

INTEGRACIÓN DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ESTRATEGIA EMPRESARIAL

Análisis y priorización de medidas de adaptación al cambio climático. Caso piloto: Grupo Ferrovial

PNACC Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático



2016



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Oficina Española de Cambio Climático

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 construcción.

2016

Madrid





Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Autores:

Kepa Solaun; Itxaso Gómez; Julie Urban; Juan Carlos Gómez
Fundación CMAE - Factor CO₂

Coordinadores:

Eduardo González; José Ramón Picatoste; Raquel Garza
D.G. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Revisores

Mónica Gómez Royuela; Ana Pintó Fernández; Aída Velasco Munguira
D.G. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Colaboradores:

Francisco del Molino
Cadagua (Grupo Ferroviario)

Valentín Alfaya; Ana Peña
Ferroviario

Edita:

© Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

NIPO: 280-16-318-8 (en línea)

Distribución y venta:

Paseo Infanta Isabel, 1
28014 Madrid
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Tienda virtual: www.mapama.es
centropublicaciones@mapama.es

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<http://publicacionesoficiales.boe/>

A efectos bibliográficos este trabajo debe citarse como sigue:

Solaun, K., Gómez, I., Urban, J. Gómez, J.C. 2016. *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: Ferrovial*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 44 pág.

Las opiniones que se expresan en esta obra son responsabilidad de los autores y no necesariamente del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente o de su personal.

Índice

1. Introducción	1
2. Metodología	3
3. Descripción del caso piloto	11
4. Definición de medidas de adaptación al cambio climático	18
5. Análisis de medidas para la adaptación al cambio climático	23
5.1. Análisis coste-beneficio de las opciones	23
5.2. Análisis multicriterio	26
6. Conclusiones	29
7. Principales referencias	32
Anexo I: Datos para el análisis coste-beneficio de las medidas	35
Anexo II: Análisis coste-beneficio	36

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 informe es el segundo paso asociado a la aplicación piloto de las guías metodológicas desarrolladas por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) para el apoyo a la integración de la adaptación al cambio climático en la estrategia empresarial.

La primera de ellas estuvo orientada al desarrollo de metodologías para la evaluación de los impactos y la vulnerabilidad al cambio climático en el sector privado (OECC, 2014) y cuya aplicación se realizó en cinco empresas de cinco sectores empresariales españoles diferentes.

En este segundo paso, se persigue ahondar en metodologías para el análisis de medidas de adaptación al cambio climático, que puedan ser impulsadas desde la perspectiva del sector privado, ya sea para atender los riesgos o las oportunidades que presenta el cambio climático sobre el tejido empresarial. Con ello, el objetivo es seguir brindando herramientas que faciliten la toma de decisión en el camino hacia la integración de la adaptación al cambio climático en la estrategia empresarial.

Aunque a nivel nacional sigue siendo necesario continuar ahondando en los costes que el cambio climático puede ocasionar en los diferentes sectores, se considera interesante profundizar en el análisis y priorización de las diferentes opciones existentes para la reducción de los mismos.

En este sentido, hay que tener presente la necesidad de buscar enfoques complementarios entre la adaptación privada y la adaptación conjunta con un importante componente público. En esta línea, la adaptación conjunta iría más allá de un mero sumatorio de respuestas aisladas y se articularía hacia la consecuencia del bien público a través de una correcta distribución de costes y beneficios (Mendelsohn, 2000). Asimismo, el sector privado necesita de la aportación pública en aspectos como la provisión de información y la superación de costes de transacción altos, muy especialmente en situaciones en las que se produzcan externalidades (Malik et al., 2010).

La adaptación al cambio climático presenta adicionalmente otros retos cruciales para el sector privado. Entre ellos destaca sin duda el horizonte temporal en el que viene tabulada la información básica para la toma de decisión. Los resultados más contundentes que aportan los modelos climáticos generalmente se producen adelante

en el tiempo y es necesario un análisis cuidadoso de la información histórica disponible para poder establecer tendencias que se vinculen con los riesgos más críticos a medio y largo plazo.

