

Integración de la adaptación al cambio climático en la estrategia empresarial

Guía metodológica para el análisis y priorización de medidas de adaptación al cambio climático

Caso piloto. Sector transporte.

2014



Con el apoyo de



Índice

1. Introducción	5
2. Metodología	6
3. Descripción del caso piloto	14
4. Definición de medidas de adaptación al cambio climático	20
5. Análisis de medidas para la adaptación al cambio climático	25
5.1. Análisis coste-beneficio de las medidas	25
5.2. Análisis multicriterio	26
6. Priorización de las medidas	28
7. Principales referencias	29
Anexo I: Cálculos del análisis coste-beneficio de las medidas	33

Acrónimos

ACB	Análisis Coste-Beneficio
ACE	Análisis Coste-Eficiencia
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
GIZ	Asociación Alemana de Cooperación Internacional
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
MCA	Análisis multicriterio
OECC	Oficina Española de Cambio Climático
UNDP	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
UNFCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
UTE	Unión Temporal de Empresas

1. Introducción

Este documento busca integrar la adaptación al cambio climático en la estrategia empresarial de las organizaciones españolas. La adaptación al cambio climático es un ámbito mucho menos desarrollado que la mitigación, más aún en los sectores privados.

Así como en el sector público se han realizado numerosos avances para analizar e incrementar la capacidad de adaptación a nivel nacional, en el sector privado este tipo de iniciativas son menos numerosas. Sin embargo, la vulnerabilidad al cambio climático no distingue entre sector público y sector privado y los impactos a afrontar pueden tener consecuencias importantes en ambos sectores.

En vista de la necesidad de impulsar las acciones relacionadas con la adaptación al cambio climático, se ha trabajado una metodología para el análisis de vulnerabilidad climática y otra para el análisis y priorización de medidas de adaptación al cambio climático. Una vez concluido el análisis de la vulnerabilidad de la organización, el siguiente paso es la identificación de las prácticas y medidas que puedan ayudar a reducir su vulnerabilidad, tanto presente, como futura, al cambio climático.

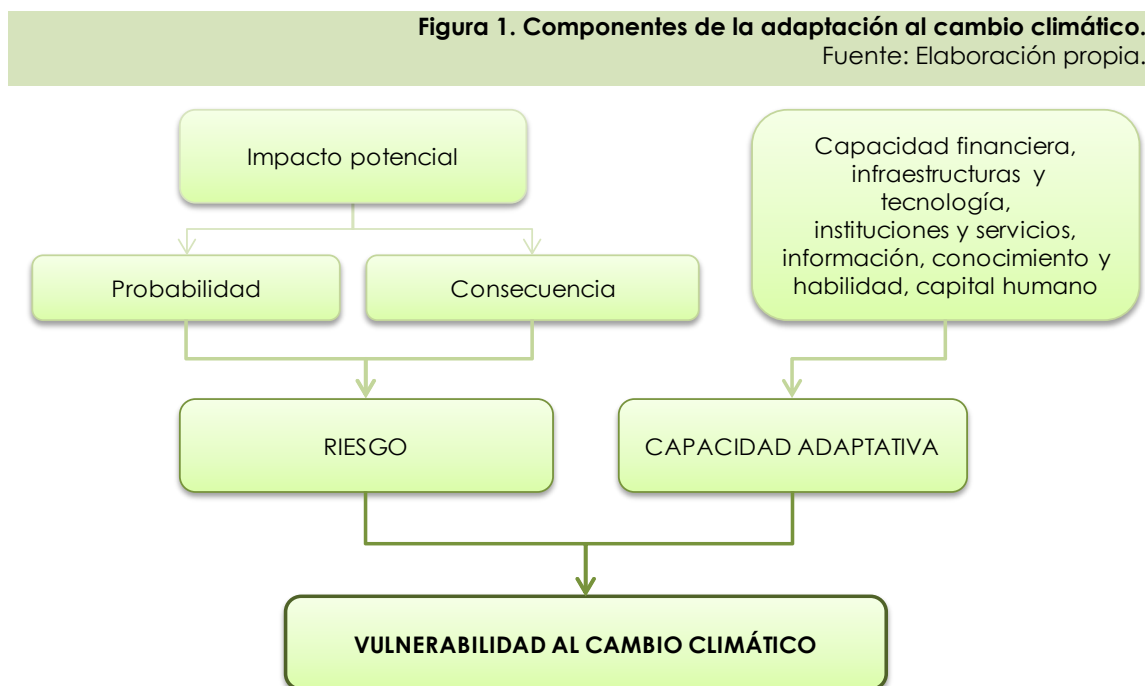
En el caso del transporte, en este documento se detallan las medidas identificadas y además se muestran los resultados del análisis de las mismas, que ha incluido la cuantificación de sus costes y beneficios y la realización de un análisis multicriterio que permite incluir criterios cualitativos a la hora de valorarlas y priorizarlas.

2. Metodología

Análisis de vulnerabilidad climática.

La metodología aplicada es la presentada en la Guía metodológica para la evaluación de los impactos y la vulnerabilidad en el sector privado. No obstante, para comprender el desarrollo metodológico realizado, es necesario entender los componentes de la adaptación al cambio climático, a partir de los cuales se desarrolla la metodología.

En el cuadro siguiente se observan los principales componentes de la adaptación y cómo actúan sobre la vulnerabilidad de los sistemas al cambio climático:



Por una parte, los impactos del cambio climático son los efectos del mismo y se definen como los potenciales daños u oportunidades producidos en los sistemas como resultado de los efectos del cambio climático (UNDP, 1994). Para cada impacto se ha de definir la magnitud y probabilidad, ya que estas componentes son las que definen el riesgo derivado de cada impacto.

Paralelamente a la definición del riesgo, se ha de establecer la capacidad adaptativa, que se considera como la habilidad que tiene un sistema que experimenta un impacto climático, de ajustarse a los cambios en el clima, de

amortiguar el daño potencial, aventajarse de las oportunidades que presentan los impactos positivos y lidiar con las consecuencias negativas derivadas, mediante la modificación de comportamientos y el uso de los recursos y tecnologías disponibles (IPCC, 2007).

Finalmente, a partir del riesgo y la capacidad adaptativa, se determina la vulnerabilidad al cambio climático. Así, se define la vulnerabilidad como el grado en que un sistema es incapaz de presentar una respuesta efectiva a los impactos derivados del cambio climático. Es decir, la propensión o susceptibilidad del sistema a ser afectado negativamente por los riesgos derivados (IPCC, 2007).

La metodología empleada se ha desarrollado a través de las experiencias piloto llevadas a cabo en cinco empresas seleccionadas por su iniciativa en este ámbito, cada una de ellas perteneciente a uno de los sectores estudiados. El objetivo es el de mejorar el entendimiento de los impactos del cambio climático en el sector privado para lograr una respuesta planificada y preventiva de las empresas.

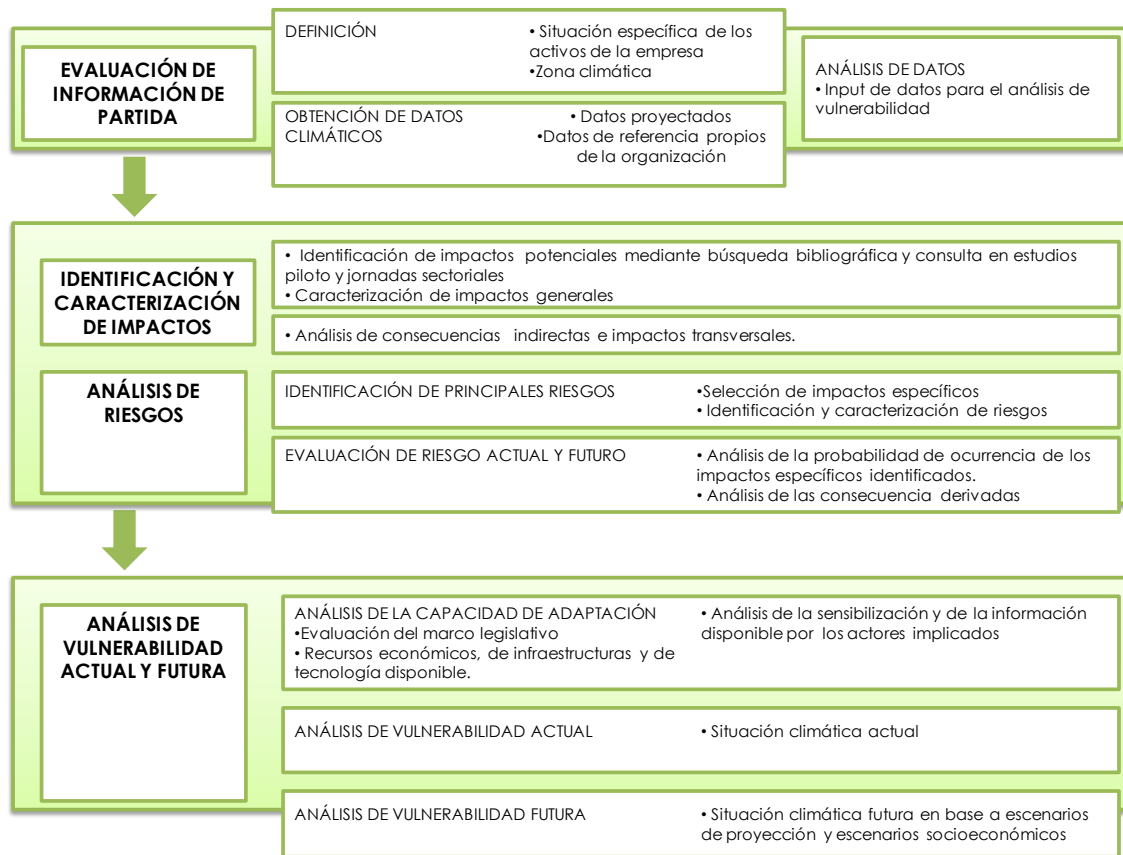
A fin de conocer cuál es la situación actual del tejido empresarial en España y su posibilidad de actuación para reducir el riesgo al que se enfrentan los sectores clave, se ha de definir, para cada uno de ellos, los principales impactos y consecuencias esperados debido al cambio climático. El análisis se debe llevar a cabo siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

