

# TALLER TÉCNICO SOBRE ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y REGIONALIZACIÓN.

SEMINARIO SECTORIAL DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO

## LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Laura Crespo García  
Fernando Jiménez Arroyo  
M<sup>a</sup> Mar Montané López  
Área de Contaminación Atmosférica y Cambio Climático.  
Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas  
CEDEX

Valsaín, 27-29 de Abril de 2011

**- Dentro de los objetivos del PNACC para sector tte:**

- No muy afectado por aumento de temperaturas, aunque sí por cambios en régimen de precipitaciones, vientos o nieblas.
  - Podría ser necesario introducir modificaciones en las obras de infraestructura: puentes, pistas para aviones, etc.
  - Ámbito portuario: impactos pueden ser especialmente imp. debido al ascenso del NMM y la modificación de otros parámetros climáticos.
- No sector prioritario, no incluido dentro de los dos Programas de Trabajo del PNACC.

**Primera línea de trabajo identificadas en transporte:**

Cartografía de impactos previstos para el sector tte terrestre, aéreo y marítimo, relacionados con las infraestructuras y la seguridad.

**- Válido para integración del C.C en las EAE de Planes y Programas de infraest. tte**

**Punto de partida:**

• **Ámbito portuario:**

- Plan Nacional I+D+i (Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático):
  1. Proyecto MARUCA (Caracterización climática del medio físico marino español para la optimización portuaria y navegación marítima). U. Cantabria
  2. – Proyecto C3E (Cambio Climático en la Costa Española). U. Cantabria
- Impactos en la costa española por efecto del cambio climático. U. Cantabria

• **Recursos hídricos:**

- Evaluación del Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en Régimen Natural (CEDEX).

• **Biodiversidad:**

- Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación de la Biodiversidad Española frente al Cambio Climático. Fauna y Flora

# LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

## ÍNDICE DE LA INICIATIVA:

1. POTENCIALES FACTORES CLIMÁTICOS PARA ESPAÑA
2. RECOPIACIÓN DE PLANES Y ESTRATEGIAS NACIONALES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. ESPECIAL REFERENCIA SECTOR TTE.
3. RECOPIACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN REFERENTES A LA ADAPTACIÓN DE INFRAESTRUCT. TTE. AL C.C
4. IMPACTOS POTENCIALES EN ESPAÑA DERIVADOS DEL C.C SOBRE CADA MODO DE TTE. Y POSIBLES MEDIDAS DE ADAPTACIÓN.
5. IDENTIFICACIÓN DE NORMATIVA ESPAÑOLA Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE INRAEST. TTE. A REVISAR A LA LUZ DEL C.C

## I. FACTORES CLIMÁTICOS PARA ESPAÑA:

- Acciones climáticas de diseño actual:

$T^a$ , P: estaciones meteorológicas que cuentan con series largas y su posterior trat. estadístico (Prob. ó T)

- Nuevos requerimientos:

Incorporación de escenarios climáticos regionalizados para España y su incertidumbre.

Eventos climáticos extremos → E.L.U (resistencia, rotura)  
Factores climáticos medios → E.L.S (funcionalidad obra)

- Resolución temporal:

- Nuevas infraestr: Toda la vida útil de la obra  
(Puente ≈ 100 años, Carretera ≈ 60 años, Firme ≈ 20 años, etc.)
- Infraestr. existentes: Hasta el final de su vida útil

## I. FACTORES CLIMÁTICOS PARA ESPAÑA (Cont.)

- Buena resolución espacial. Son obras localizadas.

- Dificultades encontradas:

- Datos climáticos futuros disponibles, ¿Herramientas?, ¿Incertidumbre? ¿Resolución temporal y espacial?. Acceso a la información?.

- ¿Cuántos escenarios necesitamos manejar?, ¿cuál es más probable?.

- Tratamiento de la incertidumbre derivada del cambio climático:

- Gestión de riesgos: Incertidumbre del c.c + incertidumbre del efecto que éste tendría sobre la actividad o elemento de la carretera.

- ¿Cómo han resuelto estos problemas otros sectores?

