conclusión sobre la caracterización de este tipo de eventos debe contemplarse con precaución debido a la acumulación de incertidumbres.

- Régimen extremal de la intensidad de viento en el litoral

Los vientos de periodo de retorno de 50 años de mayor magnitud en España se localizan en la costa asturiana y gallega, desde Estaca de Bares hasta Finisterre (vientos en torno a 100 km/h), seguido del Golfo de Cádiz y Baleares. La costa peninsular mediterránea presenta gran uniformidad y no alcanza los 70 km/h.

Las variaciones observadas durante la segunda mitad del siglo XX de la velocidad del viento de 50 años de periodo de retorno son mínimas en la costa mediterránea y de pequeña magnitud en las costas atlántica y cantábrica (la máxima tendencia de cambio indica una variación de 7 km/h en casi 50 años). La velocidad aumenta únicamente en la costa del norte de Galicia y occidental de Asturias.

- Régimen extremal de la intensidad de altura de ola significativa

La altura de ola significativa de periodo de retorno de 50 años alcanza los valores mayores en la costa gallega y en el Cantábrico (hasta 12 m), donde es sabido que se producen los mayores temporales en España.

El análisis de tendencias sitúa el mayor aumento (en torno a 2 cm/año) entre Estaca de Bares y Finisterre, un aumento algo menor (≈ 1 cm/año) en la costa norte del archipiélago canario y un ligero aumento (de milímetros al año) en la costa cantábrica. Algunas previsiones estiman que los oleajes invernales tenderán a aumentar en el litoral gallego y en la cornisa cantábrica y disminuirán en Canarias.

6.2. LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LAS INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE

En este apartado se lleva a cabo una revisión de los impactos potenciales²⁵ que el cambio climático puede suponer, en general, sobre un sistema de transporte. La revisión se centra principalmente en los impactos directos sobre las infraestructuras de transporte y su sistema de explotación, dejando al margen los impactos indirectos, cuyo análisis es más complejo porque depende de la evolución futura de otros factores cuyas incertidumbres se unen a las del propio cambio climático.

No todos los impactos identificados son negativos. Así, por ejemplo, el sector del transporte marítimo podría verse beneficiado con la apertura de nuevas rutas de

²⁵ Esto es, los que pueden producirse sin tener en cuenta la adaptación.



CEDEX

navegación y con la modificación de rutas existentes como consecuencia de una disminución de la presencia de hielo en el mar a causa del aumento de las temperaturas.

Aunque la revisión de impactos potenciales que figura a continuación se presenta por modos, conviene no olvidar que el transporte funciona a menudo como un sistema. Además, los impactos del cambio climático no sólo condicionarán el medio físico sino que también es probable que influyan en la demanda futura de transporte, en los comportamientos de movilidad de viajeros y mercancías y en los patrones de elección modal.

6.2.1. Impactos sobre las carreteras

Respecto de los impactos potenciales del cambio climático sobre las infraestructuras viales, conviene destacar las siguientes consideraciones:

- La elevación de la cota de inundación, tanto en la costa como en zonas interiores, puede afectar **el trazado** de la carretera o la cota de su rasante. El aumento de tormentas en la costa puede llevar a aumentar las actuaciones de protección y refuerzo de infraestructuras muy próximas al mar.
- Los principales factores climáticos que pueden afectar a **los firmes** de las carreteras son la temperatura, la radiación solar, las precipitaciones y la elevación del nivel freático.

El aumento de las temperaturas y de los períodos de calor contribuye a un mayor ablandamiento de las capas bituminosas del firme, dando lugar a la formación de roderas y otros defectos superficiales a largo plazo. El incremento de las temperaturas y de la radiación solar puede acelerar además el envejecimiento de la mezcla bituminosa, con el consiguiente desarrollo de fisuras, que disminuiría en primera instancia el comportamiento funcional del firme y en último término sus características resistentes. La estrategia alemana de adaptación al cambio climático plantea, en este sentido, fomentar la investigación sobre la utilización de nuevos materiales de construcción más resistentes a las altas temperaturas y al calor, con el fin de adaptar sus carreteras en el medio plazo.

El aumento de las temperaturas en invierno tiende a reducir la presencia de hielo y nieve en la calzada; ello reduce los riesgos de accidentes de tráfico por pérdida de adherencia rueda-pavimento y las necesidades de mantenimiento invernal (extensión de sal, retirada de nieve). En zonas muy frías (con temperaturas frecuentes ligeramente bajo cero o en torno a 0°C), la consecuencia principal de la elevación de temperaturas es la variación del número de ciclos de hielo-deshielo.

El aumento de temperaturas máximas tiende también a aumentar la expansión de las juntas en los firmes de hormigón.

Por su parte, las lluvias persistentes tienden a acelerar los procesos de fisuración, degradación superficial y desprendimiento de áridos de la capa de rodadura de la calzada, provocando la aparición prematura de baches y reduciendo a largo plazo las características resistentes del firme.

- Por su parte, las lluvias persistentes y el aumento del nivel del mar elevan el nivel freático y aumentan la presión intersticial del suelo, disminuyendo las condiciones resistentes de **la explanada** de la carretera.
- El aumento de la precipitación conlleva un incremento del riesgo de infiltración y de erosión de los terraplenes y en consecuencia la reducción de la capacidad de soporte de **la obra de tierra**. En sentido contrario, en zonas con un incremento de la temperatura media anual y disminución de precipitaciones pueden mejorar las características resistentes de los suelos empleados en las obras de tierra y explanadas.
- El aumento de la precipitación origina mayor erosión y riesgo de deslizamiento en **los taludes** adyacentes a la carretera. La frecuencia de deslizamientos de laderas aumenta también en zonas próximas a la carretera que ya tienen un riesgo alto.



- Las lluvias intensas elevan los caudales de escorrentía y pueden dar lugar a una falta de capacidad hidráulica de **los sistemas de drenaje** de las carreteras, lo que produciría la acumulación de agua en el firme y en la explanada, reduciendo su capacidad de soporte y su período de vida efectivo. Además, un drenaje inadecuado de la calzada durante episodios de lluvia intensa pone en riesgo la seguridad de la circulación debido al agua planning de los vehículos.





CEDEX

- **Los túneles** son relativamente insensibles a los factores climáticos, excepto ante fenómenos de infiltración de las aguas e inundaciones, que pueden tener drásticas consecuencias para su capacidad resistente y su impermeabilización.
- En los cauces de los ríos uno de los efectos del cambio climático es el posible aumento de los niveles de las avenidas ordinarias y extraordinarias debido al incremento de las precipitaciones. Como consecuencia, puede disminuir el resguardo entre la lámina de agua y el tablero de **los puentes**, o incluso agotarse en algunos casos. El aumento de los caudales de avenida de los ríos genera también riesgos de erosión en los cimientos de pilas y estribos de puentes y de **muros de contención** adyacentes a carreteras y vías ferroviarias. Las pilas de los puentes pueden también verse sometidas a mayores impactos por arrastre de materiales.

En cuanto a la capacidad estructural de los puentes, el aumento de las temperaturas medias y de sus oscilaciones supone mayores acciones térmicas. El aumento en el promedio de los vientos puede generar también mayores cargas.

Determinados elementos constructivos de los puentes son particularmente sensibles a los factores climáticos. Así, el aumento de temperaturas máximas tenderá a aumentar la expansión de las juntas en los puentes. Los puentes atirantados son especialmente sensibles a los fuertes vientos, por los problemas de oscilación que se podrían desencadenar.

