

# El Desafío del Cambio Climático en la Gestión y Planificación de Infraestructuras. La Herramienta “ST”

 | *Technical Paper*

## El Desafío del Cambio Climático en la Gestión y Planificación de Infraestructuras. La Herramienta “ST”



*Technical Paper*

<b>1. Antecedentes</b>	3
<b>2. Objetivos del Estudio</b>	4
<b>3. Metodología General del Estudio</b>	5
<b>4. Evaluación del Riesgo</b>	6
<b>5. Medidas de Adaptación en las Infraestructuras</b>	8
<b>6. Evaluación del Riesgo sobre Infraestructuras Resilientes</b>	9
<b>7. Aplicación “Climate Risk Management Screening Tool” (ST)</b>	10
<b>8. Conclusiones</b>	15

# Índice

## 1. Antecedentes

Autores:



**Antonio  
Herrera**

Director Costes, Operación y  
Mantenimiento (CO&M)  
de WSP Spain



**Cristina  
Izagirre**

Investigadora del Instituto  
de Hidráulica Ambiental  
de Cantabria “IHCantabria”

**Los agentes ambientales extremos ligados al cambio climático ocasionan daños sobre las infraestructuras que incrementan sus costes y reducen sus ingresos, constituyendo un desafío para los operadores de infraestructuras de cara a la planificación y gestión sostenible de sus activos.**

**El Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria y WSP Spain han colaborado para desarrollar una aplicación que evalúa el impacto técnico y económico de los agentes climáticos sobre carreteras y aeropuertos.**

Las consecuencias que los efectos del cambio climático pueden tener sobre las infraestructuras y, dado que éstas son un elemento relevante de la ordenación territorial, sobre el urbanismo y la vertebración del territorio, han alertado a sus gestores, que demandan cada vez con mayor frecuencia herramientas que les permitan incluir las variables climáticas y sus proyecciones a futuro en sus sistemas de planificación y gestión de los activos.

Fenómenos asociados al cambio climático, como por ejemplo algunos episodios de intensa precipitación o vientos extremos, ya han causado daños significativos en infraestructuras localizadas en diferentes geografías del planeta. Estos daños dan lugar a mayores costes de mantenimiento y a una reducción de la operación, afectando a la rentabilidad económica de la infraestructura y a la calidad del servicio que recibe el usuario, tanto en infraestructuras públicas como concesionadas.

Dentro de este marco global, en el que la adaptación al cambio climático se está convirtiendo en un desafío, el **Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria** en colaboración con **WSP Spain** ha desarrollado para el **International Finance Corporation (IFC)** una aplicación que permita predecir y evaluar en diferentes tipos de carreteras y aeropuertos los efectos técnicos y económicos ocasionados por los agentes climáticos y meteorológicos relacionados con el cambio climático, ofreciendo una herramienta de apoyo para la gestión y la toma de decisiones.

En el presente texto se resumen los principios en que se ha fundamentado este trabajo, adelantando algunas conclusiones interesantes de cara al futuro de las infraestructuras y el desarrollo territorial, y el carácter resiliente al que deben encaminarse para su sostenibilidad futura.

## 2. Objetivos del Estudio



El objetivo principal del estudio llevado a cabo para IFC ha sido desarrollar una herramienta (denominada “Climate Risk Management Screening Tool”, de manera simplificada “ST”) que permita a los usuarios de IFC determinar, de una manera relativamente sencilla, el nivel de riesgo de una carretera/aeropuerto, en función de la información específica del proyecto y del clima. Para ello, el riesgo climático se basa en indicadores financieros que evalúan las consecuencias para diferentes escenarios de cambio climático y años de horizonte.

De manera complementaria, la herramienta sugiere posibles medidas correctoras del daño o de adaptación al cambio climático, que pueden aplicarse sobre la infraestructura con el objetivo de hacerla más resiliente frente a los agentes ambientales, ofreciendo la oportunidad de comparar los riesgos y costes esperables sobre la infraestructura en su estado inicial y tras la aplicación de este tipo de medidas, así como aconsejar acerca del año en que la aplicación de estas medidas se considera recomendable.

Según los casos, las medidas recomendables pueden tener un carácter local (por ejemplo, protección de determinadas zonas de las obras de tierras o estructuras o refuerzo de algunos elementos de equipamiento) o aconsejar, en los casos más desfavorables, una revisión de la planificación general de la red en la que se ubica la infraestructura (evitar zonas inundables, por ejemplo).

Para lograr este objetivo, la herramienta desarrollada fue implementada en una aplicación web con cobertura global y de aplicación a inversiones nuevas o existentes, que proporciona el nivel de riesgo para dos escenarios de cambio climático (RCP4.5 y RCP8.5) y tres horizontes temporales (2025, 2050 y 2100).

### 3. Metodología General del Estudio

El estudio realizado se ha fundamentado en el marco general de riesgo propuesto por el **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, que define el riesgo de los impactos asociados al cambio climático como el resultado de la interacción de los fenómenos climáticos con la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas, en este caso las infraestructuras. De acuerdo a este modelo, los cambios que se producen en las condiciones climáticas y en los sistemas socio económicos (entre otros las medidas de adaptación) son “drivers” de los tres elementos que intervienen en el proceso.