## **2. PLANES Y ESTRATEGIAS NAC. ADAPT. C.C. REFERENCIA AL TTE.**

### **• PNACC:**

Holanda, España, Reino Unido, Francia, Hungría, Alemania, Finlandia, Dinamarca y Suecia.

La mayoría de los PNACC establecen la necesidad de un seguimiento del nivel de implantación del Plan.

**• Horizonte temporal** del Plan: 2080 -2100

### **• Transporte:**

Todos los Planes consideran el tte. un sector específico, excepto Dinamarca (contemplado dentro sector gestión costera y dentro del sector de la edificación y construcción).

### **• Ejemplo: Planes de Adaptación al C.C del Reino Unido:**

- Plan específico para el tte.
- La Higways Agency cuenta con su propia Estrategia de Adaptación, que desarrolla una metodología de evaluación del riesgo asociado al clima futuro.

### **3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

- Proyectos, a escala nacional, en **Nueva Zelanda** y en **Australia** de **análisis del cambio climático en relación con** los costes de futuras intervenciones de **mantenimiento y rehabilitación de firmes de carreteras**.
- Las **tendencias** futuras señalan el **aumento de los costes de conservación y mantenimiento de carreteras, a causa tanto de los eventos climáticos como de otros condicionantes** (crecimiento y distribución poblacional, movimientos migratorios, demanda de transporte, parque de vehículos,...), **factores** estos últimos que se cree que **tendrán incluso mayor trascendencia que el propio cambio climático**.
- La actual gestión de las carreteras parece ser suficiente para hacer frente a muchos de los impactos previstos del cambio climático.
- Los resultados obtenidos muestran que **la mejor opción de adaptación no consiste en tomar acciones de forma inmediata** si no en actuar sobre la infraestructura cuando los efectos climáticos adversos vayan a manifestarse de forma evidente.



### **3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**ERANET-ROAD:** Coordina los programas nacionales de investigación de carretera en Europa

- **RIMAROCC** (*Risk Management for Roads in Changing Climate*), basado en la gestión del riesgo debido al cambio climático en las carreteras.
- **IRWIN** (*Improved Winter index to assess maintenance needs and adaptation costs in Climate Change scenarios*), relativo a índices invernales que permitan evaluar las necesidades de mantenimiento y los costes de adaptación al cambio climático.
- **P2R2C2** (*Pavement performance and remediation requirements following Climate Change*), que estudia las actuaciones necesarias en el pavimento para paliar los efectos del cambio climático.
- **SWAMP** (*Storm Water prevention. Methods to predict damage from the water stream in and near road pavements in lowland areas*), relativo a la predicción de tormentas y métodos para calcular caudales.

### 3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN: RIMAROCC

- **Objetivo: Determinar los elementos de la infraestr. más vulnerables al C.C**

- **Fases:**


1.- Identificación de metodologías de gestión del riesgo del C.C en los países miembros de ERANET-ROAD.

En Carreteras destaca:

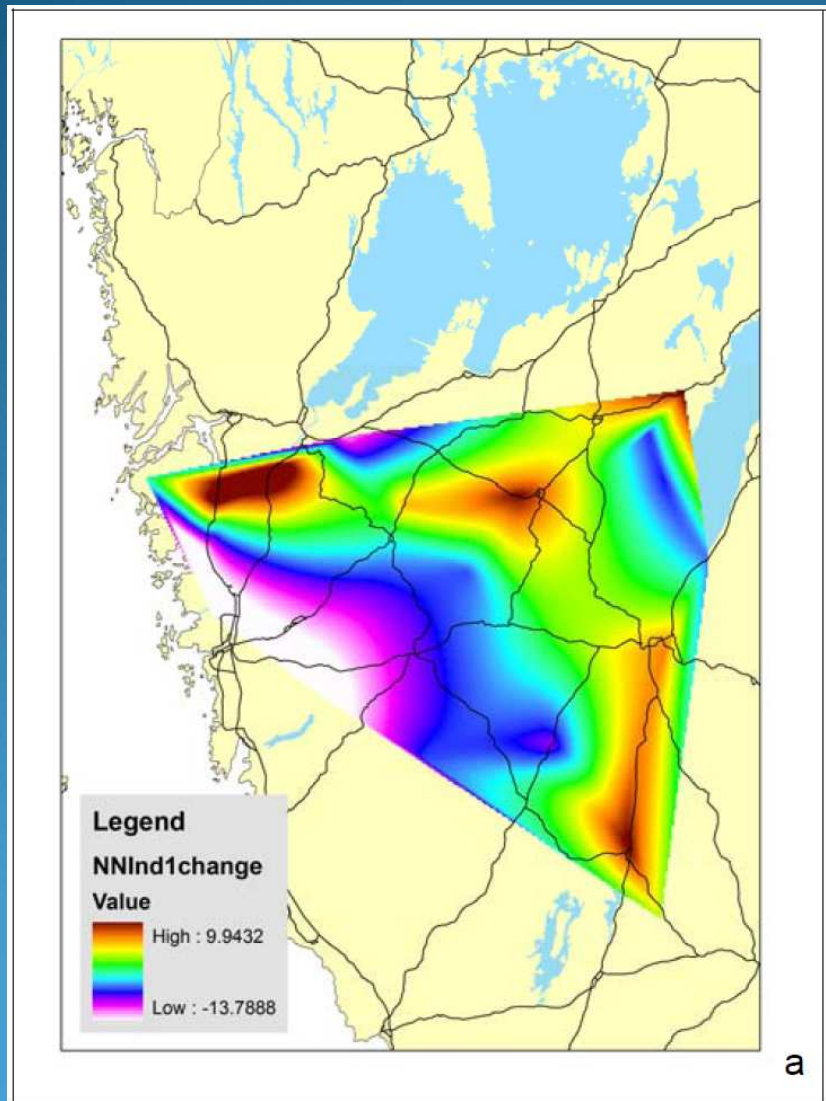
- 
- Herramienta GERICI (Francia)
  - Metodología de la HA (Reino Unido)
  - Método Deltares (Holanda)

2.- **Desarrollo del método RIMAROCC (herramienta de gestión del riesgo)** general para todos los países de ERANET-ROAD

3.- Aplicaciones prácticas en tres casos concretos:

- 
- Francia (nivel de red)
  - Holanda (nivel de tramo)
  - Suecia (nivel de sección)

### 3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN: IRWING



- **Objetivo:** desarrollar índices invernales (describen el clima en el entorno de la carretera) para **evaluar las consecuencias del C.C sobre las carreteras durante época invernal**, y relacionar costes y beneficios de futuras operaciones de mantenimiento invernal.

- Figura: Cambio medio anual en la frecuencia de mantenimiento de carreteras (variaciones índice de IRWINGI), entre el promedio anual de 1980-2010 y el promedio anual de 2025-2055. Suecia

-Cambios en índice de IRWINGI:

$N$  = eventos en que nieve  $> 1$  m durante  $+n$   
 $-3^{\circ}C < T < +1^{\circ}C$   
 $0 < V < 7$  m/s

### **3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN: P2R2C2**

- **Objetivo:** **Visión gral de las consecuencias del C.C sobre los firmes y recomendaciones.** No centrado en realidades locales (visión global)

- **Fases:**

1. Rev. Literatura (comportamiento funcional y estructural firme frente a variaciones clima: T, humedad).
2. Evaluación en laboratorio de materiales del comportamiento estructural e hidrológico de una serie representativa de pavimentos europeos que abarcan una gama de zonas climáticas desde los Alpes hacia el Norte.  
No abarca las condiciones climáticas propias de nuestro país, pero sus conclusiones pueden ser útiles.
3. Descripción de los principales efectos del C.C sobre los pavimentos (T, P, deshielos, NMM)
4. Recomendaciones: reformulación de nuevos materiales de construcción, nuevas prácticas de drenaje, nuevas prácticas de mantenimiento y rehabilitación, etc.

### **3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN: SWAMP**

• **Objetivo:** Identificar tramos de carretera europeas vulnerables a inundación ante las previsiones del cambio climático y formular orientaciones.