En el plano de las fortalezas, es necesario destacar que la toma de decisiones ágil en situaciones de incertidumbre forma parte de la rutina del sector privado. Pero es importante presentar la información climática de una manera que sea consistente con las metodologías tradicionales de toma de decisión incorporando, en la medida de lo posible, información monetaria y potenciales oportunidades asociadas a las acciones que puedan ponerse en marcha. En este sentido, para distintos sectores la adaptación al cambio climático puede convertirse en una fuente de oportunidades de negocio, como las ligadas a sistemas más resilientes, la generación y gestión del conocimiento, nuevas tecnologías o herramientas de transferencia del riesgo (Agrawala et al., 2011).

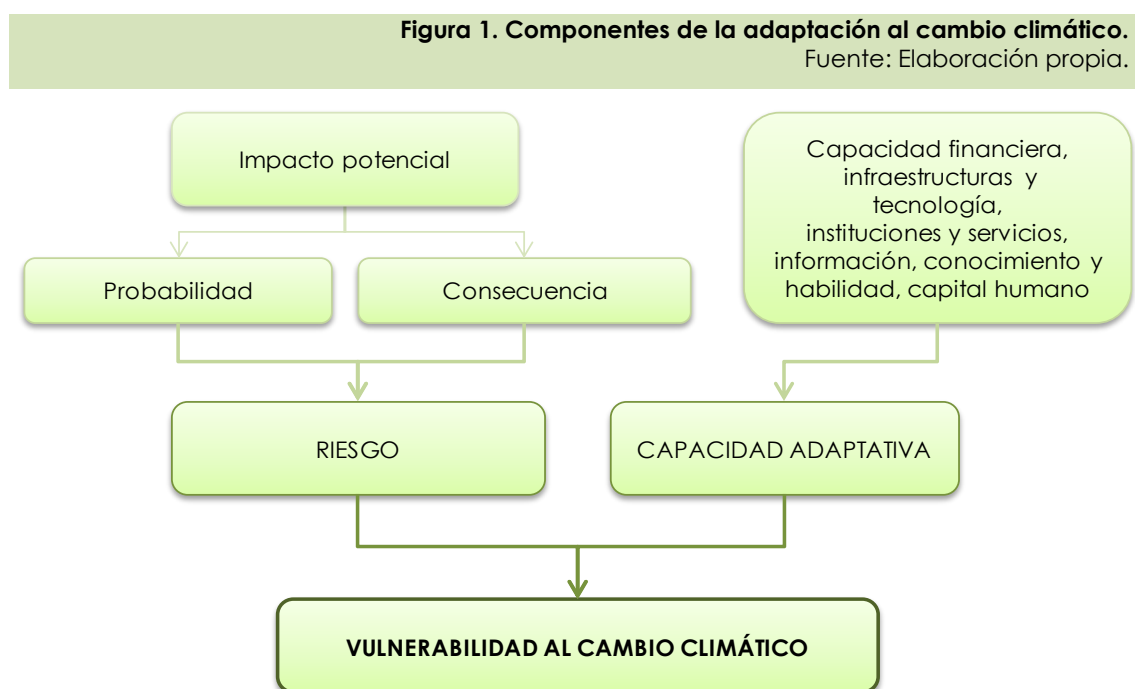
En este documento se parte de los resultados del análisis de vulnerabilidad realizados sobre un caso piloto centrado en una planta desaladora, ubicada en el Canal de Alicante (España). A partir de este primer análisis se han definido y analizado una serie de acciones, como un ejercicio de priorización entre ellas en base a diferentes criterios, combinando para ello el análisis coste-beneficio y el análisis multicriterio.

2. Metodología

Análisis de vulnerabilidad climática.

La metodología aplicada en este caso 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 análisis realizado, es necesario explicar brevemente 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 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, 2007¹).