- 1. Identificación de impactos potenciales principales en cada sector.** A través del análisis de las condiciones climáticas actuales e históricas, y de las proyecciones de escenarios climáticos futuros, lo que permite entender cómo el cambio climático puede alterar la actividad de cada sector, es decir, los impactos que presentan una incidencia relevante en el sector.
- 2. Identificación de los riesgos climáticos a los que se enfrentan las empresas.** Se analiza la probabilidad de ocurrencia de los diferentes impactos climáticos identificados derivados del cambio climático para cada región de la geografía española y se evalúan las consecuencias que puedan presentar en el sector.
- 3. Evaluación de la capacidad de adaptación.** Se evalúa la capacidad de adaptación al cambio climático de la organización, que está influenciada por la respuesta operacional ante un determinado impacto, la capacidad financiera para poner en marcha iniciativas o acciones adaptativas y el nivel de conocimiento en materia de impactos y cambio climático.

4. Análisis de vulnerabilidad actual y futura. Mediante el análisis de riesgo de la organización y de la capacidad de actuación, se define la vulnerabilidad de la misma al cambio climático.

En la figura siguiente se muestra la metodología del análisis de vulnerabilidad llevada a cabo en las empresas piloto incluidas en el proyecto.

Figura 2. Metodología de análisis de vulnerabilidad de las empresas frente al cambio climático.
Fuente: Elaboración propia.



Una vez definida la vulnerabilidad de cada una de las organizaciones, el siguiente paso es la determinación de las medidas de adaptación al cambio climático a aplicar en base a los resultados logrados. Con estas medidas se busca minimizar las consecuencias de dichos impactos que pueda sufrir la organización.

La toma de decisión empresarial en este ámbito es compleja, no sólo por la naturaleza de los impactos a considerar, sino también por la incertidumbre asociada y por los períodos de tiempo considerados. Desde un punto de vista estructural, de acuerdo

con la teoría de la decisión¹, podemos distinguir tres etapas que deben cubrirse: identificación, desarrollo y selección.

- **Identificación.** Deben reconocerse los problemas y oportunidades asociados, así como un diagnóstico de los mismos. En este sentido, la metodología estándar a aplicar sería el análisis de vulnerabilidad, que nos proporciona una representación completa de los mismos.
- **Desarrollo.** Deben definirse y clarificarse las opciones de actuación, mediante la búsqueda de opciones existentes o el diseño de nuevas alternativas de actuación.
- **Selección.** En esta etapa se analizan, evalúan y autorizan las opciones de acción planteadas. Este proceso es particularmente complejo en nuestro campo, empleándose el análisis coste-beneficio cuando se dispone de información robusta. En otros casos, el análisis multicriterio y la participación abierta pueden aportar información suficiente para la toma de decisión.

Análisis de medidas de adaptación al cambio climático.

Para facilitar la toma de decisión en materia de adaptación al cambio climático es importante el estudio de los costes económicos ligados a sus impactos. Esta información supone la base para el análisis de las medidas que permitan la adaptación.

En los últimos años, diversas organizaciones a nivel mundial han desarrollado estudios y metodologías encaminadas a estimar los costes del cambio climático, es decir, los costes de la no adaptación. Posteriormente, organizaciones muy diversas han trabajado en el desarrollo de metodologías que ahondan en analizar los costes de la adaptación al cambio climático como tal.

¹ Se ha seleccionado aquí el modelo no secuencial de Mintzberg, Raisinghani y Théorêt (Mintzberg et al., 1976).

Tabla 1. Clasificación de las principales metodologías disponibles para evaluar los impactos económicos a la adaptación al cambio climático.

Fuente: Elaboración propia a partir de diferentes fuentes.

Metodologías	Objetivo principal	Fuente
Economía de la adaptación al cambio climático	Modelo para calcular los costes económicos de la adaptación al cambio climático, con el objetivo de restaurar el bienestar del escenario sin cambio climático.	Banco Mundial, 2010.
Economía de la adaptación al clima	Metodología para evaluar el riesgo climático total que afronta una economía y calcular los costes económicos de la adaptación al cambio climático con el objetivo de minimizarlos.	Grupo de trabajo de ECA, 2009.
Otras metodologías	Guías para calcular los costes y beneficios de los impactos del cambio climático.	Metroeconomica, 2004; Van Beukering et al., 2007; entre otros
	Metodología para evaluar los riesgos derivados del cambio climático y evaluar las opciones de adaptación, a través de un proceso enfocado más en el diálogo entre expertos y partes interesadas.	Australian Greenhouse Office, 2006.

Sin embargo, su aplicación directa en el sector privado presenta complicaciones por diferentes motivos. Por un lado, estas metodologías tienen un enfoque temporal y espacial amplio, excediendo los límites que suelen aplicarse en el caso de la toma de decisiones en el sector privado. Por otra parte, el objetivo principal de estas metodologías es facilitar la toma de decisiones en el ámbito público, con lo que los estudios realizados hasta el momento tienen muy pocos ejemplos donde se haya incluido también la vertiente privada (excepto en algunos ámbitos, como puede ser la agricultura, por su marcado carácter social a nivel mundial).

Por ello, para su aplicación en el sector privado, se muestran a continuación las metodologías clásicas de análisis de diferentes opciones ajustadas a las particularidades de las medidas de adaptación al cambio climático.

Tabla 2. Métodos para analizar las opciones de adaptación en el sector privado.

Fuente: Elaboración propia a partir de GIZ y UNFCC.

Método	Tipo	Descripción	Comentarios
Análisis coste-eficiencia (ACE)	Cuantitativo, mixto	Se comparan los costes de poner en marcha una medida con los resultados que se obtienen.	<ul style="list-style-type: none"> Únicamente necesitan ser cuantificados monetariamente los costes de las medidas, los beneficios se miden en unidades físicas. Las medidas deben tener la misma unidad física de beneficio, por lo que no se puede comparar una gama amplia de medidas para