- 1.- Directrices para desarrollo de un modelo de identificación de tramos de carretera vulnerables a inundación (no creación del modelo).
- 2.- Directrices para reducir la vulnerabilidad a inundación (mantenimiento, mejora, ampliación y renovación de sistemas de drenaje).

• **Desarrollo de un modelo de id. tramos de carretera vulnerables a inundación:**

- Causas:

- Inundación de depresiones del terreno próximos a la traza, que exceden la capacidad de drenaje de la carretera
- Inundación de cauces y márgenes laterales de los cursos fluviales.
- Inundación costera por aumento del nivel del mar.

- Niveles de análisis:

- **Nivel 1:** Id. sobre el mapa digital del terreno las vaguadas de  $> 10 \text{ m}^3$  próximas a la obra.  $ET = 0, I = 0$  y no sistemas de drenaje  $\rightarrow E = 100\% P$
- **Nivel 2:** Estimar el volumen de  $P$  requerido para rellenar cada depresión. No sistemas de drenaje y distintos  $\%$  de  $I$ .  $\rightarrow$  **Mapas riesgo de inundación.**
- **Nivel 3:** Uso de modelo hidrodinámico que proporciona predicciones de inundación variables en el tiempo.

### 3. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN: SWAMP



Análisis de sensibilidad a la lluvia, con la hipótesis de 20% de impermeabilidad del terreno.

Fuente: *The Blue Spot Model- development of a screening method to assess flood risk on national roads and highway systems. Report 3. May 2010*

#### **4. IMPACTOS POTENCIALES Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN:**

- Las medidas de actuación más idóneas dependerán de las condiciones físicas, medioambientales, económicas, sociales y funcionales de cada lugar.
- Las **opciones genéricas de adaptación:**

- Diseño
- Solución de adaptación
- Planes de contingencia
- Operación
- Investigación
- Monitorización

- Planificación
- Diseño
- Construcción
- Mantenimiento

## LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

### IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Tipo infraestr.	Elemento	Factor/es Climático/s	Descripción del Impacto
Todas	Todos	Incremento de días de calor y de olas de calor. Viento. Precipitaciones extremas. Hielo y nieve. Bajas temperaturas	Restricciones en las operaciones de construcción y mantenimiento de infraestructuras debido a consideraciones de seguridad y salud.
Carreteras, pistas de aterrizaje y despegue de aeropuertos	Firme	Incremento del nº de días de calor y de olas de calor. Aumento de temperaturas. Sequías	Aparición de defectos superficiales en el firme (deformaciones, fisuras, baches,...)
Todas	Estructuras de hormigón	Incremento del número de días de calor y de olas de calor. Aumento de temperaturas mínimas en época invernal	Afección a las juntas de las estructuras de hormigón
Todos	Elementos superficiales	Aumento de las temperaturas mínimas en época invernal	Reducción de la presencia de hielo y nieve sobre la infraestructura
Todos	Suelos	Incremento de la temperatura media anual. Sequías. Disminución de las precipitaciones anuales	Mejora de las características resistentes de los suelos empleados como cimentaciones y explanadas, por aumento de las temperaturas y la evaporación
Todos		Incremento de la temperatura media anual. Sequías. Disminución de precipitaciones	Posible modificación de los comportamientos de movilidad de viajeros y mercancías
Todos	Elementos resistentes	Incremento de temperaturas	Aumento de las acciones térmicas sobre las estructuras (puentes, viaductos,...)



## LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE			
Tipo infraestr.	Elemento	Factor/es Climático/s	Descripción del Impacto
Todos	Explanadas y cimentaciones	Elevación del nivel freático	Afección a las condiciones geotécnicas del terreno (tensión del terreno, asientos diferenciales,...)
Todos	Todos	Elevación del nivel del mar. Aumento de las precipitaciones extremas	Inundaciones más frecuentes en paseos marítimos, pasos subterráneos, estructuras, carreteras y ferrocarriles.
Todos	Suelos	Aumento del viento. Lluvias intensas	Erosión de suelos, cimentaciones y estructuras. Deslizamiento de taludes y arrastre de materiales
Todos	Puentes	Elevación del nivel del mar. Aumento de caudales extraordinarios de avenida	En puentes sobre cursos de agua disminución del resguardo entre la lámina de agua y el tablero del puente
Todos	Todos los elementos	Sequías	Incendios forestales con repercusión en infraestructuras de transporte (peligro para la integridad de las infraestructuras )
Todos	Puentes, viaductos	Incremento de la acción del viento	Aumento de la carga de viento sobre puentes y viaductos
Ferrovionario	Carriles	Incremento de temperaturas. Olas de calor	Afección a las juntas de los carriles. Deformaciones
Todos	Todos	Tormentas. Viento	Caídas de ramas, árboles, pórticos, elementos de señalización u otros objetos

## LA ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE			
Tipo infraestr.	Elemento	Factor/es Climático/s	Descripción del Impacto
Todos	Sistemas eléctricos	Tormentas	Fallos en el suministro eléctrico con afección a la catenaria de la vía férrea, a la señalización, al control de tráfico, etc.
Carreteras, infraestructuras ferroviarias	Pasos de fauna	Condiciones climáticas generales	Inadecuada ubicación de pasos de fauna
Puerto	Diques de protección y abrigo	Elevación del nivel del mar. Aumento de la altura de ola	Rebase por coronación de diques de protección y abrigo.
Puerto		Modificación de la dirección predominante de oleaje	Inadecuada localización y orientación en planta del puerto
Puerto	Obras de abrigo y atraque	Elevación del nivel del mar	Aumento de la carga hidrostática sobre los diques. Disminución de la estabilidad de la obra, pérdida de sus caract. resistentes, y peso inadecuado de los bloques que conforman la obra
Puerto	Cimentación	Variaciones en el oleaje y en las mareas	Variaciones en la erosión y depósito de sedimentos a sotavento y barlovento del puerto como consecuencia de la modificación de la dinámica litoral
Aeropuertos	Pistas de aterrizaje y despegue	Temperaturas máximas extremas	Variación de la longitud de aterrizaje y despegue

## **4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN:**

### **Ejemplo: INUNDACIONES**

- **En la Planificación:**

- Considerar el **SNCZI** con las repercusiones del C.C (*R.d 903/2010 de evaluación y gestión riesgo inundación*).
- **Inventario de inundaciones históricas** que pudieran repetirse en el futuro.
- **Id. tramos críticos a inundación** ante las predicciones de C.C.

- **En el diseño:**

- Rev. los **parámetros de diseño** del drenaje y desagüe (T, lh, coef. escorrentía). Valorar:
  - El aumento de T o caudales de avenida,
  - Las predicciones futuras de intensidades de lluvia y caudales de avenida ordinarios y extraordinarios,
  - Considerar coeficientes de seguridad elevado.

- **En la construcción:**

- **Aumento de la capacidad hidráulica** del drenaje y desagüe existentes.
- **Resguardo mínimo respecto a los niveles de inundación** previstos en las predicciones de C.C. (elevación de rasante, modificación del trazado, medidas de defensa, etc).

#### **4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN (Cont.):**

- **En la construcción:**

- En carreteras: empleo de **mezclas bituminosas drenantes, sellado juntas.**
- **Refuerzo cimentación de puentes** (reducción riesgo erosión)
- **Rebaje del nivel freático:** drenes profundos, bombeos,...

- **En la operación y mantenimiento:**

- **Inspección, mantenimiento** y limpieza periódica **de conducciones y desagües** y siempre tras eventos de inundación
- **Planes de contingencia.**
- **Suministro de información al usuario** (desvíos, restricciones a la circulación,...)
- **Id. de rutas de desvío de tráfico y evacuación** ante inundaciones.

- **Investigación:**

- **Modelos más fiables** de respuesta a la **escorrentía**, incorporar los cambios en las condiciones de humedad del suelo.
- Desarrollo del **SNCZI** con las previsiones del C.C
- Investigación del **riesgo de aquaplaning** ante previsiones pluviométricas
- Conocimiento de las prop. de suelos ante cambios bruscos de humedad.

- **Formación:**

- Prácticas de conducción ante situaciones meteorológicas adversas.