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 los diferentes sectores estudiados. El objetivo es 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:

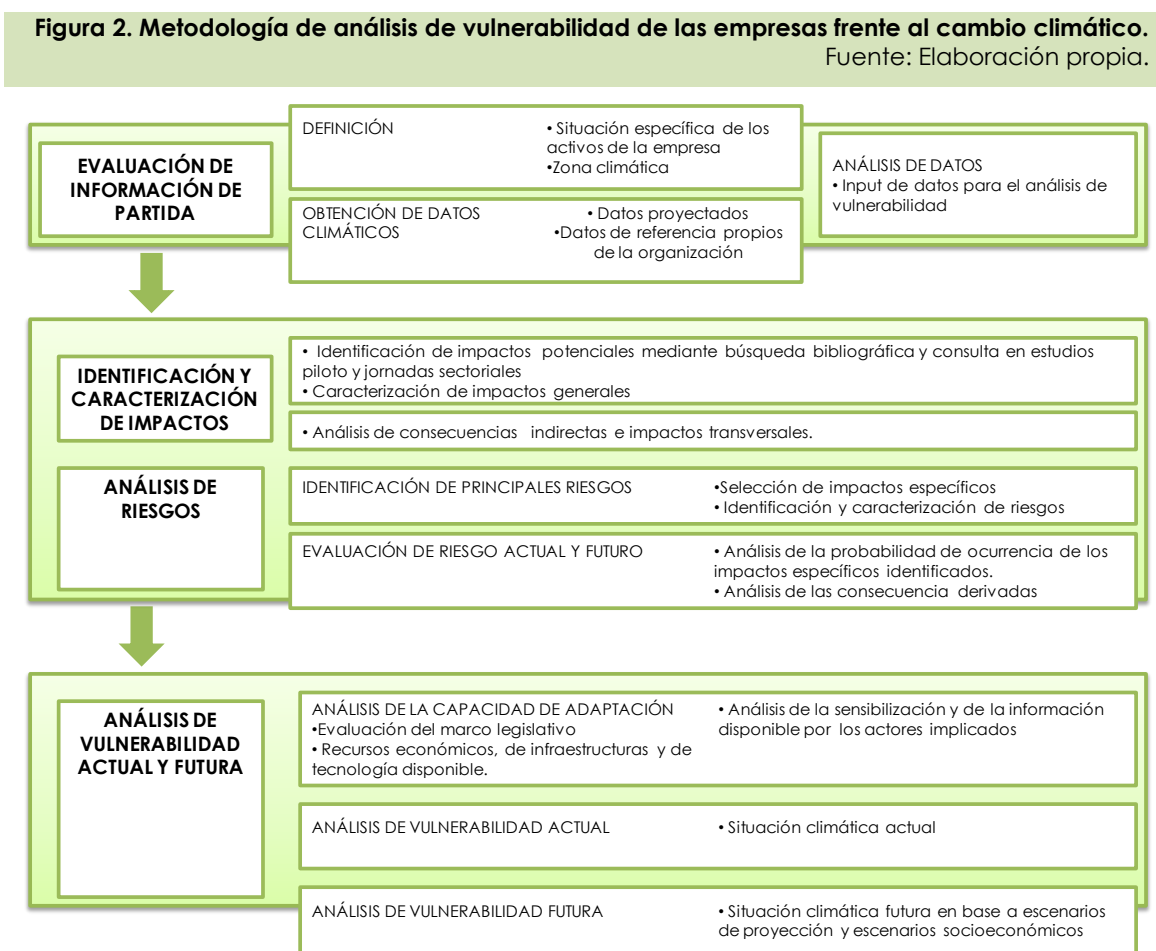
- 1. Identificación de impactos potenciales principales en cada sector.** A través del análisis de las condiciones climáticas actuales e históricas, y de las proyecciones de escenarios climáticos futuros, lo que permite entender cómo el cambio climático puede alterar la actividad de cada sector, es decir, 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

¹ En este sentido, IPCC 2014 presentará un esquema algo diferente sobre el concepto central de riesgo climático.

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.



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 decisión², 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. 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.

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.

² Se ha seleccionado aquí el modelo no secuencial de Mintzberg, Raisinghani y Théorêt (Mintzberg et al., 1976).