- Los costes de **mantenimiento** por kilómetro de la carretera tienden a alterarse por causa del cambio climático (por necesidades de limpieza del drenaje, de control de la vegetación, de mantenimiento de la vialidad invernal, etc.), aunque de forma moderada si no se incluye en las previsiones las necesidades de actuación por causa de eventos climáticos extremos.
- En cuanto a **la explotación de las carreteras**, el aumento de las condiciones climáticas extremas puede poner en riesgo la seguridad del tráfico de la carretera e incluso suponer el cierre temporal al mismo.

6.2.2. Impactos sobre el ferrocarril

Buena parte de los impactos potenciales del cambio climático descritos en el apartado anterior (sobre las condiciones del trazado, las obras de tierra, los taludes, los sistemas de drenaje, los túneles, los puentes y otras estructuras, etc.) son igualmente válidos para las infraestructuras ferroviarias, al proyectarse éstas y las carreteras – en tanto que infraestructuras lineales – con elementos constructivos comunes. La bibliografía destaca además los siguientes aspectos específicos sobre impactos en el ferrocarril:

- Respecto de **la infraestructura de vía**, la estrategia finlandesa de adaptación al cambio climático indica que el aumento de la frecuencia de fuertes lluvias puede dañar las capas de balasto y subbalasto y la explanada de las líneas de ferrocarril, aumentando el contenido de humedad y la presión intersticial del suelo, y en consecuencia disminuyendo la estabilidad del mismo.

Por su parte, la estrategia alemana de adaptación al cambio climático señala la necesidad de investigar nuevas tecnologías de mantenimiento de **los raíles**, para evitar que las altas temperaturas eleven las tensiones internas y lleguen a niveles inadmisibles.

- En relación con la superestructura, el aumento de las temperaturas incrementará la necesidad de aislamiento de **las instalaciones de seguridad y de señalización** ferroviarias.
- En cuanto a **las condiciones de explotación de la infraestructura**, el aumento de la velocidad de las ráfagas de viento puede limitar la velocidad de circulación de los trenes de alta velocidad en determinados tramos.

De forma general, el aumento de las condiciones climáticas extremas puede poner en riesgo la fiabilidad y seguridad de los servicios ferroviarios. El riesgo de inundación de las instalaciones ferroviarias aumenta, especialmente en tramos donde la diferencia de cota entre la vía férrea y la lámina del agua sea escasa. Además, la mayor frecuencia e intensidad de las tormentas y el aumento de la velocidad del viento suponen un incremento del riesgo directo sobre las estructuras aéreas de alimentación eléctrica y sobre la señalización. También las subestaciones eléctricas que suministran energía a la vía férrea son vulnerables al incremento de la fuerza del viento. Conviene asimismo tomar precauciones contra la caída de árboles. Y no olvidar que el tráfico ferroviario es una de las causas principales de los incendios forestales.



En contrapartida, el aumento de las temperaturas tiende a mejorar las condiciones de explotación del transporte ferroviario al disminuir la presencia de hielo o nieve en invierno, aunque aumenta las necesidades de mantenimiento en el verano.

Conviene subrayar finalmente la fuerte incidencia que tienen sobre la funcionalidad del ferrocarril las perturbaciones provocadas por las condiciones climáticas en otras infraestructuras externas, como las redes de suministro eléctrico o de telecomunicaciones.



CEDEX

6.2.3. Impactos sobre el transporte aéreo

Respecto de las infraestructuras aeroportuarias, el cambio climático puede afectar al drenaje superficial y profundo de las aguas de lluvia y de las aguas negras, a los firmes de las pistas de despegue y aterrizaje, a los equipos de suministro de energía, y a los sistemas de telecomunicaciones y de apoyo técnico a las aeronaves, incluido el suministro de combustible.

En referencia al transporte aéreo, puede ser conveniente en algunos casos modificar ciertas operaciones aeroportuarias y de control del tráfico aéreo para hacer frente a situaciones meteorológicas más frecuentes y extremas, como las tormentas y fuertes vientos. Temperaturas máximas extremas podrían afectar a la distancia necesaria para el aterrizaje y el despegue de los aviones. Aunque la niebla puede tener un impacto local en algunos aeropuertos, no se espera que su incidencia sea especialmente trascendente.

Por último, conviene no olvidar que la funcionalidad de un aeropuerto depende de la conectividad al sistema general de transporte. Por ello, al considerar los impactos sobre el transporte aéreo no hay que olvidar prever los impactos potenciales del cambio climático sobre los accesos del transporte terrestre a las instalaciones aeroportuarias.

6.2.4. Impactos sobre el transporte marítimo

Por último, los impactos potenciales principales del cambio climático en las infraestructuras portuarias y el transporte marítimo son los siguientes:

- El aumento de la altura de ola reduce la seguridad de **los diques portuarios** y otras estructuras costeras frente a inundaciones e incrementa el riesgo de fenómenos erosivos más frecuentes.
- Por su parte, la elevación del nivel del mar puede tener un efecto positivo en **las operaciones portuarias**, al aumentar el calado del puerto. En contrapartida, una mayor intensidad y frecuencia del oleaje puede reducir la operatividad de las obras marítimas. El aumento de los vientos extremos puede también dificultar las operaciones de atraque de los buques en el puerto.
- El cambio de las condiciones oceanográficas y meteorológicas en el mar abierto (cambios en la temperatura del aire y del agua, en la lluvia, las heladas, la velocidad y dirección del viento o el estado de la mar) tiene un impacto directo sobre **las rutas de navegación marítima**. Los cambios relacionados con los fenómenos climáticos extremos son especialmente importantes con vistas a establecer las condiciones adecuadas de monitorización de rutas, de los servicios de previsión y alerta, de gestión del riesgo de emergencia y de los servicios de rescate.

Puesto que los puertos más importantes suelen tener conexiones con todo el mundo; las implicaciones del cambio climático sobre las rutas que hacen escala en los mismos deben considerarse tanto en términos locales como a mayor escala.

La operación de las rutas de transporte marítimo depende también de las condiciones oceanográficas y meteorológicas en las zonas costeras. El cambio climático supondrá

cambios en el nivel del mar, en las corrientes, en la erosión y en la sedimentación en el litoral. La estrategia de adaptación al cambio climático en Dinamarca menciona por ejemplo un mayor riesgo de problemas para las embarcaciones en las bocanas de los puertos (acceso al puerto), a causa de modificaciones en la dinámica litoral, que puede requerir que se modifiquen las operaciones de dragado y relleno de arenas en las inmediaciones del puerto.

- Al igual que para el transporte aéreo, conviene no olvidar que la funcionalidad de un puerto depende de su conectividad al sistema general de transporte y, consecuentemente, conviene considerar los impactos potenciales del cambio climático sobre los accesos por vía terrestre a las instalaciones portuarias.

6.3. LOS RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LAS INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA

Uno de los retos a los que se enfrenta el redactor del plan o programa es tratar de imaginar cuáles son los principales riesgos del cambio climático para las infraestructuras del transporte en el caso particular de España.

Desde una perspectiva metodológica, la evaluación de tales riesgos suele requerir:

- que se identifique cuáles son los elementos que conforman el sistema de transporte más vulnerables (esto es, aquellos con menor capacidad de afrontar los efectos negativos del cambio climático), y
- que se establezca alguna sistemática que, combinando la probabilidad de que se dé un impacto sobre ellos con la severidad y extensión de sus consecuencias sobre el sistema, permita identificar cuáles son los mayores riesgos, frente a los que prever medidas de adaptación.