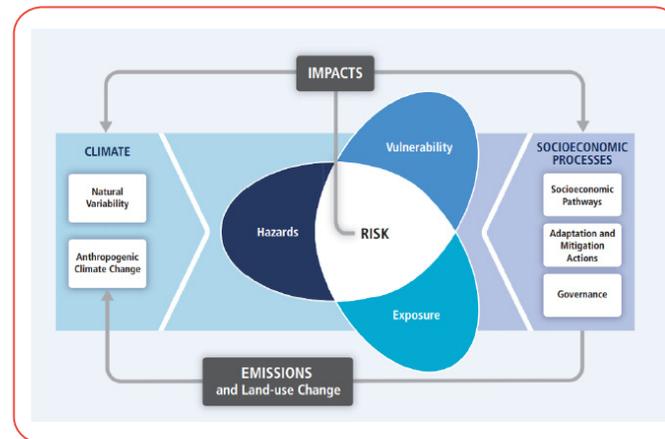


Figura 1. Marco General de Riesgo (IPCC 2014)

A partir de este principio, la evaluación del riesgo asociado al cambio climático de la inversión en una carretera o aeropuerto se realiza considerando sus parámetros de exposición y vulnerabilidad (características que son definidas por el usuario o se seleccionan por defecto en base a una información mínima necesaria), la información climática (“drivers” climáticos), los modelos de impacto y los indicadores financieros. El análisis del riesgo se realiza para la situación actual (con referencia al periodo histórico) y para distintos escenarios de cambio climático, comparando los resultados entre ambas y proporcionando, finalmente, un perfil de riesgo (bajo, medio o alto). En el caso de resultados de riesgo medio o alto, se ofrecen medidas de adaptación para cada caso, permitiendo repetir el análisis sobre la nueva infraestructura “resiliente”.

Utilizando las coordenadas geográficas que localizan el aeropuerto o tramo de carretera, la herramienta descarga los datos climáticos para diferentes escenarios y horizontes. Estos datos han sido generados por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y por el National Center for Atmospheric Research (NCAR), y servirán para alimentar los modelos de impacto que se han desarrollado para el estudio, que sirven de base para la evaluación del riesgo ya que relacionan el fenómeno natural con los efectos negativos esperados en la infraestructura.

Finalmente, se hace notar que la aproximación espacial al análisis no es idéntica en el caso de una carretera o un aeropuerto, como se explica más adelante. Debido al carácter lineal de la primera, ésta debe ser dividida en diferentes tramos homogéneos en lo que se refiere a su caracterización y análisis, mientras que el aeropuerto constituye un único nodo.

## 4. Evaluación del Riesgo

- ▷ 4.1. Exposición y Vulnerabilidad de las Infraestructuras
- ▷ 4.2. Agentes Climáticos

4.3. Indicadores de Riesgo Financiero

### 4.1. Exposición y Vulnerabilidad de las Infraestructuras

La determinación de los parámetros de exposición y vulnerabilidad de una carretera o aeropuerto, que en la aplicación desarrollada (“ST”) se realiza en base a datos introducidos por el usuario o aplicando ciertos valores por defecto, se enfoca de manera diferente para ambos tipos de infraestructura a causa de su particular naturaleza espacial.

Las carreteras tienen un carácter lineal, lo que hace necesaria su división y estudio en tramos o segmentos de similares características y longitud limitada, mientras que los aeropuertos tienen carácter nodal, permitiendo su análisis como un único elemento.

Partiendo de la premisa anterior, la exposición se evalúa recopilando información general de la infraestructura (área geográfica, coordenadas, tipo de inversión (greenfield/brownfield), etc.), datos específicos de sus activos (longitud y sección tipo del tramo de carretera, número y longitud de pistas del aeropuerto, tráfico, etc.), información financiera (inversión inicial, costes de mantenimiento anuales e ingresos anuales previstos, datos que en caso de no conocerse por el usuario se estiman en base a valores promedio para diferentes países), así como información sobre eventos climáticos que se han presentado en años previos.

Por su parte, la vulnerabilidad es evaluada en base a los daños y/o cese o reducción de la operación que ocasionan los parámetros climáticos que actúan sobre la infraestructura previamente caracterizada, análisis que se apoya en los modelos de impacto que se describirán más adelante, que vinculan todas estas variables y permiten predecir los resultados.

### 4.2. Agentes Climáticos

Los cambios bruscos en las variables climáticas ocasionan daños sobre las infraestructuras e interrupciones en la operación de las mismas, lo que conduce a un coste económico. El previsible incremento en la severidad de estos cambios en los agentes climáticos, como consecuencia del cambio climático, acentúa estas consecuencias y recomienda replantearse la planificación, gestión y, en definitiva, la propia concepción de las infraestructuras para hacerlas más resistentes.