Metodologías	Objetivo principal	Fuente
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).

A continuación, se presentan algunas metodologías clásicas para la toma de decisiones ajustadas a la realidad de la adaptación al cambio climático por parte de diversas organizaciones internacionales.

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

Fuente: Elaboración propia a partir de UNFCC, 2009.

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 obtenidos 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 diferentes sectores que tengan beneficios diferentes.
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)	<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

Método	Tipo	Descripción	Comentarios
		produce el mayor beneficio neto.	de mucha información y recursos, pudiendo ser no viable en determinadas ocasiones. <ul style="list-style-type: none"> La tasa de descuento puede tener un peso determinante en los cálculos.
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 agentes para nutrir el análisis.

Aunque los tres métodos se pueden aplicar en cualquier tipo de actuación, en función de la información de partida y/o del objetivo del análisis, es habitual que las medidas de reducción de emisiones de GEI se analicen desde la óptica coste-eficiencia (analizando los costes de implantarlas frente a las reducciones que se obtienen). En el caso de las medidas de adaptación, se pueden analizar a través de las distintas metodologías, dependiendo de la información de partida y de los objetivos buscados.

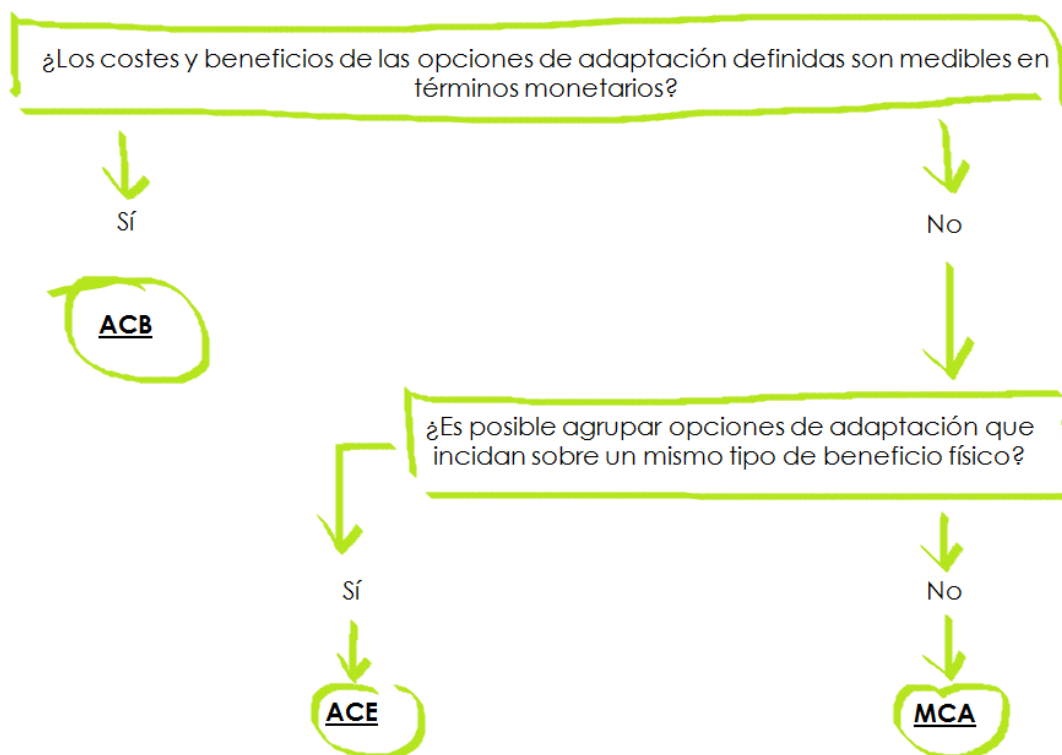
No cabe duda de que, en el caso del sector privado, el ACB resulta de aplicación más natural y orienta de forma más efectiva la toma de decisiones. Sin embargo, presenta importantes limitaciones a la hora de capturar potenciales situaciones extremas en un contexto de incertidumbre. Además, necesita de información de cantidad y calidad. Sin embargo es extremadamente valioso como “método de encuadre” que ayude a establecer prioridades y a calibrar necesidades (Leichenko, et al. 2011).