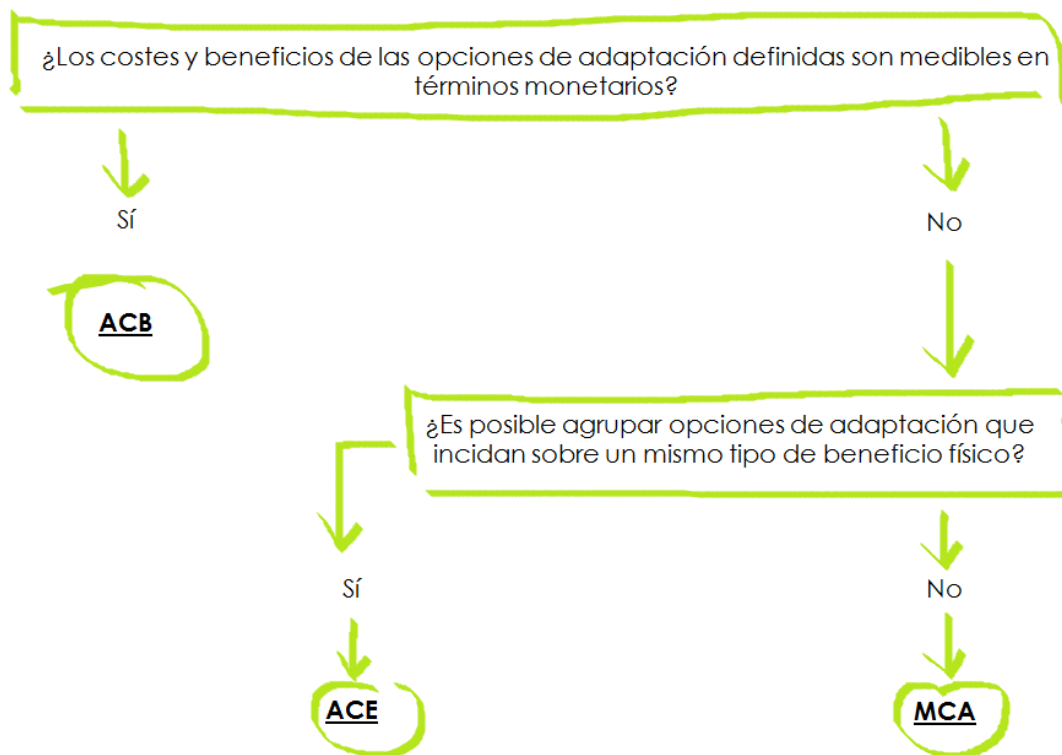
Método	Tipo	Descripción	Comentarios
Análisis coste-beneficio (ACB)	Cuantitativo, monetario	Determina si los beneficios totales de una medida superan los costes de la misma y qué opción (dentro del grupo analizado) produce el mayor beneficio neto.	<p>diferentes sectores que tengan beneficios diferentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se basa en los flujos de beneficios y costes, por lo que prioriza la eficiencia de las medidas, dejando fuera criterios como la urgencia o importancia. • El cálculo de los costes y beneficios de bienes no de mercado requiere de mucha información y recursos, pudiendo ser no viable en determinadas ocasiones. • Es importante realizar un análisis de sensibilidad para conocer el efecto de la tasa de descuento a aplicar.
Análisis multicriterio (MCA)	Cualitativo / semi-cuantitativo	Introduce distintas variables, comparándolas pero sin reducirlas a una única magnitud. Las opciones son evaluadas utilizando una gama amplia de criterios ponderados a través de una valoración cualitativa o semi-cuantitativa.	<ul style="list-style-type: none"> • No limita el análisis a variables monetarias o físicas, permitiendo incorporar otro tipo de criterios. • Se puede compaginar con métodos más economicistas para ampliar las variables evaluadas. • Se basa en la opinión de expertos, por lo que es interesante involucrar a diferentes expertos para nutrir el análisis.

Generalmente, las medidas de reducción de emisiones de GEI se analizan desde la óptica coste-eficiencia (analizando los costes de implantarlas frente a las reducciones que se obtienen), mientras que las medidas de adaptación se analizan a través de un coste-beneficio, comparando los costes de una medida con los beneficios que pueden obtenerse, por ejemplo, a través de una reducción de la vulnerabilidad al aumentar la capacidad de adaptación.

Hay que tener presente, como se comenta en la tabla anterior, que la principal dificultad que presenta el ACB aplicado a la acción para la adaptación al cambio climático, es la dificultad de monetizar muchos de los impactos del cambio climático, especialmente cuando se trabaja desde una óptica pública. Por ello, en muchos casos, será necesario recurrir a un análisis mixto de las medidas de adaptación, es decir, aplicando diferentes metodologías para obtener una única priorización de las mismas. En la siguiente figura se muestra un árbol de decisión para conocer el tipo de análisis que se puede aplicar, en función de la tipología de medidas definidas y la información de que se disponga en cada caso.

Figura 3. Árbol de decisión para la definición de la metodología a aplicar en el análisis de medidas de adaptación al cambio climático.

Fuente. Elaboración propia a partir de GIZ y UNFCC.



Aunque el análisis coste-eficiencia es también considerado para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático, en este caso no se ha incluido en la metodología a aplicar. La principal razón es la dificultad de identificar una única variable física que aplicar a un conjunto de medidas, puesto que los beneficios físicos de la adaptación al cambio climático son muchos y muy diversos, en función del sector y tipología de impactos y consecuencias en el que se realice el estudio.

Por ello, la metodología que se plantea en este caso para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático es una combinación del análisis coste-beneficio, junto con el análisis multicriterio de las medidas definidas.

A continuación se presenta la metodología planteada en este sentido.

1. **Análisis coste-beneficio de las medidas definidas**, estimando los costes y los beneficios de las mismas y analizando el ratio global resultante para cada una de beneficios frente a costes. Requiere la definición del horizonte temporal, la tasa de descuento y la línea de base, es decir, la situación en ausencia de adaptación al cambio climático. Es muy aconsejable incorporar costes y

beneficios desde un enfoque social. Sólo de esta forma se tendrá en cuenta plenamente la acción de la empresa en el contexto de adaptación al cambio climático en un determinado entorno, en un marco de responsabilidad social.

2. **Análisis multicriterio de las medidas definidas**, definiendo previamente un conjunto de criterios o variables con las que se evalúa cada medida, como importancia, urgencia, no-regret, efectos secundarios y efectos de mitigación; e identificando aquellas que resulten con una mayor puntuación final, de acuerdo con la ponderación que se considera para cada uno de los criterios. Las medidas reciben un valor de categoría, calificación, o puntuación en una escala predeterminada para cada variable definida.
3. **Interpretación y priorización** de las medidas en función de los resultados de ambos métodos, dándole el peso preciso a la variable puramente económica y teniendo presentes también los criterios más cualitativos analizados en el segundo paso. Una buena práctica en el caso de ausencia de una estrategia previa de adaptación al cambio climático, es comenzar priorizando acciones que tengan un carácter más estratégico, que sean proactivas y flexibles, así como las clasificadas como no-regret.

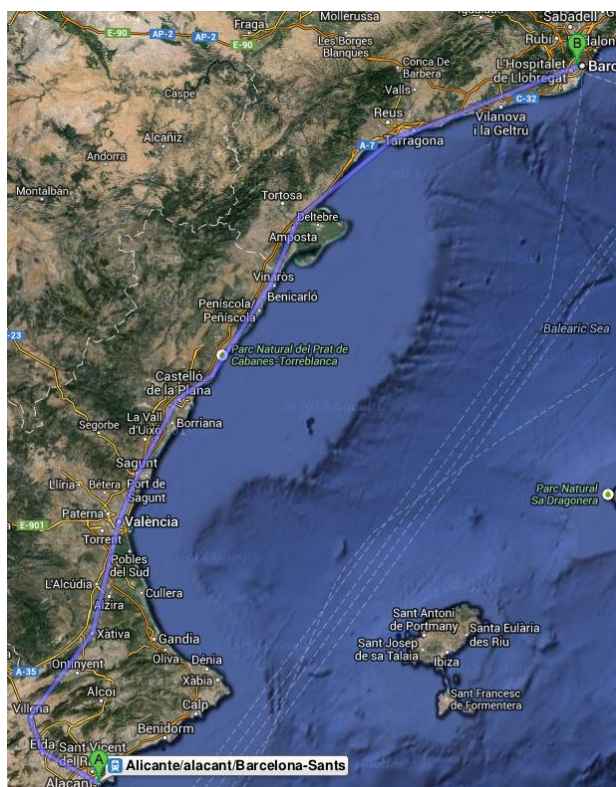
3. Descripción del caso piloto

La línea de transporte sobre la cual se lleva a cabo el análisis de vulnerabilidad cubre una distancia de 521 kilómetros, entre Alicante y Barcelona, que se cubren en un tiempo que oscila entre 4 horas y 45 minutos y 5 horas y media, en función del tren que preste el servicio.

El volumen de pasajeros en esta línea ascendió hasta 1.800.000 pasajeros en 2012 y, aunque en su mayoría es de doble vía, cuenta con tramos de vía única, entre Alicante y Bif, y entre Calafat y Tarragona. Debe tenerse en cuenta que esta línea se sitúa en el arco mediterráneo, uno de los principales ejes de transporte de personas y mercancías de España. El recorrido de la línea es el que se muestra a continuación.

Figura 4: Recorrido de la línea Alicante-Barcelona.

Fuente: Google Maps.



Las principales contingencias climáticas que se presentan de modo más o menos periódico en el trayecto del servicio son la "gota fría", en Levante, y fuertes vientos en la zona de la desembocadura del Ebro, entre Vinarós y Tarragona (en esta zona, los

vientos han llegado hasta los 110 km/h). Además, entre Villena y Xátiva se puede presentar alguna nevada esporádica en invierno.

Tras el análisis de las proyecciones se estima que los principales cambios que podrían esperarse para la Comunidad Valenciana, corresponden a un incremento de las temperaturas máximas y mínimas de 1°C-2°C para mediados del siglo XXI, y de entre 1 y 4°C para finales, variando en función del escenario de emisiones de GEI considerado, así como una reducción de hasta un 5% a mediados de siglo y en algo más del 15% a finales del mismo, con respecto a la cuantía de las precipitaciones. En cuanto a las olas de calor, éstas se prolongarían en un número de días que oscilaría entre 5 y 10 para mediados de siglo, y entre 5 y 40 hacia el año 2100. Las lluvias intensas tendrían una gran variabilidad interanual (de hasta $\pm 10\%$), sin una clara tendencia a aumentar o disminuir. El nivel del mar, por último, podría situarse 0,51 metros por encima del actual a finales del siglo XXI (AEMET, 2009).