El análisis realizado ha identificado, previamente, los agentes climáticos relacionados con el cambio climático que tienen mayor incidencia sobre las infraestructuras, siendo los utilizados para el estudio. En las siguientes tablas, extraídas del estudio realizado para el IFC, se resumen estos agentes, sus efectos y sus impactos:

Climate Driver	Effect	Impact
Changes in snow intensity	Snow accumulation	Stop of operations due to snow accumulation
		Increased maintenance due to snow or ice on the road
Changes in TC frequency	Debris on the road and safety conditions	Stop of operation due to TCs
	Noise barriers, panels, gantry and signal damage	Reactive CAPEX due to damages associated to TCs
Changes in precipitation	Cumulated sedimentation and obstruction of the drainage system, flooding	Stop of operations due to heavy rain
		Increased maintenance of the drainage system due to increase in heavy precipitation
		Upgrading of the drainage system due to increase in heavy rain
	Surface pavement deterioration	Increased pavement maintenance due to increase in precipitation
	Instability of slopes	Increased maintenance of slopes due to increase in precipitation
Air surface temperature increase	Surface pavement deterioration	Increased pavement maintenance due to temperature increase
Sea level rise	Submergence of the embankment	Reactive CAPEX due to sea level rise
Changes in extreme sea level events	Coastal flooding	Reactive CAPEX due to damage associated to coastal flooding
Changes in wind intensity	Debris on the road and safety conditions	Stop of operations due to strong winds
	Low visibility, sand in the road, safety conditions	Stop of operation due to sandstorms
		Increased maintenance due to sandstorms
	Noise barriers, panels, gantry and signal damage	Reactive CAPEX due to damages associated to strong winds

Figura 2. Principales agentes, efectos e impactos en carreteras

## 4. Evaluación del Riesgo

4.1. Exposición y Vulnerabilidad de las Infraestructuras

4.2. Agentes Climáticos

▷ **4.3. Indicadores de Riesgo Financiero**

Climate Driver	Effect	Impact
Changes in snow intensity	Snow accumulation	Stop of operations due to snow accumulation
		Increased maintenance due to snow or ice on the road
Changes in TC frequency	Debris on the runway due to high winds, flooding due to extreme precipitation	Stop of operation due to TCs
	Terminal surface and vertical elements damage	Reactive CAPEX due to damages associated to TCs
Changes in precipitation	Cumulated sedimentation and obstruction of the drainage system, flooding	Stop of operations due to heavy rain
		Increased maintenance of the drainage system due to increase in heavy precipitation
		Upgrading of the drainage system due to increase in heavy rain
Air surface temperature increase	Surface pavement deterioration	Increased maintenance pavement due to temperature increase
	Increase in cooling demand	Increase in energy consumption due to temperature increase
	Decrease of the air density and reduction of airplane performance	Payload limitation due to increased temperature
Sea level rise	Submergence of the embankment	Reactive CAPEX due to sea level rise
Changes in extreme sea level events	Coastal flooding	Reactive CAPEX due to damage associated to coastal flooding

Figura 3. Principales agentes, efectos e impactos en aeropuertos

Para la obtención de la información climática, aspecto clave para el estudio, se utilizan datos históricos (del periodo 1986 a 2015) y previsiones a futuro generados por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y el National Center for Atmospheric Research (NCAR). Además, el estudio evalúa tres horizontes (corto, medio y largo plazo: 2025, 2050 y 2100) y dos posibles escenarios de cambio climático (RCP4.5 y RCP8.5).

### 4.3. Indicadores de Riesgo Financiero

Para cuantificar los costes asociados a las consecuencias de los agentes climáticos sobre las infraestructuras se utilizan tres tipos de indicadores financieros:

- Impactos directos sobre los ingresos de operación: el impacto reduce la operación y, en consecuencia, los ingresos que genera la infraestructura.
- Impactos indirectos en Capex: valorando los incrementos en Capex necesarios para hacer frente a los daños físicos que causan los impactos.
- Impactos indirectos en Opex: valorando los incrementos esperables en los costes de operación de la infraestructura para afrontar los daños ocasionados, en este caso considerados no de gran magnitud.