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. Sin embargo, en el caso del sector privado, el análisis coste-beneficio suele ser el método más habitual para la toma de decisiones.

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. 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 y ampliando el análisis a variables no de mercado. 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 pueden ser su 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 considerada para cada uno de los criterios³. 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. 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 Criterios adaptados de varias fuentes: CMNUCC, 2010; Bruin, K. et al., 2009.

3. Descripción del caso piloto

La desalación de agua de mar es una medida clásica de adaptación al cambio climático en zonas con situación de estrés hídrico. Con el fin de reducir algunas de las posibles repercusiones del cambio climático sobre el sector de la construcción y las infraestructuras, se ha realizado un análisis de detalle de la vulnerabilidad de una instalación situada en la zona mediterránea española: la planta desalinizadora de agua de mar del Canal de Alicante.

Esta planta fue construida por una Unión Temporal de Empresas (UTE) de la que formaban parte FASA, Cadagua, NECSO e Inflico. En la actualidad es explotada por la UTE Acciona Agua-Cadagua, y la titularidad de la instalación pertenece a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla.

Figura 4. Mapa de localización de la planta desalinizadora del Canal de Alicante. Fuente. Google Maps.



La planta desalinizadora de agua de mar del Canal de Alicante basa su funcionamiento en la tecnología de ósmosis inversa. El agua desalinizada producida en la planta se consume en los términos municipales de Elche, Santa Pola, San Vicente del Raspeig y Alicante.

De cara a llevar a cabo el análisis de vulnerabilidad de dicha planta, uno de los primeros pasos es determinar la evolución del clima del área en el que está situada a lo largo del siglo XXI. Para estudiarlo, se revisaron las proyecciones elaboradas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para esta Comunidad Autónoma. Se decidió emplear estas proyecciones dado que no existían proyecciones regionalizadas a menor escala. De

este modo, existe un cierto grado de incertidumbre en las mismas, asociada a las diferencias climáticas entre las distintas zonas de la Comunidad Valenciana, o incluso dentro de una misma zona.

Tras el análisis de las proyecciones se estimó 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).

Tal y como se ha detallado con anterioridad, para cada uno de estos impactos climáticos se ha de calcular el riesgo a través de la determinación de su probabilidad y la consecuencia. Los riesgos resultantes para la planta desalinizadora del Canal de Alicante son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3: Riesgos de los impactos climáticos en la planta desalinizadora del Canal de Alicante.

(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		NM0					
Muy poco probable		NM1; NM2					
Poco probable		T0; P0; EE0; NM3					
Probable		P1; P2	T1; EE1	EE2	EE3		
Bastante probable		P3		T2			
Muy Probable					T3		

Como se puede comprobar, los mayores niveles de riesgo serían los asociados al incremento de las temperaturas. Estos riesgos comenzarían en un nivel muy bajo (nivel 1) en la actualidad y terminarían en un valor alto (nivel 4) en el último período del siglo

XXI, siendo necesaria una evaluación de posibles acciones al respecto. Su alto riesgo se debe a que el aumento de las temperaturas es un impacto probable a finales del siglo XXI, que tendría como consecuencia posible un mayor gasto en productos químicos, para evitar los problemas de toxicidad asociados al borato⁴.

Con respecto a los riesgos asociados a los eventos extremos, éstos se situarían en un nivel muy bajo en la actualidad (nivel 1) y terminarían en un nivel medio (nivel 3) en el último período de tiempo estudiado, recomendándose evaluar acciones al respecto. Estos valores de riesgo, menores que los correspondientes al aumento de la temperatura, pero superiores a los de los demás impactos, se deberían a las posibilidades de daños físicos a las tuberías de transporte de agua desalinizada a Elche por grandes avenidas de agua causadas por precipitaciones torrenciales.