## 5. NORMATIVA Y PARÁMETROS DE DISEÑO A REVISAR A LA LUZ DEL C.C:

### Ejemplo: Carreteras, Estructuras:

Norma	Parámetro diseño	Apartado	Observaciones/Comentarios
<p><b>Instrucción de las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP.</b> Ministerio de Fomento, 2003</p>	<p><b>Acciones climáticas: viento, nieve, y acciones térmicas</b></p>	<p><b>-Apartado 3.2.3.2. Acciones climáticas</b></p> <p><b>-Apartado 3.2.3.2.1 Viento</b></p> <p><b>-Apartado 3.2.3.2.2 Nieve</b></p> <p><b>-Apartado 3.2.3.2.3 Acciones Térmicas.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Figura 7.</b> Mapa determinación de la variación uniforme anual de <b>temperatura</b> del tablero</li> <li>- <b>Figura 9.</b> Mapa de isolíneas para la <math>\Delta T_{SI}</math> en tableros de losas de hormigón</li> <li>- <b>Figura 11.</b> Mapa de isolíneas para la <math>\Delta T_{SI}</math> en tableros de cajones de hormigón</li> <li>- <b>Figura 13.</b> Mapa de isolíneas para <math>\Delta T_{SI}</math> en tableros de vigas de hormigón</li> <li>- <b>Figura 15.</b> Mapa de isolíneas para <math>\Delta T_{SI}</math> en tableros de cajones metálicos</li> <li>- <b>Figura 17.</b> Mapa de isolíneas para <math>\Delta T_{SI}</math> en tableros de vigas metálicas</li>   <li>- <b>Figura 3.</b> Mapa de isotacas para la velocidad de referencia del <b>viento</b>.</li> <li>- <b>Factor de riesgo.</b> Revisión del período de retorno a considerar en la evaluación del riesgo, valorando duración del evento, su probabilidad de ocurrencia, posibilidad de prevención y de tomar medidas de protección, y tiempo necesario para adoptar estas medidas</li> <li>- <b>Factor de altura.</b> Altura respecto al suelo del elemento sometido al empuje.</li> <li>- <b>Factor de ráfaga.</b> Puntas de presión</li>   <li>- <b>Figura 6.</b> Mapa para la determinación de la <b>sobrecarga de nieve</b></li> <li>- <b>Tabla 5</b> - Valor característico de sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal</li>   <li>- <b>Rev. sig. párrafo:</b> “El valor de esta sobrecarga estará basado en datos experimentales tomados en el lugar de emplazamiento de la estructura durante como mínimo un período de veinticinco (25) años, determinándose a partir de ellos el valor característico de esta acción, definido como aquél cuya probabilidad anual de ser sobrepasado no sea superior al dos por ciento (2%)”.</li> </ul>

## 5. NORMATIVA Y PARÁMETROS DE DISEÑO A REVISAR A LA LUZ DEL C.C:

### Ejemplo: Carreteras, Drenaje:

Normativa	Parámetro de diseño	Capítulo/Apartado	Observaciones/Comentarios
<b>Norma 5.2- IC-Drenaje superficial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Períodos de retorno</li> <li>-Intensidad máxima diaria (mm/h)</li> <li>-Umbral de escorrentía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Apartado 1.3</b> Períodos de retorno</li> <li>-<b>Apartado 2.3</b> Intensidad media de precipitación.</li> <li>-<b>Apartado 2.5</b> Escorrentía.</li> <li>-<b>Apartado 6.2</b> Conservación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Considerar las proyecciones de precipitación previstas para España a lo largo del siglo XXI.</li> <li>-Revisión de la <b>Tabla 1.2:</b> Períodos de retorno en función de la IMD</li> <li>-Revisión de la <b>Figura 2.2:</b> Relación <math>I_p/I_d</math></li> <li>-Revisión de la <b>Figura 2.5:</b> Mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía</li> <li>-Incluir la provisión de sistemas de drenaje adicional dentro de las actuaciones de conservación de carreteras si así lo requirieran las previsiones pluviométricas.</li> </ul>