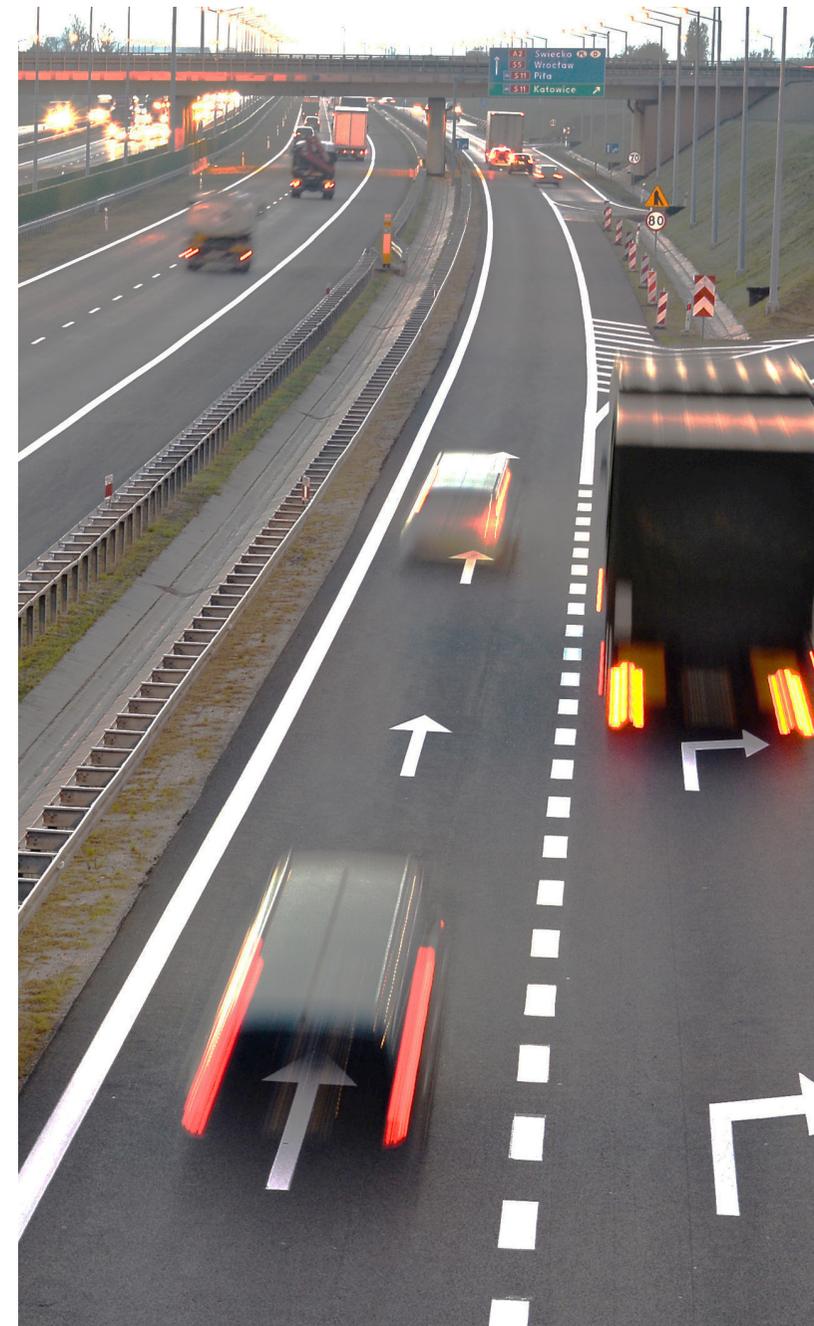
## 5. Medidas de Adaptación en las Infraestructuras

La evaluación ofrece, además del análisis del riesgo climático y su cuantificación, una recomendación sobre posibles medidas de adaptación que pueden aplicarse, específicas para cada sector y cada tipo de impacto, en función del nivel de riesgo que presenta el proyecto, y que tienen como objetivo mejorar la resiliencia de la infraestructura frente al cambio climático.

Las diferentes medidas propuestas se definen mediante la siguiente información:

- Descripción de la medida.
- Eficacia estimada. Capacidad para reducir los impactos, estableciendo tres valores en función de la capacidad de reducción, 1 (reducción del 20%), 2 (reducción del 50%) y 3 (reducción del 80%).
- CAPEX de la medida, expresado en % sobre el gasto total en CAPEX de toda la infraestructura.
- OPEX asociado a la medida, expresado en % sobre el gasto OPEX anual de la infraestructura.
- Recomendación sobre el año óptimo de aplicación de la medida, en el que el coste total en la infraestructura es mínimo. Aunque se recomienda un año óptimo de aplicación, la medida puede implementarse cuando lo decida el usuario.

Los tipos de medidas de adaptación aplicables son variados en función de cada caso analizado. Algunas medidas se limitan a incrementar los medios de conservación previstos (vialidad invernal o reparaciones puntuales en la infraestructura, por ejemplo), mientras que otras implican actuaciones de mayor relevancia (aumento de la capacidad del sistema de drenaje, construcción de barreras de protección frente al agua o la arena, refuerzo de elementos de estructuras y taludes), llegando, en algunos casos, a hacer necesario revisar la planificación del sistema de comunicaciones de una zona, replanteando la ordenación territorial de cara al futuro (casos de elevación del nivel del mar en zonas costeras, por ejemplo).



## **6. Evaluación del Riesgo sobre Infraestructuras Resilientes**

La etapa final en el proceso consiste en la reevaluación del riesgo de la infraestructura tras aplicar las medidas de adaptación recomendadas.

Una vez implantadas las medidas, los daños debidos a cada impacto se reducen a partir de su año de implementación. En este sentido, cada medida de adaptación tiene un factor específico de reducción del daño y afecta a un impacto concreto.

Cuando se aplican varias medidas, los factores de reducción se multiplican hasta el punto de poder reducir el daño inicial en más del 95%, momento en el cual se considera totalmente eliminado y la aplicación de medidas adicionales no proporcionan una mayor reducción del riesgo.

Todo este proceso conduce a la definición de una infraestructura más resiliente, y por tanto adaptada y capaz de ofrecer una mejor respuesta ante a los efectos del cambio climático.