Por último, el riesgo de la disminución de la precipitación no pasaría del nivel bajo (nivel 2), no siendo necesarias acciones de adaptación, pero recomendándose un seguimiento al respecto, mientras que el incremento del nivel del mar presentaría un nivel de riesgo muy bajo (nivel 1) en todos los períodos estudiados, con lo cual no haría falta evaluar acciones preventivas o adaptativas al respecto.

Una vez determinados los riesgos, para analizar la vulnerabilidad de la planta desalinizadora del Canal de Alicante 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 de esta planta.

⁴ Para mayor información consultar el cuadro "Consecuencias del aumento de la temperatura en la desalinización" en el estudio "Evaluación de los impactos y la vulnerabilidad en el sector privado. Caso piloto: Ferroviario. OECC, 2014".

Tabla 4: Valoración de la capacidad de adaptación de la planta desalinizadora del Canal de Alicante.

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?	Media	La instalación cuenta con un Plan de Gestión de Riesgos, que no contempla riesgos climáticos. No se ha podido constatar la existencia de políticas o planes públicos de prevención de riesgos climáticos para la actividad de la planta. Por otra parte, existe una planificación hidrológica en el ámbito estatal y en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar ⁵ , que prevé garantizar el suministro de agua para el consumo humano y la agricultura en el futuro, recurriendo a la desalinización de agua marina cuando las aportaciones hídricas de la precipitación sean insuficientes. La existencia de estas dos planificaciones contribuiría a garantizar la actividad de la planta siempre que fuese necesario.
Recursos económicos	¿Se dispone de suficientes recursos económicos o fuentes de financiación para hacer frente a los riesgos detectados? ¿Es posible explotar oportunidades de mercado derivadas de la adaptación?	Alta	Tanto Ferrovial, a través de la empresa Cadagua, a cargo de la gestión de la instalación, como la Mancomunidad de Canales del Taibilla, propietaria de la instalación, cuentan con los recursos para acometer medidas para hacer frente a los riesgos detectados.
Infraestructuras	¿Se dispone de las infraestructuras necesarias y suficientes para hacer frente a los riesgos identificados?	Alta	No se ha detectado la necesidad de unas infraestructuras diferentes a las ya existentes en la planta para hacer frente a los riesgos identificados, en especial tras la mejora de las parrillas de dosificación de CO ₂ llevada a cabo para evitar problemas de congelación ocasionales.

⁵ Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Plan Hidrológico Nacional. Confederación Hidrográfica del Júcar. Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar.