La identificación de los elementos más vulnerables y la evaluación de su vulnerabilidad suele organizarse a partir de:

- el establecimiento de un inventario de los principales activos que conforman el sistema de transporte al que se refiere el plan o programa, prestando una atención particular a aquéllos que son más susceptibles a priori a sufrir los efectos del cambio climático, y
- la estimación de las condiciones climáticas actuales y futuras.

Entre los activos a inventariar se encuentran por ejemplo: el trazado y la sección estructural de carreteras y líneas de ferrocarril; los puentes, viaductos, túneles y otras estructuras singulares en obras lineales; las pistas de aeropuertos; las obras de defensa y abrigo de instalaciones portuarias y costeras; las instalaciones de control de tráfico y señalización; los sistemas de alimentación eléctrica, comunicación y repostaje. Aunque los factores para determinar la vulnerabilidad de cada activo pueden variar, algunas características de carácter común que suele ser conveniente conocer son: la localización geográfica y cota del activo (con apoyo de sistemas de información geográfica, a ser posible); el año de puesta en servicio; la vida útil de diseño y las características básicas del mismo (asociado al nivel de servicio deseado); el nivel de uso u otros criterios que permitan caracterizar la importancia del activo; el estado actual de conservación o integridad.



Con respecto a las condiciones climáticas actuales y futuras, es necesario identificar cuáles van a ser las variables climáticas (temperatura, precipitación, etc.) de mayor interés para el plan o programa y su evolución en el tiempo (tendencias y previsiones), así como los principales impactos en ausencia de medidas de adaptación. De cara a la evaluación de la vulnerabilidad, conviene tener presente que algunos de los efectos climáticos pueden ser particularmente relevantes desde una óptica estacional, extremal o geográfica local. Los impactos del cambio climático que sean relativamente inciertos y previsiblemente pequeños en magnitud deberían dejarse inicialmente al margen de la evaluación.

Para valorar la respuesta potencial y vulnerabilidad de cada componente del sistema de transporte, se suele hacer uso de datos históricos, de la experiencia y de eventos climáticos pasados. Al valorar la vulnerabilidad actual, se tiene en cuenta aspectos como los costes incurridos en reparaciones asociadas a eventos climáticos, el gasto regular destinado a servicios relacionados con incidencias climáticas (por ejemplo, vialidad invernal), o las consecuencias que tiene para el conjunto del sistema de transporte el que un cierto componente/activo se dañe o destruya. La estimación de la vulnerabilidad en el futuro frente a cambios en las variables climáticas se sustentará en buena medida sobre la valoración de la vulnerabilidad actual y el juicio de técnicos experimentados; en el caso de presiones climáticas nuevas sobre el sistema de transporte (por ejemplo, un aumento de temperatura de varios grados), puede ser útil recurrir a la experiencia que pueda haber en otras regiones o países en los que ya se den en la actualidad tales condiciones climáticas.

Para los componentes/activos considerados vulnerables, la evaluación del riesgo para ellos resulta de considerar conjuntamente la probabilidad de que dicho componente/activo experimente cierto impacto y las consecuencias que dicho impacto provoque sobre el sistema de transporte y la sociedad en general. Una manera de hacerlo es mediante el empleo de matrices similares a las de la figura 6.8, en las que la probabilidad de experimentar un impacto y la magnitud de sus consecuencias se gradúan en escalas bajo/alto. En este tipo de matrices suele resultar a menudo complejo introducir criterios cuantitativos para diferenciar cada categoría de la gradación, siendo frecuente el empleo de criterios sólo cualitativos. Si el modelo de evaluación del riesgo está bien calibrado, la evaluación de riesgo resultará típicamente alta en situaciones con riesgo inaceptable, que requieran una atención de gestión prioritaria, o con probables interrupciones de tráfico importantes.

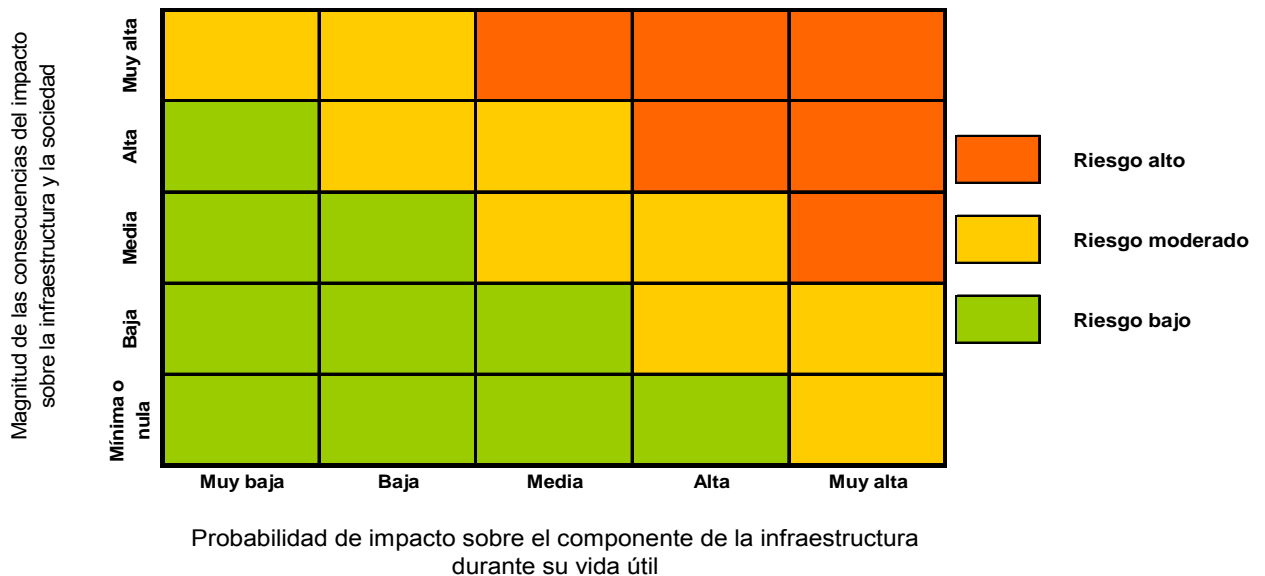


Figura 6.8
Ejemplo de matriz para la evaluación del riesgo²⁶

El esfuerzo a dedicar a la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo y su nivel de detalle vendrán condicionados por el presupuesto y tiempo disponibles para realizar el estudio, así como por la amplitud del plan o programa dentro del que se va a integrar la adaptación al cambio climático²⁷. Dentro del apartado de bibliografía que figura al final de este documento se han incluido referencias a diversos ejemplos de evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo en el ámbito del transporte.

La consideración de posibles medidas y estrategias de adaptación debería centrarse con prioridad en los componentes/activos que presenten riesgo alto o medio, pudiendo dejar para una etapa posterior del análisis aquéllos que tengan una baja probabilidad de ser impactados por el cambio climático y para los que las consecuencias de tales impactos sean previsiblemente bajas.

La figura 6.9 sintetiza la estructura conceptual para la evaluación de riesgos que se ha descrito en los párrafos anteriores.

²⁶ Tomado del modelo conceptual actualmente en desarrollo por la Federal Highway Administration norteamericana.

²⁷ Por ejemplo, al formular las matrices para la evaluación del riesgo es posible distinguir entre las probabilidades de impacto a medio y largo plazo, o diferenciar entre la magnitud de los impactos sobre la propia infraestructura y la sociedad.