## 7. Aplicación “Climate Risk Management Screening Tool” (ST)

### ▷ 7.1. Visión General

### ▷ 7.2. Caracterización Técnica y Económica de las Infraestructuras

#### 7.3. Modelos de Impacto

#### 7.4. Drivers Climáticos Utilizados

#### 7.5. Outputs del estudio

### 7.1. Visión General

Como se ha comentado, el objetivo final del estudio ha sido desarrollar una aplicación informática que apoye a los gestores de las infraestructuras en la gestión y toma de decisiones ante los desafíos del cambio climático. Esta aplicación se ha denominado “Climate Risk Management Screening Tool”, o “ST”.

La aplicación parte de unos datos de entrada facilitados por el usuario, tales como los datos generales de caracterización del activo, el importe de la inversión inicial o el coste de operación anual, y estima, basándose en los flujos de tráfico y las tarifas de peaje, los ingresos anuales previstos.

Posteriormente, se evalúa el impacto financiero del cambio climático, para lo cual se han definido diferentes modelos para la evaluación cuantitativa y/o cualitativa, dependiendo del impacto. Además, también identifica algunos impactos locales que, aunque no se incluyen en la evaluación de riesgos, se tienen en cuenta mediante una advertencia al usuario.

Los impactos considerados en el estudio se derivan de los siguientes factores climáticos: precipitación (lluvia y nieve), intensidad del viento, ciclones tropicales, temperatura, oleaje, marejadas y elevación del nivel del mar. La selección de estas variables climáticas se fundamenta en varios factores: existencia de información climática fiable sobre los mismos, existencia de una relación fundada entre ellos y el cambio climático, y causa de efectos significativos sobre los activos.

La estimación del impacto y la certeza de los resultados obtenidos dependen, en gran medida, de la calidad de los datos de partida, como refleja la siguiente figura.

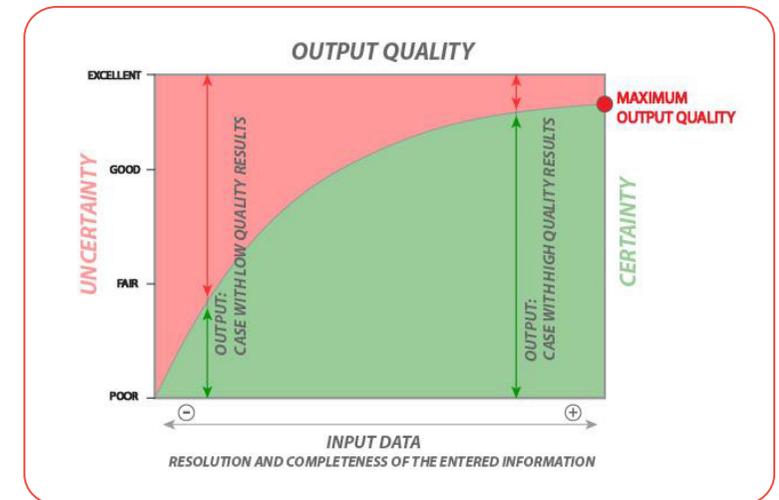


Figura 4. Relación entre la calidad de inputs y outputs

### 7.2. Caracterización Técnica y Económica de las Infraestructuras

Como se ha explicado, al inicio del proceso se definen los datos generales y específicos del proyecto, base para determinar su exposición y vulnerabilidad.

A continuación, se describen con mayor detalle los principales datos de entrada de la aplicación “ST”, tanto técnicos como económicos, que permiten caracterizar una infraestructura en particular para su posterior evaluación.

## 7. Aplicación “Climate Risk Management Screening Tool” (ST)

### 7.1. Visión General

### ▷ 7.2. Caracterización Técnica y Económica de las Infraestructuras

### 7.3. Modelos de Impacto

### 7.4. Drivers Climáticos Utilizados

### 7.5. Outputs del estudio

#### 7.2.1. Carreteras

La carretera, por su carácter lineal, se divide en tramos homogéneos definidos por el usuario, caracterizados, uno por uno, como si fueran proyectos individuales. Por lo tanto, los campos a rellenar se refieren a un tramo de carretera, no a su totalidad, siendo principalmente los siguientes:

- Título del proyecto/nombre de la carretera.
- Sector: Carreteras.
- País.
- Año de referencia: Año inicial del proyecto, utilizado para analizar la inversión en el tiempo.
- Coordenadas de latitud y longitud del punto medio del tramo.
- Tipo de carretera: calzada simple o doble.
- Tipo de inversión. Si el proyecto es para una carretera ya construida (inversión en Brownfield) o por construir (inversión en Greenfield).

Posteriormente, se deberán añadir otros datos técnicos que permitan definir las principales características de la infraestructura.

- Aclaración sobre si el tramo de carretera está ubicado en una zona costera.
- Elevación del pavimento sobre el nivel del mar.
- Tipo de terreno: Llano, ondulado o montañoso.
- Anchura total de la carretera (m).
- Longitud del tramo (km).
- Longitud del tramo expuesto al mar (km): Longitud del segmento del tramo susceptible al aumento del nivel medio del mar o al aumento del oleaje de las tormentas debido a la proximidad de la costa.
- Existencia de puentes o viaductos en el tramo de carretera.
- Aclaración sobre si el tramo cruza zonas desérticas.