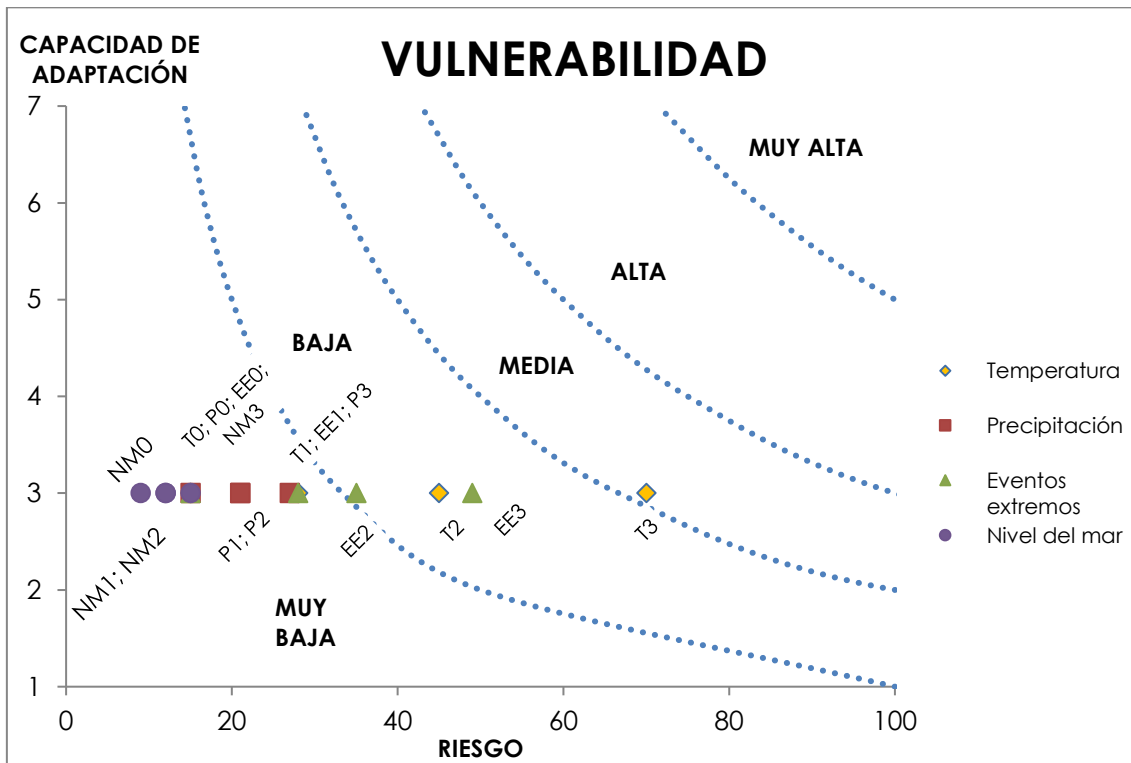
Variable	Cuestiones clave	Disponibilidad	Justificación
Información y conocimiento	¿La organización dispone de información sobre riesgos y/o oportunidades ligados al cambio climático? ¿Existen precedentes de actuación y metodologías al respecto? ¿Existen programas de entrenamiento al respecto? ¿Se dispone de información de estudios de caso? ¿Cuál es el grado de conocimiento e implicación por parte de la plantilla, los clientes y las comunidades del entorno?	Media	Existe en la planta conocimiento de la mayor parte de los efectos de la climatología en la actualidad sobre la actividad propia, muchos de los cuales tendrían una mayor ocurrencia debido al cambio climático. Por ello, se han mejorado las parrillas de dosificación de CO ₂ , para evitar los efectos de la congelación en las tuberías por las que circula.

En base a la información mostrada en la tabla anterior, la capacidad de adaptación resulta valorada como alta (CA3) para la planta desalinizadora. 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 planta, que se muestra en el gráfico siguiente.

Figura 5. Vulnerabilidad de la planta desalinizadora de los Canales del Taibilla 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 planta sería vulnerable principalmente al incremento de la temperatura. Así, la vulnerabilidad a este impacto 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.

La vulnerabilidad a los eventos meteorológicos extremos se situaría en la actualidad en un nivel muy bajo (nivel 1), terminando en un nivel bajo (nivel 2) en el último período del siglo XXI. En este caso sería necesario mantener un seguimiento al respecto, en especial por la posibilidad de daños físicos por grandes avenidas en zonas en las que la tubería de transporte de agua desalinizada a Elche cruce cauces de agua.

Por último, respecto al incremento del nivel del mar y el descenso de las precipitaciones, la vulnerabilidad a los mismos sería muy baja (nivel 1) en todos los períodos estudiados. La razón de estos bajos valores de vulnerabilidad son las escasas repercusiones de estos dos impactos en la actividad de la planta desalinizadora.

Debe llamarse la atención sobre el hecho de que el aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones podrían contribuir a aumentar la necesidad de diversificar las fuentes de recursos hídricos para el suministro a la agricultura y al consumo

humano en muchas regiones del mundo, abriéndose nuevas posibilidades para la difusión de las tecnologías de desalinización de agua de mar.

Al margen de lo anterior, debe tenerse en cuenta que el cambio climático puede afectar de manera indirecta a la actividad de la planta desalinizadora, a través de las repercusiones que éste pueda tener en el sector de la energía eléctrica y en el consumo de agua. Ello podría influir en el precio de la energía eléctrica para la planta, así como en el precio del agua para los usuarios.