En cuanto a Cataluña, a la vista de las proyecciones climáticas existentes, cabe esperarse un incremento de las temperaturas máximas y mínimas de 1°C-2°C para mediados del siglo XXI, y de entre 1 y 4°C para finales, variando en función del escenario de emisiones de GEI considerado. Las precipitaciones, por otra parte, podrían reducirse hasta en un 5% a mediados de siglo y en torno a un 10% a finales del mismo. En cuanto a las olas de calor, éstas se prolongarían en un número de días que oscilaría entre 5 y 10 para mediados de siglo, y entre 5 y 40 hacia el año 2100. Las lluvias intensas tendrían una variabilidad interanual de hasta $\pm 5\%$, sin una clara tendencia a aumentar o disminuir. Por último, las variaciones proyectadas en el nivel del mar serían las mismas que para la Comunidad Valenciana (AEMET, 2009; Agència Catalana de l'Aigua, 2009).

Tal y como se ha detallado con anterioridad, para cada uno de estos impactos climáticos se ha de determinar el riesgo a través de la determinación de su probabilidad y la consecuencia. Los riesgos resultantes para el transporte en la zona mediterránea española son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3: Riesgos de los impactos climáticos en la línea Alicante-Barcelona.
 (T=temperatura media, P=precipitación media anual, EE=eventos extremos, NM=nivel del mar, 0=actualidad, 1=2015-2039, 2=2040-2069, 3=2070-2099).
 Fuente: elaboración propia.

1. PROBABILIDAD	2. CONSECUENCIA						
	Despreciable	Mínima	Menor	Significativa	Importante	Grave	Muy grave
Improbable							
Muy poco probable							
Poco probable		T0					
Probable			EE0; T1	EE1			
Bastante probable				T2	EE2	EE3	
Muy Probable					T3		

Como se puede comprobar, los riesgos asociados a los eventos extremos comenzarían en un nivel bajo (nivel 2) en la actualidad y terminarían en un valor alto (nivel 4) en el último período del siglo XXI, siendo necesaria la evaluación de posibles acciones al respecto. Estos altos niveles de riesgo se deberían a su alta probabilidad de ocurrencia y a los efectos de los mismos sobre la prestación del servicio con normalidad.

Con respecto a los riesgos asociados al aumento de la temperatura, éstos se situarían en un nivel muy bajo en la actualidad (nivel 1) y terminarían en un nivel alto (nivel 4), siendo necesario también evaluar acciones al respecto. Los valores de riesgo en este caso se deberían fundamentalmente a la posibilidad de formación de garrotes en los raíles con el aumento de las temperaturas máximas.

Una vez determinados los riesgos, para analizar la vulnerabilidad de la línea Alicante-Barcelona es necesario valorar su capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático que se puedan presentar. La siguiente tabla muestra la valoración de la capacidad de adaptación del servicio de transporte ferroviario entre ambas ciudades.

Tabla 4: Valoración de la capacidad de adaptación en la línea Alicante-Barcelona.

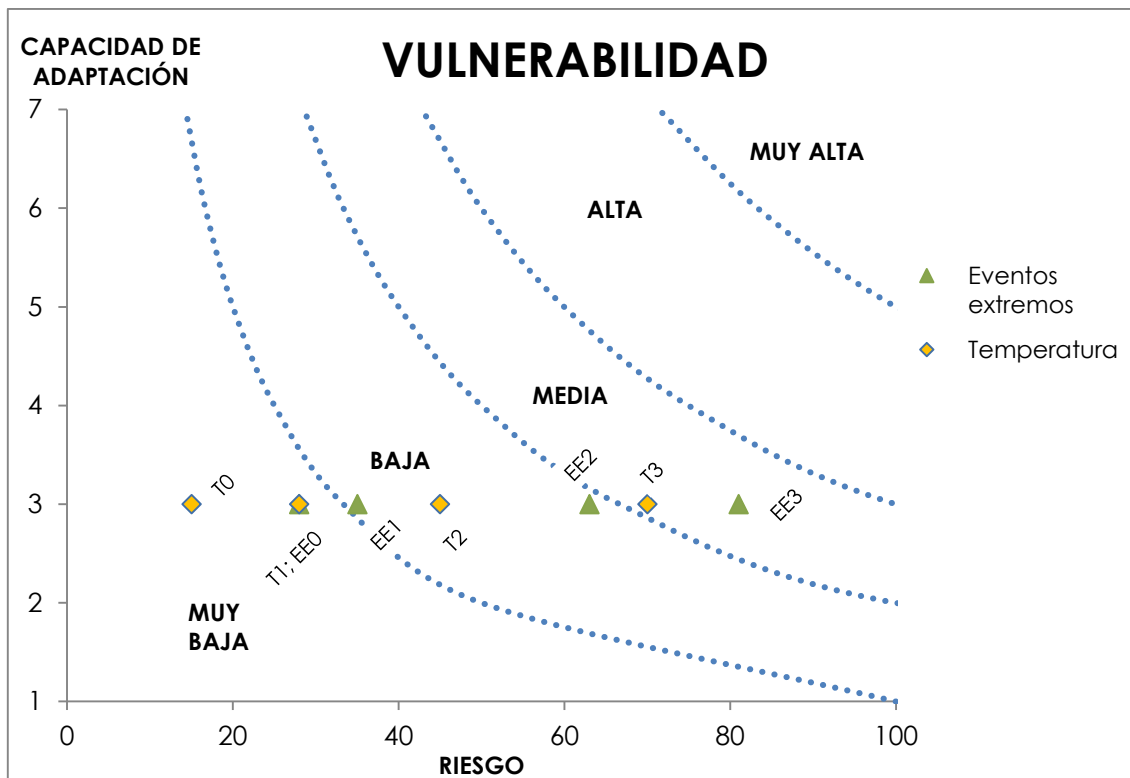
Fuente: elaboración propia a partir del Plan Hidrológico Nacional e información proporcionada por Ferrovial.

Variable	Cuestiones clave	Disponibilidad	Justificación
Planificación gubernamental y empresarial	¿Existen políticas, estándares, regulación, legislación o directrices de prevención de los riesgos derivados del cambio climático, ya sea fruto de la planificación pública, o como iniciativa estratégica propia de la empresa?	Alta	<p>Renfe cuenta con estándares de climatización adaptados al amplio rango de temperaturas que existe en la geografía española. Al mismo tiempo, todos los años se lleva a cabo el PAPIF, en coordinación con las comunidades autónomas, para prevenir los incendios forestales en verano.</p> <p>Por otra parte, en situaciones de eventos extremos, se llevan a cabo algunas prácticas para garantizar la seguridad del servicio y minimizar los posibles daños, tales como trasbordos de pasajeros o reducciones del límite de velocidad.</p> <p>En cuanto a las infraestructuras ferroviarias, ADIF lleva a cabo su mantenimiento de modo periódico y planificado.</p>
Recursos económicos	<p>¿Se dispone de suficientes recursos económicos o fuentes de financiación para hacer frente a los riesgos detectados?</p> <p>¿Es posible explotar oportunidades de mercado derivadas de la adaptación?</p>	Alta	<p>La adaptación a los impactos climáticos detectados no requiere de procedimientos o modificaciones en la maquinaria diferentes a los que se llevan a cabo en la actualidad en situaciones de eventos extremos. Por otra parte, Renfe lleva a cabo la renovación periódica de trenes y equipos, mientras que ADIF está a cargo del mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias, lo cual implica que existe la capacidad económica suficiente para llevar a cabo las inversiones que eventualmente pudiesen ser necesarias para hacer frente a impactos climáticos puntuales.</p>
Infraestructuras	¿Se dispone de las infraestructuras necesarias y suficientes para hacer frente a los riesgos identificados?	Media	<p>ADIF lleva a cabo el mantenimiento periódico y las mejoras pertinentes en la infraestructura ferroviaria. Sin embargo, las estaciones de Salou y Alicante han sufrido grandes avenidas de agua.</p> <p>Respecto a los trenes, Renfe lleva a cabo la renovación periódica de los mismos, así como la modificación de maquinaria cuando las circunstancias meteorológicas lo aconsejan (cambio de posición de los convertidores eléctricos en olas de frío).</p>

Variable	Cuestiones clave	Disponibilidad	Justificación
Información y conocimiento	<p>¿La organización dispone de información sobre riesgos y/o oportunidades ligados al cambio climático?</p> <p>¿Existen precedentes de actuación y metodologías al respecto?</p> <p>¿Existen programas de entrenamiento al respecto?</p> <p>¿Se dispone de información de estudios de caso?</p> <p>¿Cuál es el grado de conocimiento e implicación por parte de la plantilla, los clientes y las comunidades del entorno?</p>	Alta	<p>Muchos de los impactos potenciales del cambio climático sobre esta línea se sufren en la actualidad, como por ejemplo, las precipitaciones intensas y los fuertes vientos, llevándose a cabo diversas acciones para minimizar daños posibles (reducción del límite de velocidad de los trenes, trasbordos de pasajeros, etc.). Esta situación ha motivado que los responsables de esta línea hayan adquirido un alto nivel de conocimiento de cómo el clima puede impactar en su servicio y cómo actuar al respecto.</p>

En base a la información mostrada en la tabla anterior, la capacidad de adaptación resulta valorada como alta (CA3) para el servicio de transporte ferroviario entre Alicante y Barcelona. Partiendo de esta valoración de la capacidad de adaptación y de los valores de riesgo de cada impacto, se estima la vulnerabilidad actual y futura a los impactos climáticos en esta línea, que se muestra en el siguiente gráfico.