CEDEX

LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PLANES Y PROGRAMAS:
APLICACIÓN AL CASO DE PLANES Y PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

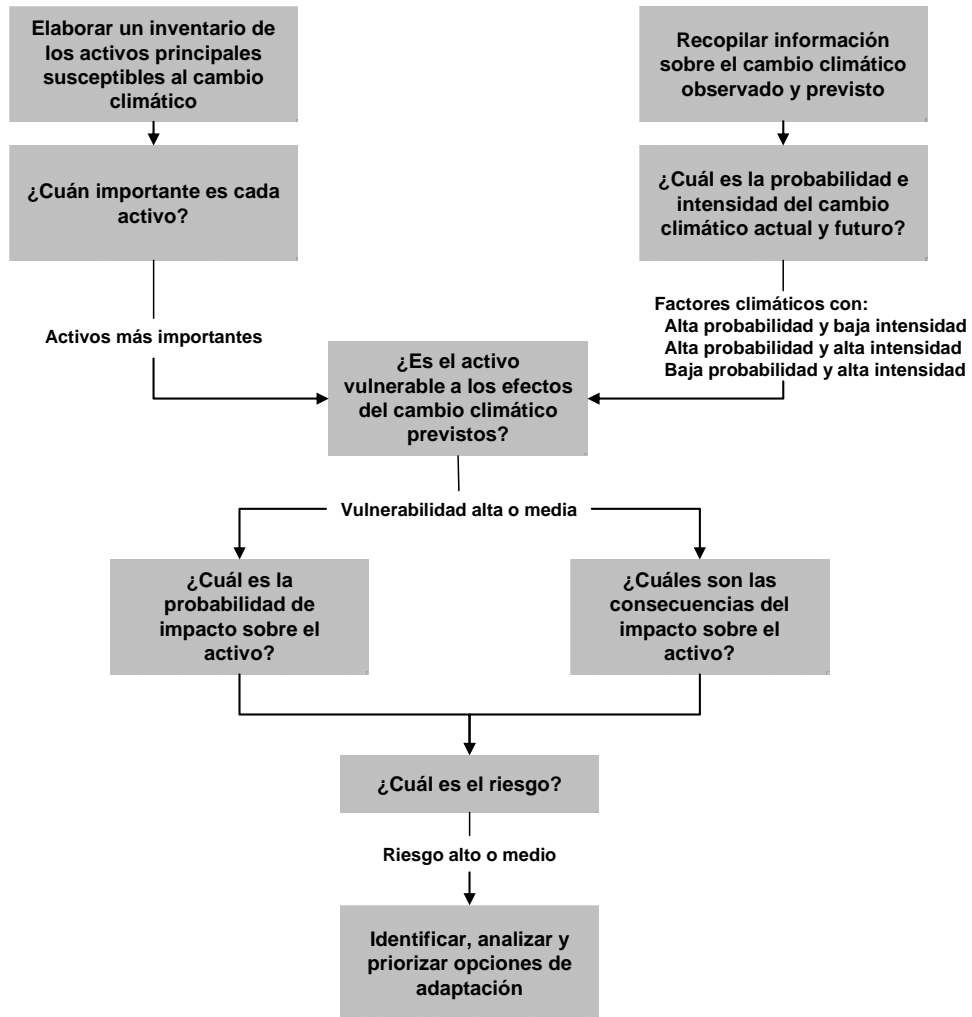


Figura 6.9
Estructura metodológica para la evaluación de los principales riesgos del cambio climático

6.4. POSIBLES ACTUACIONES PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN ESPAÑA

A diferencia de lo que sucede en otros países²⁸, en España no existe, a fecha de hoy, ninguna estrategia de adaptación al cambio climático de aplicación a las infraestructuras de transporte (en su conjunto o de cualquiera de sus modos) que pueda servir de marco o guía a la propuesta de intervenciones de adaptación a incluir por el redactor de un plan o programa de infraestructuras de transporte. Además, apenas existen estudios que identifiquen cuáles deberían ser las actuaciones de adaptación en el sistema de transporte español y su prioridad, habida cuenta de su coste-eficiencia. Por ello no debe sorprender que las recomendaciones incluidas en este apartado al respecto se fundamenten en la experiencia (aún incipiente) en otros países y en una reflexión todavía excesivamente teórica, llevada a cabo en este caso en el propio CEDEX.

6.4.1. Consideraciones generales

En primer lugar, se incluye a continuación diversas consideraciones de tipo general que conviene que el redactor del plan o programa tenga presente cuando seleccione las intervenciones de adaptación al cambio climático que aplicarán al mismo:

- En lo posible, la selección de medidas de adaptación debiera apoyarse en el análisis de varios escenarios de emisiones y modelos climáticos, y considerar las incertidumbres pertinentes.
- Conviene recordar que, en el caso de las infraestructuras de transporte, cualquier análisis de las consecuencias del cambio climático ha de tener en cuenta no sólo los impactos esperados por los cambios en los valores medios de los factores climáticos, sino también las consecuencias derivadas del previsible incremento de la frecuencia y severidad de eventos extremos y las consecuencias de la creciente variabilidad climática.
- Se ha de trabajar con cuidado con las diferentes escalas de tiempo que incumben al plan o programa. Por una parte, no debe confundirse el horizonte temporal del plan o programa de transporte (que raramente excederá 20-30 años) con el horizonte de los escenarios de cambio climático e impactos a considerar. Por otra parte, la vida útil de las infraestructuras de transporte a menudo rebasa el plazo temporal del plan o programa. Además, las implicaciones del plan o programa pueden ir más allá del horizonte para el que ha sido formulado, al repercutir sobre la planificación de los usos del suelo, la protección del medio ambiente o la gestión de los recursos naturales.
- Se debería realizar un inventario de las infraestructuras críticas a la luz de las proyecciones de cambio climático, que sirva de base para determinar cuándo y dónde las previsiones climáticas afectarán a la red de transporte. Debiera preverse una actualización periódica de este inventario a medida que se vayan teniendo nuevos conocimientos sobre el cambio climático y sus impactos. Dentro del presupuesto de

²⁸ Reino Unido, Estados Unidos.



CEDEX

ejecución de un plan o programa, esta actuación tendrá un coste relativamente bajo puesto que suelen existir ya abundantes herramientas GIS para su implantación.

- No hay que olvidar que la adaptación al cambio climático concierne tanto a la planificación de nuevas infraestructuras de transporte como al diseño de las obras, a las prácticas para su mantenimiento y conservación, y a las operaciones de explotación y operación de la infraestructura.

Por esta razón, las actuaciones de adaptación no deben limitarse a las necesidades de adecuación como consecuencia de la construcción de nuevas infraestructuras, sino que debiera contemplar también los riesgos de fallo de las infraestructuras existentes y las posibles interrupciones de los servicios de transporte.

- Para hacer frente a los riesgos del cambio climático es importante considerar una panoplia de opciones de intervención antes de decidir la actuación de adaptación a realizar. Así, por ejemplo, en infraestructuras existentes conviene considerar desde la sustitución o refuerzo de la infraestructura hasta la aceptación del fallo de la misma.
- La toma de decisiones y las responsabilidades en el sector transporte están estructuradas en España según múltiples niveles de competencias jurisdiccionales, geográficas y modales. Sin embargo, los impactos del cambio climático sobre el sistema de transporte no entienden de estos límites. Por ello se debería incentivar la incorporación y coordinación de actores estatales, regionales y locales – tanto públicos como privados - en la definición e implantación de las medidas de adaptación.
- Para elegir las actuaciones de adaptación más apropiadas en infraestructuras existentes, es aconsejable realizar una evaluación de los costes y beneficios de las distintas alternativas de adaptación.