Complementariamente, se deberá proporcionar información sobre eventos históricos acontecidos en la carretera, en el caso de que se disponga de ella.

Finalmente, desde el punto de vista financiero, se incluirá la siguiente información (expresada en dólares americanos):

- Inversión Inicial: Importe total requerido para el desarrollo del proyecto del tramo de carretera (CAPEX).
- Costo de Operación Anual: Coste anual asociado a la explotación del tramo de carretera (OPEX) durante el primer año.
- Ingresos esperados anuales: Ingresos que se espera que el tramo de carretera genere durante el primer año.
- Tasa de descuento (%): Tipo de interés utilizado para calcular el valor actual de los flujos de efectivo futuros.
- Ocupación media (%): Porcentaje de ocupación de la carretera respecto a su máximo potencial.
- Tasa de crecimiento (%): Porcentaje del incremento potencial de ingresos anuales.

#### 7.2.2. Aeropuertos

En el caso de la caracterización de un aeropuerto, infraestructura nodal, los datos generales a introducir serían:

- Título del proyecto/nombre del aeropuerto.
- Sector: Aeropuerto.
- País.
- Año de referencia: Año inicial del proyecto, utilizado para analizar la inversión en el tiempo.
- Coordenadas de latitud y longitud del aeropuerto
- Tipo de aeropuerto. La clasificación del aeropuerto se realiza por volumen anual de pasajeros y carga.
- Tipo de inversión. Si el proyecto se refiere a un aeropuerto ya construido (inversión Brownfield) o por construir (inversión Greenfield).

Esta información se complementa con el aporte de los datos técnicos.

## 7. Aplicación “Climate Risk Management Screening Tool” (ST)

7.1. Visión General

7.2. Caracterización Técnica y Económica de las Infraestructuras

### ▷ 7.3. Modelos de Impacto

7.4. Drivers Climáticos Utilizados

7.5. Outputs del estudio

- Aclarar si el aeropuerto está ubicado en zona costera.
- Aclarar si está situado cerca de desiertos arenosos.
- La elevación del edificio terminal (m) sobre el nivel del mar.
- Superficie del edificio terminal (m<sup>2</sup>):
- Altura del edificio terminal (m):
- Pistas de aterrizaje: La longitud, anchura y elevación por encima del nivel medio del mar se introducirán para cada pista.

Nuevamente, con el fin de aumentar la precisión de los resultados, se deberá proporcionar información sobre eventos históricos conocidos.

Desde el punto de vista financiero se incluirá la siguiente información:

- Inversión Inicial: Importe total requerido para el desarrollo del proyecto del aeropuerto (CAPEX).
- Costo de Operación Anual: Coste anual asociado a la explotación del aeropuerto (OPEX) durante el primer año.
- Ingresos esperados anuales: Ingresos que se espera que el aeropuerto genere durante el primer año.
- Tasa de descuento (%): Tipo de interés utilizado para calcular el valor actual de los flujos de efectivo futuros.
- Ocupación media (%): Porcentaje del aeropuerto utilizado respecto a su máximo potencial.
- Tasa de crecimiento (%): Porcentaje del incremento potencial de ingresos anuales.

### 7.3. Modelos de Impacto

Una parte importante del análisis de evaluación de los efectos del cambio climático son los modelos de impacto. Estos modelos, que relacionan los agentes ambientales con los daños físicos sobre las infraestructuras (o sobre sus condiciones de operación) y las consecuencias económicas esperables, se han desarrollado de manera específica para

este estudio, tomando como base los parámetros técnicos de las normativas vigentes, metodologías de cálculo y estudios experimentales de diferentes disciplinas. A continuación, se resumen los modelos utilizados.

- **Parada de operación o aumento del mantenimiento por acumulación de nieve (Carreteras/Aeropuertos).** El parámetro climático utilizado es el cambio en la nieve acumulada en 24 horas, cuantificada en centímetros, y su afección al tráfico.
- **Parada de operación debido a fuertes vientos (Carreteras).** Cambios en la velocidad del viento ocasionan restricciones de tráfico, que pueden suponer desde limitaciones a la velocidad hasta el corte total.
- **Parada de operación por ciclones tropicales (Carreteras/Aeropuertos).** El parámetro utilizado es la variación de frecuencia de estos eventos para sus diferentes grados de intensidad (1 a 5), afectando a las condiciones del tráfico.
- **Parada de operación por tormentas de arena (Carreteras/Aeropuertos).** El parámetro principal es la velocidad del viento (>50 km/h para desarrollar el fenómeno) y el número de días que se supera ese límite en zonas áridas, ocasionando cortes en la operación.
- **Incremento del mantenimiento, parada de operación y mejora del sistema de drenaje por incremento en las precipitaciones (Carreteras/Aeropuertos).** Estas tres situaciones se vinculan a los cambios en el nivel máximo de precipitación diaria para un periodo de retorno de 25 años.
- **Incremento en el mantenimiento de taludes por cambios en la precipitación (Carreteras).** Este modelo relaciona los factores geológicos (litología, geomorfología y tectónica) con los climáticos (hidrología, a través de las variaciones en la precipitación media anual, y la cobertura vegetal) para predecir los daños sobre los taludes de las carreteras.