Figura 5. Vulnerabilidad de la línea Alicante-Barcelona a los impactos climáticos.
 (T=temperatura media, P=precipitación media anual, EE=eventos extremos, NM=nivel del mar, 0=actualidad, 1=2015-2039, 2=2040-2069, 3=2070-2099).
 Fuente: elaboración propia.



La mayor de las vulnerabilidades sería la correspondiente a los eventos extremos. Ésta empezaría en un nivel muy bajo (nivel 1) en la actualidad, terminando en un nivel medio (nivel 3) en el último período del siglo XXI estudiado. Hay que apuntar que no se alcanzaría un nivel de vulnerabilidad mayor gracias a la existencia de servicios de mantenimiento de infraestructura ferroviaria, que contribuirían a facilitar la prestación normal del servicio en caso de afecciones por eventos extremos.

La vulnerabilidad al aumento de la temperatura se situaría en la actualidad en un nivel muy bajo (nivel 1), y terminaría en un nivel de vulnerabilidad medio (nivel 3), aunque casi bajo, a finales del siglo XXI.

4. Definición de medidas de adaptación al cambio climático

Existe una pluralidad de agentes que se pueden ver afectados por los daños que el cambio climático puede provocar en el transporte. Consciente de los riesgos que ello puede implicar para la actividad del transporte de pasajeros, se ha llevado a cabo este análisis piloto para analizar los riesgos a los que está sujeta una de sus actividades, para así poderlos gestionar y aprovechar las oportunidades que se puedan presentar.

En cuanto al análisis de vulnerabilidad llevado a cabo sobre la línea Alicante-Barcelona, hay que destacar que su nivel de vulnerabilidad a los eventos extremos y al aumento de la temperatura llegaría a un nivel medio en el último período del siglo XXI, lo que se debería a las repercusiones que tendrían las precipitaciones torrenciales y los fuertes vientos sobre la prestación del servicio, así como a la posible formación de garrotes en raíles causada por el aumento de las temperaturas máximas. Se debe señalar que no se han detectado implicaciones del aumento del nivel del mar ni de la reducción de las precipitaciones para la operación de la línea Alicante-Barcelona.

Para hacer frente a los potenciales riesgos asociados al cambio climático, se recomienda identificar posibles opciones de adaptación, de entre las cuales se llevará a cabo una selección para su posterior implementación en base a los criterios que sean de mayor importancia. Estos criterios pueden ser, por ejemplo los costes, los beneficios esperados, la existencia de sinergias o la compensación de efectos entre las diferentes medidas planteadas. Con las medidas seleccionadas, se elaborará una estrategia de adaptación del grupo empresarial, con un plan de acción que incluya una hoja de ruta para su implementación.

Se aconseja además monitorizar y evaluar los costes y resultados de la estrategia de adaptación. Para ello, es necesario definir una línea de base y unos indicadores de adaptación, cuya supervisión permitirá determinar la necesidad de modificación del plan de adaptación para el siguiente año, si los resultados obtenidos no son los esperados.

Es fundamental la concienciación dentro del grupo empresarial sobre los riesgos asociados al cambio climático, así como dar a conocer los resultados de la estrategia de adaptación. Esta práctica puede ayudar a generar confianza entre los inversores al mostrar cómo los riesgos del cambio climático son gestionados.

Además de lo anterior, se recomienda que la planificación estratégica general del grupo incluya la estrategia de adaptación, coincidiendo su diseño en el mismo momento y considerando las oportunidades ligadas a la adaptación al cambio climático. De este modo, es fácil adecuar la estrategia de adaptación de la empresa a las necesidades, objetivos y presupuestos del grupo empresarial.

Respecto al estudio piloto aplicado, las recomendaciones son las siguientes:

- Continuar implementando las acciones y prácticas que se llevan a cabo en la actualidad y que facilitan la adaptación al cambio climático.
- Monitorizar los costes y resultados de dichas prácticas, contrastándolos con datos de la climatología de cada año.
- En caso de detección de incidencias de alta probabilidad, evaluar posibles opciones de adaptación al respecto, analizar sus posibles costes y beneficios, e implementarlas posteriormente, monitorizando sus costes y resultados reales.

Aunque la mayor parte de las opciones de adaptación al cambio climático en el ámbito del transporte ferroviario recaerían sobre los gestores de infraestructuras, a continuación se presentan algunas opciones para minimizar los impactos potenciales del cambio climático sobre el transporte por tren:

- Refuerzo de la coordinación y la cooperación entre los diferentes actores del transporte ferroviaria, de cara a mejorar la actuación ante impactos climáticos.
- Seguimiento exhaustivo de contingencias climáticas posibles, haciendo hincapié en las que menor cobertura tengan en los procedimientos de actuación en emergencias.
- Refuerzo estructurales para evitar riesgos por precipitaciones torrenciales y fuertes vientos desde la costa.
- Pavimentos permeables en las carreteras colindantes a las vías para disminuir la inundación ante lluvias torrenciales.
- Revisión de normativas y recomendaciones de diseño de infraestructuras, para hacerlas más resistentes a las precipitaciones intensas, en especial en puentes, viaductos y obras de tierras.

- Vigilancia del comportamiento del sistema carril-traviesas-sujecciones en altas temperaturas, y cambio del mismo por otro más resistente a altas temperaturas en caso de que su comportamiento pueda suponer un peligro para la seguridad ferroviaria.
- Revisión de capacidades de drenaje ante precipitaciones intensas, y construcción de nuevos sistemas de drenaje de mayor capacidad en caso de que estos se muestren insuficientes.
- Estudio de rutas alternativas en áreas en las que se presentan contingencias climáticas con periodicidad.

De cara a cumplir con dichas recomendaciones y reducir su vulnerabilidad al cambio climático, se plantean tres acciones que abordan desde aspectos más ligados al refuerzo de infraestructuras, hasta el desarrollo de un sistema de alerta temprana, adaptado a las necesidades del sector.

A continuación se presentan las fichas correspondientes a las tres medidas de adaptación que se plantean para la línea de transporte analizada:

Medida 1	Refuerzo estructural de la infraestructura costera
<p>Objetivo</p> <p>Minimizar los efectos de los eventos extremos e inundaciones ligadas a ellos, a través del refuerzo de la infraestructura de costa adyacente a la línea de ferrocarril analizada.</p> <p>Consideraciones preliminares</p> <p>El transporte (ferroviario, por carretera, marítimo y aéreo) está sujeto a las consecuencias del cambio climático, no solo de forma directa, sino también influenciados por los cambios en el flujo del tráfico y las alteraciones en el sector turismo. En base a estas consideraciones, será de gran importancia entender cómo podrían verse afectadas tanto la infraestructura y los sistemas de transporte existentes y de nueva construcción.</p> <p>Descripción de la acción</p> <p>Para el refuerzo de las infraestructuras ligadas a la línea de costa, es necesario llevar a cabo la evaluación de las condiciones actuales del diseño de los puertos y otras infraestructuras costeras en relación con los cambios climáticos esperados a futuro. Así mismo, hay que tener en cuenta las tendencias de aumento del nivel medio del mar y los cambios en la frecuencia e intensidad de tormentas. Derivado de ello, se debe llevar a cabo un análisis técnico sobre las zonas de mayor necesidad de refuerzo, para la instalación de diques rompeolas o escolleras.</p> <p>La medida implica, por lo tanto, el desarrollo de infraestructura por lo que se puede catalogar como poco reversible a futuro. Así mismo, dada su naturaleza y la inversión</p>	

necesaria para su implantación, es una medida que debe desarrollarse en diferentes fases a lo largo del tiempo.

Periodo de implementación

2015-2030

Medida 2 Promoción de pavimentos permeables en infraestructuras de transporte

Objetivo

Minimizar los efectos que pueda causar en el servicio de transporte la mayor frecuencia e intensidad de lluvias torrenciales mediante una gestión avanzada de las aguas pluviales.

Consideraciones preliminares

Ante un escenario futuro en el que se combina una previsible mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, las afecciones en las líneas de transporte pueden verse también incrementadas. Ante ello, una medida avanzada es la combinación de la gestión de las aguas pluviales con la utilización de materiales innovadores que disminuyan la cantidad de agua en las infraestructuras de transporte.