En este ejercicio, convendrá tener presente que una parte de las infraestructuras son operadas y gestionadas por el sector privado, y sus inversiones responden a criterios de beneficio y rentabilidad económica empresarial, lo que dificulta la implantación de las mejores medidas de adaptación porque éstas quizás no produzcan beneficios inmediatos (conflicto en el horizonte temporal de la concesión, la vida útil de la infraestructura y la progresividad prevista de los impactos del cambio climático).

La elección (y priorización) de las actuaciones de adaptación debiera tener en cuenta asimismo las incertidumbres que rodean a las proyecciones climáticas (incertidumbres asociadas a los modelos climáticos y a las emisiones futuras de gases de efecto invernadero), a los efectos del clima sobre las actividades de transporte, y a las previsiones del comportamiento de los usuarios de los servicios de transporte²⁹. Estas incertidumbres no deben inhibir la toma de decisiones pero sí deben ser comprendidas, aceptadas y tenidas en cuenta al llevar a cabo la evaluación coste/beneficio de las distintas alternativas de adaptación.

²⁹ El proyecto P2R2C2 concluye, por ejemplo, que los efectos indirectos (cambios en la concentración poblacional, modificación de la demanda de transporte, modificación del parque de vehículos,...) pueden generar mayores impactos y costes de mantenimiento de carreteras que el propio cambio climático.

- En cualquier caso, conviene reconocer que algunos riesgos pueden ser gestionados eficientemente mediante procedimientos periódicos de renovación, actualización, reparación o sustitución.
- Para la construcción de nuevas infraestructuras es recomendable revisar y desarrollar - cuando resulte necesario - los criterios de diseño de la infraestructura, con objeto de contribuir a aminorar los impactos potenciales del cambio climático que no sean beneficiosos para el funcionamiento del sistema. No obstante, al hacerlo se debe sopesar la utilización de criterios de construcción más exigentes, debido a los mayores costes de inversión que esto supone, evaluando en su caso diferentes opciones de diseño para diferentes niveles de riesgo. Las medidas cuyo primer objetivo es evitar el riesgo suelen costar más dinero que aquellas encaminadas primordialmente a mejorar la gestión del riesgo.
- Dentro del plan de adaptación, es fundamental determinar cuándo llevar a cabo el conjunto de medidas de adaptación propuesto, priorizando acciones e inversiones, de forma que el grado de actuación sea proporcional al grado de amenaza y a los condicionantes presupuestarios existentes.
- Por último, es recomendable prever criterios para el seguimiento de la eficiencia de las iniciativas de adaptación ejecutadas.

6.4.2. Posibles actuaciones de adaptación

Seguidamente se relacionan, a título indicativo, algunas de las posibles intervenciones de adaptación a incluir en planes y programas de infraestructuras de transporte. Se incluyen en primer lugar las que se refieren a infraestructuras lineales y a continuación se mencionan algunas actuaciones más específicas de infraestructuras aeroportuarias y marítimas.

6.4.2.1. Actuaciones de adaptación en carreteras e infraestructuras ferroviarias

- **Identificar las zonas que se encuentran en riesgo frente a eventos climáticos extremos y evaluar dichos riesgos.** La identificación puede realizarse en la fase de planificación de nuevas infraestructuras y/o en infraestructuras ya existentes.

La identificación y estudio de zonas de riesgo de inundación merece especial consideración.



CEDEX



Figura 6.10

Con motivo de su ampliación, la Autopista Estatal 18 de Nueva Zelanda elevó su cota en 30 cm a causa de la previsión del aumento del nivel del mar.

Como consecuencia de la aprobación del *Real Decreto 903/2010 de Evaluación y Gestión del Riesgo de Inundación*, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino ha empezado a elaborar una *Evaluación preliminar del riesgo*, que trata de determinar qué zonas del territorio nacional (incluida la franja marítima costera) pueden tener riesgo de inundación, fundamentalmente en base a métodos geomorfológicos, e incorporará la información disponible sobre el impacto del cambio climático; los resultados de esta evaluación preliminar del riesgo de inundación debieran estar disponibles a final de 2011. De la aplicación del Real Decreto 903/2010 debieran resultar también:

- A final de 2013, una colección de *Mapas de peligrosidad y mapas de riesgo de inundación* para las zonas determinadas en la fase anterior y para diferentes escenarios de probabilidad de inundación (escenarios que incorporarán en particular las consecuencias previstas del cambio climático).

- A partir de 2016, unos *Planes de gestión del riesgo de inundación*, que incluyan las medidas que cada una de las administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias para reducir las consecuencias negativas producidas por las inundaciones.

En buena lógica, la planificación de nuevas infraestructuras de transporte en España debiera respetar el resultado de estos trabajos.

Para otros tipos de riesgo frente a eventos climáticos extremos que no están siendo objeto de aproximaciones tan sistemáticas como las inundaciones (por ejemplo, de deslizamiento de laderas y del terreno en taludes, de erosión en ríos y torrentes, etc.) puede ser conveniente requerir el diseño de programas de seguimiento del riesgo. Estos programas incluyen normalmente:

- documentación de los diferentes sucesos ocurridos;
 - un inventario de puntos críticos frente al riesgo;
 - la inspección, mantenimiento y correcciones periódicas para reducir el riesgo;
 - la inspección y mantenimiento periódico de los sistemas de protección contra los daños.
- Prever, a corto plazo, la **elaboración de planes de contingencia en zonas de riesgo críticas** para hacer frente con prontitud y eficacia a los impactos de eventos climáticos extremos, los cuales serán cada vez más importantes según las predicciones climáticas. Estos planes contemplarán, por ejemplo:
 - las necesidades de coordinación entre gestores y operadores de la infraestructura y los servicios de predicción meteorológica y los de protección civil;
 - la identificación de rutas de tráfico alternativas y de rutas de evacuación;
 - la gestión del tráfico y el suministro de información a la conducción mientras dure la emergencia (desvíos, restricciones a la circulación, etc.).

Es conveniente que los planes de contingencia prevean la actualización de los mismos, confirme se modifiquen significativamente los riesgos e incertidumbres.

- Requerir, a corto plazo, que se ponga más atención en la instalación de sistemas de comunicación redundantes que aseguren la rápida restauración de los servicios de transporte ante situaciones de fallo.
- Recomendar, a corto plazo, el **aumento de las tareas y frecuencias de vigilancia y de mantenimiento de la infraestructura**³⁰. Ello conlleva, lógicamente prever costes de conservación por kilómetro superiores a los actuales.

Los sistemas de drenaje constituyen una prioridad en este sentido, puesto que la mejora del mantenimiento y limpieza de los elementos de drenaje existente puede dar la capacidad hidráulica suficiente sin necesidad de modificar su diseño o su número.

³⁰ De hecho, algunos investigadores sostienen, para el caso concreto de las carreteras, que si las operaciones de mantenimiento y rehabilitación de las mismas se fueran acomodando a los cambios del clima previstos, prestándose más atención a su mantenimiento y conservación quizá pudiera ser posible que las carreteras sigan construyéndose de acuerdo a las prácticas de diseño y construcción actuales.



CEDEX

También es conveniente incorporar los riesgos del cambio climático en las sistemáticas actuales de inspección de puentes, incluyendo por ejemplo mayores frecuencias, la toma de registros de información relevante sobre caudales de agua o la inspección de los resguardos de los puentes.

En taludes y márgenes, especialmente de infraestructuras ferroviarias, puede ser aconsejable tomar precauciones contra la caída de árboles - por ejemplo, mediante su poda o traslado - para evitar posibles daños a los sistemas de electrificación.