## 7. Aplicación “Climate Risk Management Screening Tool” (ST)

7.1. Visión General

7.2. Caracterización Técnica y Económica de las Infraestructuras

7.3. Modelos de Impacto

### ▷ 7.4. Drivers Climáticos Utilizados

7.5. Outputs del estudio

- **Incremento en el mantenimiento del pavimento por cambios en la precipitación (Carreteras/Aeropuertos).** El driver principal es la precipitación media mensual, cuyas variaciones afectan a los parámetros del pavimento y pueden reducir el tiempo entre intervenciones de mantenimiento, aumentando los costes.
- **Incremento en el mantenimiento del pavimento por incrementos en la temperatura (Carreteras/Aeropuertos).** El modelo relaciona la reducción en la vida útil del pavimento con el incremento del promedio de la temperatura máxima diaria.
- **Incremento del consumo de energía por incremento de la temperatura (Aeropuertos).** El modelo evalúa el aumento del coste energético vinculado a los sistemas de climatización en relación al aumento de la temperatura media.
- **Incremento del mantenimiento por tormentas de arena (Carreteras/Aeropuertos).** Las tormentas de arena que se producen en zonas desérticas ante eventos de viento de más de 50 Km/h requieren movilizar equipos de limpieza con mayor frecuencia.
- **Limitaciones de carga por incremento de temperaturas (Aeropuertos).** Los aumentos de temperatura reducen las condiciones de despegue de las aeronaves, limitando su capacidad de carga y requiriendo pistas de mayor longitud.
- **Inversiones en CapEx debidas a daños causados por ciclones tropicales (Carreteras/Aeropuertos).** Los cambios en la frecuencia de los ciclones tropicales (en sus escalas de 1 a 5) se relacionan con las inversiones correctivas necesarias para reparar los daños causados.
- **Inversiones en CapEx debidas a daños causados por fuertes vientos (Carreteras/Aeropuertos).** Los cambios en la intensidad y frecuencia de las fuertes rachas de viento, medidas por su velocidad, se relacionan con las inversiones correctivas necesarias para reparar los daños asociados.
- **Inversiones en CapEx debidas a la elevación del nivel del mar (Carreteras/Aeropuertos).** Evalúa la inversión necesaria para reparar los daños causados por la elevación relativa del nivel del mar en zonas costeras, diferenciando casos brownfield (reparaciones y protecciones, principalmente de explanaciones y pavimentos) y greenfield, donde el alcance afecta a la propia concepción del proyecto.
- **Inversiones en CapEx debidas a eventos de inundación en zonas costeras (Carreteras/Aeropuertos).** Se evalúa a partir del nivel de agua total, que integra los efectos de la marea meteorológica, astronómica y de oleaje y nivel medio del mar, y los daños que causa sobre los activos.

### 7.4. Drivers Climáticos Utilizados

Se resumen a continuación los principales parámetros o drivers climáticos utilizados en los modelos, algunos ya citados en el punto anterior.

- T<sup>a</sup> del aire en superficie:
  - » Promedio de días de temperaturas bajas (base 18.5°F) por año.
  - » Media mensual de las medias mensuales de máximas temperaturas del aire en superficie.
  - » Media mensual de las medias mensuales de mínimas temperaturas del aire en superficie.
  - » Media mensual de la temperatura media del aire en superficie.
  - » Temperatura máxima diaria más alta en cualquier año del período climático especificado.
- Precipitaciones:
  - » Período de retorno de 25 años para una precipitación máxima de 1 día.
  - » Aumento relativo sustancial de la precipitación media anual: Áreas con incremento en la precipitación anual media por encima de 50 mm.

## 7. Aplicación “Climate Risk Management Screening Tool” (ST)

7.1. Visión General

7.2. Caracterización Técnica y Económica de las Infraestructuras

7.3. Modelos de Impacto

7.4. Drivers Climáticos Utilizados

### ▷ 7.5. Outputs del estudio

- » Frecuencia de la precipitación. Número de días al año con precipitaciones iguales o superiores a 1 mm
  - » Precipitación anual.
  - » Cambio relativo porcentual en la precipitación media anual en relación con el período climático de referencia.
  - » Promedio mensual de acumulación total de nieve invernal.
  - » SPEI media anual para la definición de sequía a corto plazo (promedio de 6 meses, calculado utilizando el período climático de referencia como calibración para la SPEI) para el período climático futuro especificado.
- Intensidad del viento:
    - » N° medio de días al año con una velocidad media diaria del viento superior a 29 km/h
    - » N° medio de días al año con una velocidad media diaria del viento superior a 36 km/h
    - » N° medio de días al año con una velocidad media diaria del viento superior a 54 km/h
    - » N° medio de días al año con una velocidad media diaria de viento superior a 72 Km/h
  - Ciclones tropicales: la frecuencia climatológica de experimentar un impacto de un ciclón tropical con vientos de 60 segundos de al menos 10 minutos de duración para ciclones de categoría 1 (119 Km/h), categoría 2 (154 Km/h), categoría 3 (178 Km/h), categoría 4 (209 Km/h), categoría 5 (252 Km/h), así como los periodos de retorno esperados de vientos de ciclones tropicales de las mismas categorías.
  - Nivel medio del mar: Elevación relativa del nivel del mar (metros).