Descripción de la acción

El pavimento permeable es una gama de materiales y técnicas para pavimentos con una base y sub-base que permite la circulación de las aguas pluviales a través de su superficie. Además de la reducción de la escorrentía, el material atrapa de forma eficaz los sólidos en suspensión, actuando como filtro. Por lo tanto, permiten que el agua se infiltre por el terreno o sea captada y retenida en capas subsuperficiales, para su posterior reutilización o evacuación.

Existen diversas tipologías de superficies permeables, entre ellas están: Pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa (asfalto, hormigón, resinas, etc.), césped, césped reforzado, gravas, bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno, o pavimento de bloques porosos. Estos últimos, también denominados pavimentos modulares, se componen por una capa superficial formada por módulos de hormigón, ladrillo o plástico reforzado que poseen una serie de huecos que los atraviesan de arriba abajo que pueden rellenarse con tierra o césped. Por lo tanto, su aplicación puede ser tanto en carreteras, caminos e, incluso, jardines, carriles bici y aceras residenciales.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que esta solución no es única por sí misma, sino que debe ser acompañada de otras técnicas de gestión de aguas pluviales ante un escenario futuro de mayor intensidad y frecuencia de lluvias torrenciales.

Periodo de implementación

2015-2030

Medida 3 Seguimiento exhaustivo de contingencias climáticas

Objetivo

Minimizar los efectos negativos de los eventos climáticos a través de una mejor

detección.

Consideraciones preliminares

La Agencia Estatal de Meteorología pone a disposición de los usuarios tanto información climática como meteorológica de gran utilidad. En el marco del Plan Nacional de Adaptación (PNACC) se ha elaborado una completa colección actualizada de proyecciones regionalizadas (escenarios) de cambio climático para España y de productos derivados, denominada Escenarios PNACC-Datos mensuales, que se pone a libre disposición de todos aquellos organismos, instituciones, empresas y personas interesados en evaluar los impactos, la vulnerabilidad y las opciones de adaptación al cambio climático en su área de actividad o interés, y se constituyen en los escenarios de referencia del PNACC. Los productos de Escenarios PNACC-Datos mensuales se han elaborado con el objetivo de facilitar su uso y aplicación a diversos perfiles de usuario, con mayor o menor grado de especialización.

Descripción de la acción

Desarrollo de un sistema avanzado y adecuado a las necesidades del sector transporte, con radares de alta tecnología, que permita incrementar la calidad de los datos generados en tiempo real, para disponer de un mejor conocimiento, con el propósito de conocer mejor la intensidad, fase y distribución de la precipitación, así como la dirección y fuerza del viento. El sistema debe ofrecer una mejor representación gráfica y puntual del fenómeno hidrometeorológico que se está estudiando, lo cual ayuda en la implantación de medidas preventivas ante fenómenos atmosféricos extremos. Con la información que proporciona el sistema, dotado de la tecnología más avanzada, es posible medir la cantidad de lluvia y calcular el tamaño de la escorrentía que generará, así como el posible incremento del caudal en cauces adyacentes, información que se integra a las alertas y permite una acción preventiva más integrada.

Periodo de implementación

2015-2030

5. Análisis de medidas para la adaptación al cambio climático

El análisis de las medidas para la adaptación se efectúa de acuerdo a la metodología expuesta anteriormente, efectuando tanto un análisis coste-beneficio, como un análisis multicriterio.

5.1. Análisis coste-beneficio de las medidas

Se ha realizado el análisis coste-beneficio de las medidas tomando un horizonte temporal de 15 años, entre 2015 y 2030. Se ha fijado una tasa de descuento del 7%. Con estos supuestos, los resultados del análisis coste-beneficio son los siguientes:

Medida	Coste total	Beneficio total	Valor actual neto	Ratio beneficio-coste
1. Refuerzo estructural de la infraestructura costera	52.726.153	1.432.342	-51.293.811	0,0
2. Promoción de pavimentos permeables en infraestructuras de transporte	187.121.985	15.704.593	-171.417.392	0,1
3. Seguimiento exhaustivo de contingencias climáticas	248.464	358.017	109.553	1,4

Figura 6. Valor actual neto de los daños evitados/Ratio beneficio-coste.

Fuente: elaboración propia.



En el Anexo I del documento se puede ver el detalle de los cálculos realizados en cada medida.

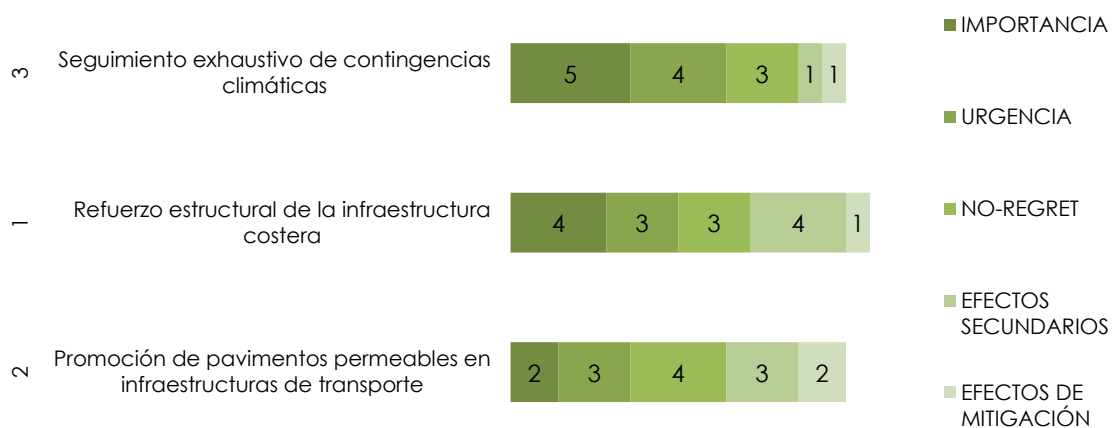
5.2. Análisis multicriterio

El análisis multicriterio ofrece la posibilidad de incluir en la toma de decisiones otras variables interesantes, además de la puramente económica. Por ello, evalúan las tres medidas en cada uno de los siguientes criterios, con un valor de 1 a 5:

- **Importancia:** el valor que presenta la medida en cuanto a la capacidad de disminuir las consecuencias del cambio climático.
- **Urgencia:** la necesidad con la que la medida debe estar implementada para obtener los máximos beneficios.
- **No-Regret:** la capacidad de la medida de generar beneficios, incluso sin cambio climático.
- **Efectos secundarios:** los beneficios adicionales a la adaptación al cambio climático que presenta la medida.
- **Efectos de mitigación:** el valor del posible efecto colateral de mitigación al cambio climático que presenta la medida.

El peso que tiene cada una de las variables a la hora de priorizar las medidas según el MCA no es el mismo, siendo de orden descendente (Importancia, Urgencia, No-Regret, Efectos secundarios, Efectos de mitigación). Los valores asignados a cada uno de los criterios se recogen en la figura siguiente.

Figura 7. Resultados del análisis MCA.
Fuente: elaboración propia.



Según el MCA realizado, la Medida 3: Seguimiento exhaustivo de contingencias climáticas saldría priorizada. En segundo lugar quedaría la Medida 1: Refuerzo estructural de la infraestructura costera. Por detrás de ellas quedaría la Medida 2: Promoción de pavimentos permeables en infraestructuras de transporte.

6. Priorización de las medidas

Una vez aplicados ambos análisis a las medidas definidas, el procedimiento habitual es ponderar la priorización ofrecida por cada uno de ellos, para asignar los recursos financieros de la forma más eficiente, teniendo en cuenta retornos más allá del meramente económico.

Según el CBA y el MCA realizado, la Medida 3: Seguimiento exhaustivo de contingencias climáticas saldría priorizada, al ser la que presenta un análisis CBA positivo, además de salir también la primera en el análisis MCA debido a sus características flexibles. En segundo lugar quedaría la Medida 1: Refuerzo estructural de la infraestructura costera, ya que implica una mayor inversión para los beneficios que se podrían esperar y tiene también un carácter más permanente. Por detrás de ellas quedaría la Medida 2: Promoción de pavimentos permeables en infraestructuras de transporte ya que presenta un CBA peor por su importante inversión en relación con los beneficios asociados.

7. Principales referencias

- AEMET. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. 2009.
- AEMET. Gráficos de evolución del cambio climático por comunidades autónomas en España.
- Agència Catalana de l'Aigua. Proyecciones climáticas para Cataluña. 2009.
- Baker, C. Climate change and the railways. 2010.
- Canadian National Roundtable on the Environment and the Economy. Climate Prosperity. Advisory Report. 2012.
- CEDEX. Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. 2013.
- CER. Climate Change and Standarization. A Sector Position Paper. 2012.
- Comisión Europea. Libro verde: De la comisión al consejo, al parlamento europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE hacia un marco europeo de actuación. 2007.
- Comisión Europea, Libro blanco. Adaptación al cambio climático: hacia un marco europeo de actuación, 2009.
- Comisión Europea. Impacts of Climate Change on Transport: a focus on road and rail transport infrastructures. 2012.
- Comisión Europea. Nemry, F., Demirel, H. Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. 2012.
- Comisión Europea. An EU Strategy on adaptation to climate change. Commission staff working document. Adapting infrastructure to climate change. SWD (2013) 137 final. 2013
- Comisión Europea. Guidelines on developing adaptation strategies. 2013.