En carreteras, la adaptación de los firmes bituminosos a las condiciones climáticas de cada momento - en lo que a características superficiales se refiere (para hacer frente, por ejemplo, a una mayor fisuración y formación de roderas) - se puede conseguir mediante simples actuaciones rutinarias en las operaciones de mantenimiento y rehabilitación.

- Valorar la necesidad de **revisar los contratos de conservación** de la infraestructura firmados entre la administración y el sector privado. La duración de los contratos para operaciones de conservación de carácter rutinario suele ser de pocos años, por lo que en este caso la revisión afectaría a la redacción de nuevos pliegos. Otros contratos de concesión – por ejemplo, en la red de carreteras del Estado – pueden durar hasta casi 20 años.
- Prever la necesidad de **actualizar los requerimientos, criterios y especificaciones técnicas de diseño** de determinados elementos de la infraestructura en obras de nueva construcción.

A este respecto, es importante valorar la necesidad de revisión de las instrucciones de diseño de las obras de drenaje y desagüe, considerando el aumento previsto de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones. Esta revisión podría hacerse, por ejemplo, proponiendo el aumento de los períodos de retorno o de los caudales de avenida, de las proyecciones futuras de intensidad de precipitación y caudales de avenida ordinarios y extraordinarios, o de los coeficientes de seguridad en el cálculo.

También es importante evaluar y revisar, si procede, las instrucciones de diseño de puentes³¹. Conviene tener presente que, mientras que el acondicionamiento de taludes afectados por erosiones y arrastres de materiales normalmente puede durar de unos pocos días a unas pocas semanas, la sustitución de un pequeño puente gravemente dañado puede tardar unos 6-12 meses y la sustitución de un puente grande gravemente dañado puede requerir dos o tres años. La revisión del diseño de puentes se centraría fundamentalmente en:

- el posible refuerzo de la cimentación de los puentes (encepados, zapatas, etc) y mejora de la protección de sus pilas, para reducir el riesgo de erosión que pueda generar el incremento de los caudales de avenida;
- los requisitos de resguardo mínimo entre la lámina de agua y el tablero del puente;

³¹ En Nueva Zelanda, Transit NZ ha revisado su manual de puentes de forma que el diseño de los principales puentes y obras de drenaje de nueva construcción incluya como requisito la disponibilidad de datos suficientes para poder valorar el impacto del cambio climático en la intensidad y frecuencia de la precipitación.

- la adaptación al aumento de las cargas térmicas (en tablero, vigas, losas, etc.) debido al aumento de temperaturas.

Aunque menos importante, también puede ser conveniente adecuar determinados criterios de diseño de los taludes y márgenes de la infraestructura. Así, puede resultar necesario introducir modificaciones en su vegetación para contrarrestar el posible aumento del riesgo de incendios forestales por elevadas temperaturas y aumento de periodos de sequía. También puede ser aconsejable revisar los criterios de selección de de la cubierta vegetal más idónea.

En carreteras, teniendo en cuenta que el ciclo de reconstrucción de muchos pavimentos es relativamente corto, su diseño estructural actual seguirá probablemente siendo válido a corto plazo. Los pavimentos de hormigón y los pavimentos bituminosos denominados de larga duración (ambos con escasa presencia en la red de carreteras española), cuya previsión de vida útil alcanza 30-50 años, pueden no obstante requerir algún tipo de consideración para su adaptación a las condiciones climáticas del futuro. En firmes de hormigón, por ejemplo, puede ser oportuno adecuar a los nuevos condicionantes térmicos la separación máxima exigida entre juntas de construcción y expansión y las características del material de unión.

También puede ser necesario revisar algunos criterios de diseño de las mezclas bituminosas en base al cambio previsto en su comportamiento superficial:

- Para hacer frente al ablandamiento de la superficie del firme por el incremento de temperaturas, se podrían utilizar materiales de mayor módulo de elasticidad, de mejor comportamiento estructural.
- Para evitar la filtración de agua y la descomposición de los áridos del firme bituminoso puede ser aconsejable introducir modificaciones en la composición granulométrica, las propiedades de la mezcla bituminosa y el espesor de la capa de rodadura del firme.

En el ámbito específicamente ferroviario, puede ser conveniente revisar las especificaciones de las instalaciones eléctricas aéreas (catenaria, torres eléctricas, contrapesos, etc.) y estudiar la ampliación de la redundancia de las redes de comunicación.

- Identificar y priorizar las ***necesidades de adecuación de la infraestructura existente***. La mayor parte de necesidades de adecuación se pondrán de manifiesto sobre componentes de la infraestructura ya comentados (obras de drenaje, puentes y estructuras, taludes, pavimentos, etc.), a medida que los impactos del cambio climático se vayan haciendo más evidentes. Otras necesidades pueden aparecer en cambio como medida de adaptación frente a impactos del cambio climático en otros sectores o sistemas (por ejemplo, puede ser conveniente reconsiderar la ubicación de ciertos pasos de fauna como medida de adaptación frente a las alteraciones en la tipología y distribución geográfica de los hábitats de la fauna).

Para elegir y priorizar las actuaciones de adaptación más apropiadas en infraestructuras existentes, es aconsejable realizar una evaluación de los costes y beneficios de las distintas alternativas de adaptación. En la evaluación coste/beneficio habrá que prestar atención a las distintas escalas de tiempo (vida útil de la



CEDEX

infraestructura, periodos de retorno de las inversiones, progresividad de los impactos del cambio climático y de su certeza).

6.4.2.2. Actuaciones de adaptación en infraestructuras aeroportuarias

Para la adaptación de las infraestructuras aeroportuarias al cambio climático pueden ser particularmente importantes los siguientes aspectos:

- Examinar la necesidad de mejorar los sistemas de drenaje y de evacuación del agua de lluvia de los aeropuertos para hacer frente a los cambios de penetración de agua en el suelo debido al aumento de las precipitaciones.
- La adaptación al cambio climático concierne no sólo a la infraestructura aeroportuaria sino también a los aviones. Conviene tener presente que los aviones son aparatos de alta precisión, extremadamente caros; por ello deben ser protegidos del agua marina, de excesivo polvo en el viento, etc.
- El sector del transporte aéreo es extremadamente dependiente de la electricidad, por lo que se recomienda disponer de reserva de potencia para mantener las operaciones de tráfico aéreo en los aeropuertos ante fallos en el suministro eléctrico.
- Uso de sistemas de alerta de fenómenos meteorológicos para un mejor control del tráfico aéreo y de la navegación marítima.
- Las aeronaves, que tienen un período de vida de 30 años, se reemplazarán cuando sea necesario.