### 7.5. Outputs del estudio

Como resultado del análisis descrito, la aplicación ofrece una serie de resultados que asesoran al gestor acerca del riesgo asociado al cambio climático de su infraestructura en el escenario base permitiendo, a partir de ahí, considerar la implementación de medidas de adaptación y hacer la reevaluación de la infraestructura en la nueva situación “resiliente”.

La aplicación proporciona la información climática utilizada y permite seleccionar entre diferentes medidas de adaptación, cuya aplicación y análisis serán especialmente relevantes cuando el nivel de riesgo obtenido en la situación inicial resulte alto, pudiendo establecerse comparaciones entre diferentes escenarios futuros.

## **8. Conclusiones**

La amenaza del cambio climático sobre las redes de infraestructuras es un fenómeno que algunos gestores públicos y privados ya están analizando por las implicaciones económicas y de calidad en el servicio que tiene, tanto a nivel de infraestructura individual como de red general de comunicaciones.

El análisis de la evolución de los datos climáticos disponibles durante las últimas décadas permite pronosticar variaciones a futuro en diferentes parámetros que pueden ocasionar daños materiales sobre las infraestructuras y afectar a las condiciones de servicio. Todo ello se traduce en mayores gastos de mantenimiento, necesidad de nuevas inversiones para adaptarse a las nuevas condiciones, y reducciones en los ingresos. Las carreteras y los aeropuertos son buenos ejemplos de estas circunstancias, de modo que su estrategia de gestión debe considerar este tipo de efectos.

Los estudios realizados se encaminan a proponer medidas que conduzcan a disponer, en el futuro, de infraestructuras más resilientes, mejor preparadas para resistir los efectos del cambio climático. Estas medidas, en función del tipo de infraestructura y del momento y nivel de inversión que se desee realizar, podrán tener un carácter más “reactivo”, de protección o reparación de los elementos afectados, o “preventivo”, si se planean dentro de la estrategia de concepción o diseño.

Las predicciones y descubrimientos realizados sin duda ofrecen un campo de estudio y desarrollo apasionante para los años venideros, en el que se involucren y colaboren los diferentes agentes relacionados con las infraestructuras, permitiendo avanzar hacia un modelo de desarrollo eficiente y sostenible de cara al futuro.

## Bibliografía

B. SHANE UNDERWOOD, ZACK GUIDO, PADMINO GUDIPUDI AND YARDEN FEINBERG (2017): Increased costs to US pavement infrastructure from future temperature rise, letters, doi 10.1038/NCLIMATE3390.

CAMUS P., I.J. LOSADA, C. IZGUIRRE, A. ESPEJO, M. MENÉNDEZ, J. PÉREZ, (2017): Statistical wave climate projections for coastal impact assessment. *Earth's future*, 5 (9), pp. 918-933.

CHURCH J.A., N.J. WHITE, R. COLEMAN, K. LAMBECK, J.X. MITROVICA (2004): Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1959 to 2000 period, *J. CLIM.*, 17, 2609-2625.

FRANCO L., DE GERLONI M., VAN DER MEER J.W. (1994): Wave overtopping in vertical and composite breakwaters. *Proc. 24th Int. conf. on Coastal Engineering*, pp. 1030-1045 (ASCE).

MENENDEZ M. AND P. WOODWORTH (2010): Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tide-gauge data set. *Journal of Geophysical research*, 115, C10011.

NAVEAU P., HUSER R., RIBEREAU P., HANNART A. (2016): Modelling jointly low, moderate and heavy rainfall intensities without a threshold selection. *Water resources research*, 52, pp 2753-2769.

R.K. PACHAURI, L.A. MEYER (Core writing team ) (eds.) IPCC (2014): Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland, pp. 151.

SLANGEN A.B.A., CARSON M., KATSMAN C.A., VAN DER WAL R.S.W., KOHL A., VERMEERSEN L.L.A., STAMMER D. (2014): Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic change*, doi: 10.1007/s10584-041-1080-9.

STOCKDON H.F., HOLMAN R.A., HOWD P.A., SALLENGER A.H. (2006): Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coast. Eng.* 53, 573-588.

STOCKER T.F., D. QUIN, G.K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX, P.M. MIDGLEY (eds.) IPCC (2013): *Climate change (2013). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York USA 1535 pp. doi: 10.1017/CBO9781107415324.

WSP Spain

## Contacta con nosotros:

---

### **Antonio Herrera**

Director Costes, Operación y Mantenimiento (CO&M)  
de WSP Spain

[antonio.herrera@wsp.com](mailto:antonio.herrera@wsp.com)

### **Cristina Izaguirre**

Investigadora del Instituto de Hidráulica Ambiental de  
Cantabria "IHCantabria"

[cristina.izaguirre@unican.es](mailto:cristina.izaguirre@unican.es)

---

# El Desafío del Cambio Climático en la Gestión y Planificación de Infraestructuras. La Herramienta "ST"

 | *Technical Paper*

**wsp**