- Comisión Europea. Comunicación de la Comisión "Adapting infrastructure to climate change", complementaria a la Estrategia Europea de adaptación al cambio climático. SWD (2013) 137 final. 2013.
- DEFRA. Glossary. Definitions for Adaptation Concepts. 2010.
- GEF, UNEP. Accessing international funding for Climate Change Adaptation. 2012.
- Generalitat de Catalunya. Estrategia Catalana de Adaptación al Cambio Climático. 2012.
- Generalitat Valenciana. Estrategia Valenciana ante el Cambio Climático 2008-2012. 2008.
- Gobierno de Cantabria. Estrategia de Acción frente al Cambio Climático de Cantabria 2008-2012. 2008.
- Golombek, L. et al. Climate change impacts on electricity markets in Western Europe. 2011.
- Grupo de Trabajo para el análisis de las Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Informe final. 2013.
- IPCC. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC sobre escenarios de emisiones. 2000.
- IPCC. Third Assessment Report. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. 2001.
- IPCC. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.
- IPCC. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.

- IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. 2007.
- IPCC. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2007.
- Junta de Andalucía. Programa Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012. Programa de Adaptación. 2007.
- Lavell, A. M. *et al.* Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability and resilience (en Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)). 2012.
- Ley 9/2010 de Aguas de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Plan Hidrológico Nacional.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Folleto divulgativo del Segundo Programa de Trabajo del PNACC. 2010.
- OECC. Primer programa de trabajo del Plan nacional de adaptación al cambio climático. 2006.
- OECC. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, WP 2. 2008.
- OECC. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. 2009.
- OECC. Segundo programa de trabajo del Plan nacional de adaptación al cambio climático. 2009.
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Estrategia Catalana de Adaptación al Cambio Climático. Resumen Ejecutivo. Horizonte 2013-2020. 2012.
- PWC. Adapting to climate change in the infrastructure sectors. 2010.
- Rübberke, D. y Vögele, S. Distributional Consequences of the Climate Change Impacts on the Power Sector: who gains and who loses? 2011.
- Schneider, S.H., Semenov, S., Patwardhan, A., Burton, I., Magadza, C.H.D., Oppenheimer, M., Pittock, A.B., Rahman, A., Smith, J.B., Suarez, A. y Yamin, F.

Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. *Climate Change* 2007.

- UNFCCC. Glossary of climate change Acronyms. 2013.
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (IPCC). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. 1997.

Anexo I: Cálculos del análisis coste-beneficio de las medidas

1 Refuerzo estructural de la infraestructura costera

AUXILIARY DATA

1 km (clearing)	1482,57	Masatzer Engineering, Inc., 2005.	1 km (excavator for placement of riprap)	433.475,87	Masatzer Engineering, Inc., 2005.
1 km (excavation)	62.782,02	Masatzer Engineering, Inc., 2005.	1 km (gravel)	794.705,77	Masatzer Engineering, Inc., 2005.
1 km (hauling)	75.338,43	Masatzer Engineering, Inc., 2005.	1 km (revegetation)	2.036,07	Masatzer Engineering, Inc., 2005.
1 km Riprap (delivered)	1.842.272,48	Masatzer Engineering, Inc., 2005.	1 km (clean up)	697,8	Masatzer Engineering, Inc., 2005.
Building km	26,73	Author estimation based on geographical data	Average percentage of damages related to coastal flooding in the Country's three worst storms	28%	Author calculation based on historical data presented in the Third storm Report
Estimated Losses due a storm (D50, \$2)	221.607.000	Authors, Third storm Report	Assumption of damages due to flooding reduced during a storm because of this measure	50%	Author estimation
Probability of occurrence in any given year	2%	Authors, Third storm Report	Maintenance Costs	3.954.984	*Not total construction costs, as used in Whitehead, 2011
Site Investigations, Project Management and Engineering	15%	Engineering costs for projects of this nature are typically 10-20% of capital cost. (Dolan, 2012)			

ECONOMIC CALCULATIONS

Cost/benefit	Concept	2014 0	2015 1	2016 2	2017 3	2018 4	2019 5	2020 6	2021 7	2022 8	2023 9	2024 10	2025 11	2026 12	2027 13	2028 14	2029 15	
Costs	Site Investigations, Project Management and Engineering	\$ 9,027.680	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	\$ 241.813	
	Mobilization	\$ 100.000																
	Site clearing and preparation	\$ -	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ 3.963	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
	Excavation of dike root with excavator	\$ -	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ 167.816	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
	Hauling of dike root material	\$ -	\$ -	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ 201.380	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
	Riprap delivered to site	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ 4.924.394	\$ -	\$ -	
	Excavator for placement of rip rap	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ 1.158.681	\$ -	
	Fill gravel for dike construction	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ 2.124.249	\$ -	
	Site revegetation	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 10.885	\$ 10.885	\$ 10.885	
	Site clean up	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.730	\$ 3.730	\$ 3.730	
Maintenance	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 395.498	\$ 790.997	\$ 1.186.495	\$ 1.581.993	\$ 1.977.492	\$ 2.372.990	\$ 2.768.488	\$ 3.163.987	\$ 3.559.485	\$ 3.954.984		
Net cost	\$ 100.000	\$ 413.592	\$ 614.972	\$ 5.539.366	\$ 6.698.047	\$ 8.822.296	\$ 9.217.794	\$ 9.613.292	\$ 10.008.791	\$ 10.404.289	\$ 10.799.787	\$ 11.232.240	\$ 11.623.506	\$ 12.013.772	\$ 12.405.048	\$ 12.796.320		
Benefits	Damages Evaded	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 62.050	\$ 124.100	\$ 186.150	\$ 248.200	\$ 310.250	\$ 372.300	\$ 434.350	\$ 496.400	\$ 558.450	\$ 620.500	
	Net benefit	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 62.050	\$ 124.100	\$ 186.150	\$ 248.200	\$ 310.250	\$ 372.300	\$ 434.350	\$ 496.400	\$ 558.450		
	Net cash flow	\$ -100.000	\$ -413.592	\$ -614.972	\$ -5.539.366	\$ -6.698.047	\$ -8.822.296	\$ -9.155.744	\$ -9.489.192	\$ -9.822.641	\$ -10.156.089	\$ -10.489.538	\$ -10.821.988	\$ -11.154.238	\$ -11.526.488	\$ -11.903.038		
	Cumulative cash flow	\$ -100.000	\$ -513.592	\$ -1.128.564	\$ -6.667.930	\$ -13.365.977	\$ -22.188.273	\$ -31.344.017	\$ -40.833.209	\$ -50.555.850	\$ -60.811.939	\$ -71.301.476	\$ -81.952.683	\$ -92.750.574	\$ -103.599.062	\$ -114.451.550		
	Net present value	\$ -562.564.601																

Net Cost Discounted	\$ 64.311.671
Net Benefits Discounted	\$ 1.747.070

AUXILIARY DATA

Paved roads (km)	4,251.52	World Bank, 2015.
% of roads to be converted	10%	Author estimation
Building 1 m2 of paved road	82.84	Royal Haskoning DHV (2012). Costs and Benefits of Sustainable Drainage Systems.
Building 1km of paved road (\$)	828,400	Royal Haskoning DHV (2012). Costs and Benefits of Sustainable Drainage Systems.
Statistical value of a life (in 1995 US dollars)	630,000	Statistical Life of a person in Trinidad and Tobago, 1995. M. Bar. "Variations between Countries in Value of Statistical Life"
Inflation from 1995	1.53	Oregon State University. Individual Year Conversion Factor Tables
Average length of commute during rush hour (Hrs)	2	Author interview
Number of Vehicles that commute	5,000	The Cropper Foundation. "Port of Spain"
Percentage of additional time reduction due to measure	10%	Author Estimation
Number of Rainy Days per year	163	Vanessa Hyscroph-Ash. A Study of the Last Forty Years of Daily Rainfall Data in Trinidad To Examine Any Indications of Climate Change and its Repercussions for the Farming Population in Trinidad and Tobago.