6.4.2.3. Actuaciones de adaptación en infraestructuras marítimas

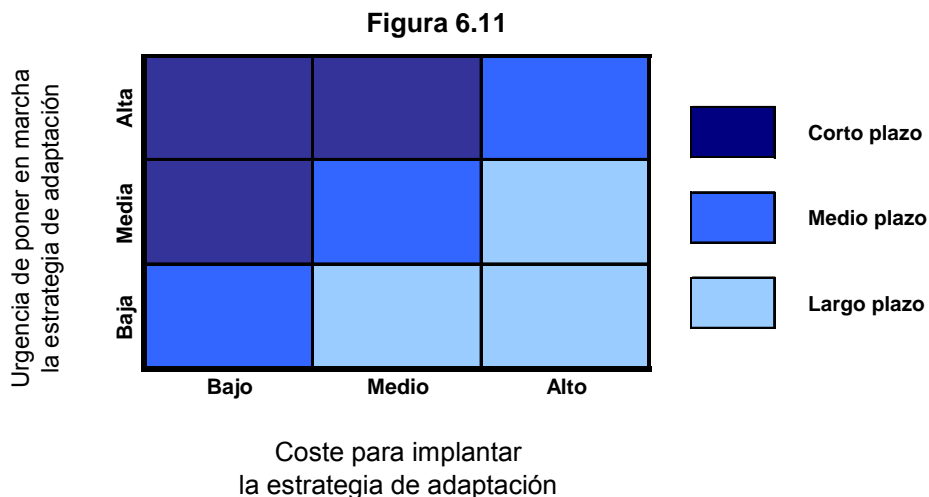
- Evitar la localización de nuevas infraestructuras de transporte en áreas vulnerables.
- Se debería considerar la posibilidad de elevación de la cota de coronación de los diques y otras estructuras costeras en servicio, para que sus condiciones de seguridad frente al oleaje no se vean mermadas.
- Posiblemente sea conveniente la revisión de determinadas recomendaciones o normas de diseño de la infraestructura portuaria. En particular, es importante considerar respecto a nuevas construcciones o renovación de diques el horizonte temporal del cambio climático a incluir en los criterios de diseño, puesto que estas instalaciones tienen un período de vida de 50-100 años, y el clima se espera que cambie drásticamente en ese período.
- Mantener y desarrollar varios sistemas de observación y alerta relativos a las condiciones meteorológicas y a información sobre vientos.
- Se requiere trabajar en coordinación con las autoridades locales, los operadores de transporte y los servicios de emergencia, para prever procedimientos de emergencia y contingencia ante eventos meteorológicos extremos (fuertes vientos e inundaciones).

- Impacto potencial: Afección a las condiciones geotécnicas del terreno (tensión del terreno, asientos diferenciales, etc) por elevación del nivel freático en infraestructuras portuarias. Medidas de adaptación en fase de diseño:
 - Elaboración de guías técnicas oficiales que aseguren y estandaricen la calidad de los trabajos relacionados con subsidencia.
 - Regular las actividades que puedan incrementar el riesgo de hundimientos y subsidencia.
 En la fase de operación y mantenimiento:
 - Implementar medidas de vigilancia y seguimiento instrumental de los fenómenos de compactación y subsidencia (por ejemplo con teodolitos, láseres cuidadosamente nivelados, inclinómetros o técnicas GPS).

6.4.3. Selección y priorización de las medidas de adaptación

La selección final de las actuaciones de adaptación a desarrollar durante la fase de implantación de un plan o programa y su priorización en el tiempo requieren a menudo un esfuerzo específico de planificación.

Uno de los métodos para ayudar a seleccionar las actuaciones de adaptación más eficientes – similar al empleado en la evaluación de riesgos - consiste en establecer una matriz que relacione la urgencia de poner en marcha una estrategia de adaptación (directamente vinculada al nivel de riesgo y vulnerabilidad, previamente evaluado) con el coste de su implantación (figura 6.11).





7. SEGUIMIENTO DE AFECCIONES

El proceso de EAE prevé que el órgano promotor realice un seguimiento de los efectos de la aplicación o ejecución de los planes y programas (y viceversa), en el que el órgano ambiental participará.

Desde la perspectiva de la mitigación, el seguimiento de los efectos se centrará normalmente en el **cálculo *ex post*** de al menos una parte de los **indicadores** incorporados con anterioridad en el ISA. La experiencia demuestra que la variable con mayor incidencia será presumiblemente la variación que pueda existir entre tráficos previstos y reales.

Desde el punto de vista de la adaptación, la **gestión adaptativa** constituye sin duda el mejor mecanismo de seguimiento. Dada la complejidad inherente del análisis sobre cómo responder al cambio climático, la planificación de la adaptación debe ser flexible y prever una evaluación regular de la efectividad de las medidas de adaptación ejecutadas y previstas que incorpore información nueva y actualizada sobre los impactos del cambio climático.

La frecuencia con la que conviene evaluar el progreso conseguido en términos de adaptación al cambio climático depende de múltiples factores, entre los que cabe citar la naturaleza de las principales vulnerabilidades y mayores riesgos identificados, el horizonte del plan o programa, o la organización de la planificación y de los ciclos presupuestarios. En cualquier caso, conviene mantener actualizada la información sobre cambio climático que se haya empleado para justificar las actuaciones de adaptación así como los resultados de interés procedentes de nuevas investigaciones.





CEDEX

8. REFERENCIAS

- *Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.*
- *Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.* BOE 29 abril 2006.
- *Guía de aplicación de la Ley 9/2006, de 28 de Abril, sobre evaluación ambiental de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.* Ministerio de Medio Ambiente. Julio de 2006.
- *Practical Guidance for Integrating Climate Change and Biodiversity into Strategic Environmental Assessment (SEA) Procedures.* European Commission, Directorate-General for Environment. Final Draft, October 2011.

Referencias relativas a las estrategias de mitigación del cambio climático

- *Laying the foundations for greener transport. TERM 2011: transport indicators Trucking progress towards environmental targets in Europe.* European Environment Agency. EEA Report No 7/2011.
- *Perfil Ambiental de España 2010. Informe basado en indicadores.* Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 2011.
- *Informe OMM 2009.* Observatorio de la Movilidad Metropolitana, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y Ministerio de Fomento. Abril 2011.
- *Informe de Sostenibilidad en España 2011.* Observatorio de la Sostenibilidad en España. 2011.
- *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020.* Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE). 2011.
- *Borrador Plan de Energías Renovables 2011-2020.* Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE). 2011.
- *Trabajos de asistencia técnica e innovación en la planificación del transporte (2005-2008): desarrollo de directrices de actuación y fomento de la innovación en la movilidad urbana.* CEDEX. 2006.
- *Informe basado en el Sistema de Indicadores de Seguimiento del Transporte y su Impacto Ambiental.* CEDEX. 2009.
- *Informe 2010 del Observatorio del Ferrocarril en España.* Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2011.
- *Metodología de evaluación de la eficiencia energética del material móvil ferroviario.* Fundación de Ferrocarriles Españoles – IDAE. 2010.
- *Informe de Sostenibilidad 2010.* ADIF. 2011.
- *Sostenibilidad en la aviación en España. Informe 2009.* Observatorio de la Sostenibilidad en la Aviación. SENASA. 2010.
- *Documento Final de Transporte Sostenible.* Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA10). Grupo de Trabajo de Transporte Sostenible de CONAMA 10. 2010.