Maintaining 1km of paved road (\$)	6,100.00	Royal Haskoning DHV (2012). Costs and Benefits of Sustainable Drainage Systems.
Average width of roads (m)	10.00	Author estimation
Deaths in traffic accidents / total deaths	2.58%	LaDuc Media, 2015.
Deaths caused by traffic accidents per year	200	Third Interim Report
Injuries caused by traffic accidents per year	3,000	Third Interim Report
Reduction in accidents due to the measure	10%	Third Interim Report
Percentage of a life valued per serious injury	10%	Author Estimation
Value of driving time per vehicle (USD)	11.58	Clark et al. "Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design - In Search of Better Investment Decisions" Pavement Division Interim Technical Bulletin, September
Increase in Commute Time due to heavy Rain	0.25	Shen, Andrew D. et al. "Analysis of weather impacts on traffic flow in metropolitan Washington DC."
Number of Work Days per Year	233	Assuming 14 National Holidays and 14 days paid vacation. (Vacation Days taken from national Labour law information of TT from UN, Holidays from government website)

TECHNICAL CALCULATIONS

Parameter	Unit	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Permeable pavement installed	km	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01	25.01
Accumulated permeable pavement	km	25.01	50.02	75.03	100.04	125.04	150.05	175.06	200.07	225.08	250.09	275.10	300.11	325.12
Number of Hours lost due to Traffic in Rain	hrs	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307	3,012.307

ECONOMIC CALCULATIONS

Cost/benefit	Concept	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Costs	Building permeable pavement	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87	\$ 20,717,406.87
	Maintaining permeable pavement	\$ 152,554.54	\$ 305,109.08	\$ 457,663.62	\$ 610,218.16	\$ 762,772.71	\$ 915,327.25	\$ 1,067,881.79	\$ 1,220,436.33	\$ 1,372,990.87	\$ 1,525,545.41	\$ 1,678,099.95	\$ 1,830,654.49	\$ 1,983,209.04
	Net cost	\$ 20,869,961.41	\$ 21,022,515.95	\$ 21,175,070.49	\$ 21,327,625.04	\$ 21,480,179.58	\$ 21,632,734.12	\$ 21,785,288.66	\$ 21,937,843.20	\$ 22,090,397.74	\$ 22,242,952.28	\$ 22,395,506.82	\$ 22,548,061.36	\$ 22,700,615.91
Benefits	Annual Deaths avoided	\$	\$ 113,694.47	\$ 227,392.94	\$ 341,089.41	\$ 454,785.88	\$ 568,482.35	\$ 682,178.82	\$ 795,875.29	\$ 909,571.76	\$ 1,023,268.24	\$ 1,136,964.71	\$ 1,250,661.18	\$ 1,364,357.65
	Annual Injuries avoided	\$	\$ 170,544.71	\$ 341,089.41	\$ 511,634.12	\$ 682,178.82	\$ 852,723.53	\$ 1,023,268.24	\$ 1,193,812.94	\$ 1,364,357.65	\$ 1,534,902.35	\$ 1,705,447.06	\$ 1,875,991.76	\$ 2,046,536.47
	Time Value saved through this measure	\$	\$ 1,771.95	\$ 3,543.89	\$ 5,315.84	\$ 7,087.78	\$ 8,859.73	\$ 10,631.67	\$ 12,403.62	\$ 14,175.56	\$ 15,947.51	\$ 17,719.45	\$ 19,491.40	\$ 21,263.34
Net benefit	\$	\$ 284,013.12	\$ 572,026.24	\$ 858,039.37	\$ 1,144,052.49	\$ 1,430,065.61	\$ 1,716,078.73	\$ 2,002,091.85	\$ 2,288,104.97	\$ 2,574,118.10	\$ 2,860,131.22	\$ 3,146,144.34	\$ 3,432,157.46	
Net cash flow	-\$	\$ 20,869,961.41	\$ 20,736,502.83	\$ 20,603,044.25	\$ 20,469,585.67	\$ 20,336,127.09	\$ 20,202,668.51	\$ 20,069,209.93	\$ 19,935,751.35	\$ 19,802,292.77	\$ 19,668,834.19	\$ 19,535,375.61	\$ 19,401,917.03	\$ 19,268,458.44
Cumulative cash flow	-\$	\$ 20,869,961.41	\$ 41,606,464.24	\$ 62,209,508.49	\$ 82,679,094.16	\$ 103,015,221.25	\$ 123,217,889.76	\$ 143,287,099.69	\$ 163,222,851.04	\$ 183,025,143.80	\$ 202,693,977.99	\$ 222,229,353.60	\$ 241,631,270.62	\$ 260,899,729.07
Net present value			-\$209,082,935.54											

Net Cost Discounted	\$ 228,238,298.44
Net Benefits Discounted	\$ 19,155,362.90

AUXILIARY DATA

Number of radio ads	1	Author estimation
Number of TV ads	1	Author estimation
Cost producing radio ad	500,00	V Marketing & Media Inc., 2009
Cost producing TV ad	1,500,00	Demand Media, Inc., 2013
Web hosting (\$/month)	50,00	MangoOrange, 2013
Estimated Losses due a storm (D50, \$2)	221,607,000	Authors, Third Interim Report
Probability of storm occurrence in any given year	1%	Authors, Third Interim Report
Increase in drought damage between 2008 and 2040 due to climate change	34%	Authors, Third Interim Report
Cost registration web domain (3 years, \$)	50,00	Authors

Cost maintenance web domain (3 years, \$)	50,00	Authors
Cost designing website (\$)	80,000,00	DesignQuote, 2013
Cost maintenance website (\$/year)	20,000,00	Execucom, Inc., 2013
Maximum practical losses prevented from early warning	20%	A Cost Effective Solution to Reduce Disaster Losses in Developing Countries: Hydro-Meteorological Services, Early Warning, and Evacuation
% of losses in the event of a storm prevented by this measure	1%	Author Estimation based on data presented in "A Cost Effective Solution to Reduce Disaster Losses in Developing Countries: Hydro-Meteorological Services, Early Warning, and Evacuation"
% of losses during droughts prevented by this measure	10%	Author Estimation based on data presented in "A Cost Effective Solution to Reduce Disaster Losses in Developing Countries: Hydro-Meteorological Services, Early Warning, and Evacuation"
Current Damages due to droughts (TT)	1,354,000	Authors, Third Interim Report
Damages due to droughts (TT) in 2040	1,815,000	Authors, Third Interim Report

ECONOMIC CALCULATIONS

Cost/benefit	Concept	2014 0	2015 1	2016 2	2017 3	2018 4	2019 5	2020 6	2021 7	2022 8	2023 9	2024 10	2025 11	2026 12	2027 13	2028 14	2029 15	
Costs	(Web) Domain name	\$ 50,00			\$ 50,00			\$ 50,00			\$ 50,00			\$ 50,00			\$ 50,00	
	(Web) Hosting	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 600,00	
	(Web) Design and development	\$ 80,000,00																
	(Web) Maintenance	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	\$ 20,000,00	
	Radio ads	\$ 500,00			\$ 500,00				\$ 500,00			\$ 500,00			\$ 500,00			\$ 500,00
	TV ads	\$ 1,500,00			\$ 1,500,00				\$ 1,500,00			\$ 1,500,00			\$ 1,500,00			\$ 1,500,00
	Net cost	\$ 102,650,00	\$ 20,600,00	\$ 20,600,00	\$ 22,650,00	\$ 20,600,00	\$ 20,600,00	\$ 22,650,00	\$ 20,600,00	\$ 20,600,00	\$ 22,650,00	\$ 20,600,00	\$ 20,600,00	\$ 22,650,00	\$ 20,600,00	\$ 20,600,00	\$ 22,650,00	
Benefits	Cost Reductions in tropical storm Damages Due to Early Warning		\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	\$ 22,160,70	
	Cost Reductions in Drought Damages Due to Early Warning		\$ 22,697,00	\$ 22,921,75	\$ 23,146,50	\$ 23,371,26	\$ 23,596,01	\$ 23,820,76	\$ 24,045,51	\$ 24,270,26	\$ 24,495,02	\$ 24,719,77	\$ 24,944,52	\$ 25,169,27	\$ 25,394,02	\$ 25,618,77	\$ 25,843,53	
	Net benefit	\$ -	\$ 44,857,70	\$ 45,082,45	\$ 45,307,20	\$ 45,531,96	\$ 45,756,71	\$ 45,981,46	\$ 46,206,21	\$ 46,430,96	\$ 46,655,72	\$ 46,880,47	\$ 47,105,22	\$ 47,329,97	\$ 47,554,72	\$ 47,779,47	\$ 48,004,23	
	Net cash flow	-\$ 102,650,00	\$ 24,257,70	\$ 24,482,45	\$ 22,657,20	\$ 24,931,96	\$ 25,156,71	\$ 23,331,46	\$ 25,606,21	\$ 25,830,96	\$ 24,005,72	\$ 26,280,47	\$ 26,505,22	\$ 24,679,97	\$ 26,954,72	\$ 27,179,47	\$ 25,354,23	
	Cumulative cash flow	-\$ 102,650,00	-\$ 78,392,30	-\$ 53,909,85	-\$ 31,252,64	\$ 6,320,68	\$ 18,836,02	\$ 42,167,49	\$ 67,773,70	\$ 93,604,66	\$ 117,610,38	\$ 143,890,84	\$ 170,396,06	\$ 195,076,03	\$ 222,030,76	\$ 249,210,23	\$ 274,564,46	
	Net present value	\$133,625,58																

Net Cost Discounted	\$ 303,058,48
Net Benefits Discounted	\$ 436,684,25