- López-Peña, A., Danesin, A., Linares, P., Pérez-Arriaga, I., Fernández, A., Díaz, R. *Informe basado en indicadores*. Edición 2010. Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España (Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad. Universidad Pontificia Comillas). 2010.
- *Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible*. BOE de 5 de marzo de 2011.
- *Plan de ahorro, eficiencia energética y reducción de emisiones en el transporte y la vivienda*. Ministerio de Fomento. Abril 2011.
- *Estrategia Española de Movilidad Sostenible*. Ministerio de Fomento y el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 2009.
- *Estrategia Española de Sostenibilidad Urbana y Local*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 2009.
- *Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*. Ministerio de la Presidencia. Grupo Interministerial para la Revisión de la Estrategia de Desarrollo Sostenible de la Unión Europea y la preparación de la Estrategia Española de Desarrollo Sostenible. 2007.
- *Cambio Global en España 2020. Programa Transporte*. Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental (CCEIM) y Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio (FUNDICOT). 2009.
- *Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono*. Observatorio de la Sostenibilidad en España. 2011.
- *The Greenhouse Gas Protocol: a corporate accounting and reporting standard*. World Resources Institute - World Business Council for Sustainable Development. Washington, DC, Conches-Geneva. 2001.
- *UNE-ISO 14064:2006 Gases de Efecto Invernadero*. AENOR. 2006.
- Domenech, J. L. *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. AENOR. 2007.
- Estevan, A. *Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas*. CEDEX. 2009.
- *UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. AENOR. 2011.
- *UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. AENOR. 2011.
- *BEDEC. Guía de instalación, contenido y criterios*, pp. 45 – 47. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. 2011.
- *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009. Technical guidance to prepare national emission inventories*. EEA Technical report No 9/2009. European Environment Agency. 2009.
- *Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte*. Grupo de investigación del proyecto Enertrans. 2010.
- *EcoPassenger. Environmental Methodology and Data*. IFEU Heidelberg. Commissioned by UIC. 2010. Disponible en www.ecopassenger.org.
- *EcoTransIT World. Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports. Methodology and Data Update*. IFEU Heidelberg, Öko-Institut, IVE y RMCON. Commissioned by DB and UIC. Julio 2011. Disponible en www.ecotransit.org.



CEDEX

- *Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories*. ACRP Report 11. Transportation Research Board. Washington, D.C. 2009.
- *Carbon footprinting for ports: Guidance document*. World Ports Climate Initiative. Carbon Footprinting Working Group. June 2010.
- *Port of Los Angeles. Inventory of Air Emissions – 2010*. Prepared by Starcrest Consulting Group, LLC. Julio 2011.
- *2007 goods movement air emissions inventory at the port of Houston*. Final Draft. Prepared by Starcrest Consulting Group, LLC. Enero 2009.
- *Port of Long Beach. Air emissions inventory 2010*. Prepared by Starcrest Consulting Group, LLC. Julio 2011.
- *Carbon Footprint Report 2010*. Jurong Port.
- *CO₂ emissions for the calendar year 2008*. Port of Oslo.
- *Reducing Greenhouse Gas Emissions in the British Columbia Road Building and Maintenance Industry*. B.C. Road Builders and Heavy Construction Association and Ministry of Transportation and Infrastructure. Mayo 2011.
- *Handbook for Considering Practical Greenhouse Gas Emission Reduction Strategies for Airports*. Airport Cooperative Research Program. ACRP Report 56. Transportation Research Board. 2011.
- *IAPH Tool Box for Greenhouse Gases*. International Association of Ports and Harbors. Disponible en http://iaphtoolbox.wpci.nl/GreenG_conmeas.html.
- *Sharing best-practices in reducing greenhouse gas emissions at ports*. Asia-Pacific Economic Cooperation. Maritime Experts Group. 2009.
- *Transport, Energy and CO₂. Moving towards sustainability*. International Energy Agency. 2009.
- *CO₂ emissions from fuel combustion*. Highlights. International Energy Agency. 2010.
- Lumbreras, J., Guijarro, A., López, J. M. & Rodríguez, E. *Methodology to quantify the effect of policies and measures in emission reductions from road transport*. Fifteenth International Conference on Urban Transport and the Environment, Bologna, 22-24 June, 2009. Wessex Institute of Technology, Southampton, pp. 565 – 574.
- Stripple, H. *Life Cycle Assessment of Road. A Pilot Study for Inventory Analysis*. Second Revised Edition. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. 2001.
- Stripple, H., Erlandsson, M. *Methods and Possibilities for Application of Life Cycle Assessment in Strategic Environmental Assessment of Transport Infrastructures*. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. 2004.
- Stripple, H., Uppenberg, S. *Life cycle assessment of railways and rail transport. Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line*. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. 2010.
- *Biodiversidad en España. Base de la sostenibilidad ante el cambio global*. Observatorio de la Sostenibilidad-OSE.2011.

Referencias relativas a las estrategias de adaptación al cambio climático

- *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)*. Ministerio de Medio Ambiente. 2006.

- *Primer Programa de Trabajo del PNACC*. Oficina Española de Cambio Climático. S. G. para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente.
- *Observatorio de la Sostenibilidad-OSE.2011. Segundo Programa de Trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Julio 2009*. Oficina Española de Cambio Climático. S. G. para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Proyecto ECCE, informe final. Ministerio de Medio Ambiente y UCLM. 2005.
- *El cambio climático en España. Estado de situación*. Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático, documento resumen. Noviembre de 2007.
- *Primers resultats sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI*. Barreda-Escoda, A. y Cunillera, J. Informe Técnico, Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya. 2010.
- *The European environment: state and outlook 2010. Adapting to climate change*. European Environment Agency. 2010.
- *Impactos en la costa española por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente y UC. 2004.
- *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2009.
- *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. CEDEX. 2010.
- *German strategy for adaptation to climate change*. The German Federal Government. 2008.
- *Danish strategy for adaptation to a changing climate*. The Danish Government. 2008.
- *Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change*. Ministry of Agriculture and Forestry. 2005.
- *Sweden facing climate change – threats and opportunities*. Final report from the Swedish Commission on Climate and Vulnerability. 2007.
- *Potential impacts of climate change on U.S. transportation*. TRB Special Report 290, National Research Council of the National Academies. 2008.
- *Proyecto de acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*. Ministerio del Interior. 2011.
- *Overall advice & Summary*. Proyecto P2R2C2 – Pavement Performance & Remediation Requirements following Climate Change. Octubre 2010.
- *Impact of Climate Change on Road Infrastructure*. AP-R243. Austroads. 2004.
- *Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación* (BOE del 15 julio).
- *FHWA conceptual model for vulnerability and risk assessment*. Federal Highway Administration. 2011.
- *Infrastructure and climate change risk assessment for Victoria*. Report prepared by CSIRO, Maunsell Australia Pty Ltd and Phillips Fox for the Victorian Government. Marzo 2007.



- Guérard, H. y Ray, M. *GERICI Project: Risk Management related to climate change for infrastructures*. European Roads Review. Otoño 2006.
- *A guidebook to the RIMAROCC method*. RIMAROCC Project, Risk management for roads in a changing climate. Agosto 2010.
- *Case study – Network scale: The French northern motorway network*. RIMAROCC Project, Risk management for roads in a changing climate. Agosto 2010.
- *Case study – Structure scale: National road RV90, Väja, Sweden*. RIMAROCC Project, Risk management for roads in a changing climate. Agosto 2010.
- *Illustrative case study – A2/A58 Hertogenbosch-Eindhoven-Tilburg, The Netherlands*. RIMAROCC Project, Risk management for roads in a changing climate. Agosto 2010.
- *Adapting Transportation to the Impacts of Climate Change. State of the Practice 2011*. Transportation Research Board, TRB. Transportation Research Circular Number E-C152. Junio 2011.
- *Extreme weather impacts on transport systems*. EWENT Project Deliverable D1. VTT Working Papers 168. 2011.
- *UIC Project ARISCC – Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change*. Final report (Draft). Julio 2011.
- *Seaports and Climate Change – An Analysis of Adaptation Measures*. The International Association of Ports and Harbors, IAPHR. Port Planning and Development Committee. Julio 2011.
- Becker, A.; Inoue, S.; Fischer, M.; Schwegler, B. *Climate Change Impacts on International Seaports: Knowledge, Perceptions and Planning Efforts among Port Administrators*. Ad Hoc Expert Meeting on Climate Change Impacts and Adaptation: A Challenge for Global Ports. 29-30 Septiembre 2011.