En cuanto a la demanda de agua, debido a la disminución de las precipitaciones y al aumento de la temperatura, cabe esperar que se vaya haciendo paulatinamente mayor. En concreto, los análisis más recientes apuntan a un aumento en la demanda de agua de entre un 25 y un 30% para el 2050 en el conjunto del estado. Sin embargo, un aumento de la demanda de agua en el área de la planta desalinizadora implicaría un aumento en las horas de trabajo y en la producción de la misma, sin que ello reduzca su rendimiento económico.

No obstante, cabe destacar que el nivel de vulnerabilidad al cambio climático de la planta desalinizadora del Canal de Alicante en el último período del siglo XXI sería medio en el caso del aumento de la temperatura del agua, y bajo en el caso de los eventos meteorológicos extremos. Estos niveles de vulnerabilidad estarían relacionados con la posibilidad de daños físicos en cruces de cauces en la tubería de transporte de agua desalinizada a Elche, causados por grandes avenidas de agua debidas a precipitaciones torrenciales.

Por otra parte, y aunque en este caso concreto no se produce, en otras zonas puede darse el caso de un aumento de la incidencia de mareas rojas, causadas por el aumento de las temperaturas del agua. Esto redundaría en un aumento de la vulnerabilidad al cambio climático.

4. Definición de medidas de adaptación al cambio climático

El conocimiento de cómo afectará el cambio climático en las diferentes actividades económicas, supone el primer paso para la toma de decisión en materia de adaptación al cambio climático.

Una vez realizado el análisis de vulnerabilidad, el siguiente paso consiste en la identificación y definición de medidas que permitan reducir el riesgo climático o reforzar la capacidad de adaptación al mismo.

En este sentido, existen diferentes enfoques (Malik et al., 2010):

- ✓ Según la intención del agente, se suele hablar de adaptación autónoma (o espontánea) y adaptación planificada, siendo la segunda el resultado de un proceso deliberativo consciente basado en información histórica o futura.
- ✓ Según el periodo de tiempo en el que se lleva a cabo, puede diferenciarse entre adaptación anticipatoria o reactiva, según que la acción tenga lugar antes o después de la observación de los impactos.
- ✓ Según los agentes que llevan a cabo las acciones puede hablarse de adaptación privada, pública o mixta.
- ✓ Por último, según el horizonte temporal, puede diferenciarse entre adaptación a corto y a largo plazo.

Adicionalmente, son muy relevantes las categorías de adaptación rígida o flexible, según la magnitud y costes de las medidas, conceptos muy vinculados a la idea de adaptación "no regret". En este caso, se trata de priorizar aquellas medidas que resultan beneficiosas incluso en ausencia de cambio climático (Agrawala et al., 2011).

La aplicación de un tipo u otro de adaptación dependerá en gran medida de la situación de partida que presente la empresa. Inicialmente se deben considerar medidas estratégicas, proactivas y flexibles, que creen el marco para la actuación más concreta frente a cambios futuros. De esta forma, cuando los cambios se comienzan a producir, la línea de base de la organización habrá mejorado notablemente y estará en disposición de abordar medidas directas, con un enfoque más reactivo y, a menudo, rígido.

En algunos casos, además, las medidas de adaptación al cambio climático están muy relacionadas con las de gestión de riesgos, sobre todo en relación con eventos extremos, como inundaciones, por lo que suelen estar ya identificadas y previstas en los planes de gestión de riesgos de las organizaciones.

Para el caso concreto de la planta desalinizadora de agua de mar del Canal de Alicante, se han definido dos acciones principales. Ambas se centran en reducir las consecuencias mencionadas anteriormente y derivadas del incremento de la temperatura. **Un aumento de la temperatura podría implicar que se incrementase el permeado a través de las membranas. Al aumentar dicho permeado, la concentración de sales del agua resultante sería mayor, pudiendo darse el caso de que no se cumplan las concentraciones límite establecidas en la legislación pertinente. Las dos acciones que permiten corregir dicha situación son la adición de hidróxido sódico y el recambio de membranas.**

Por otra parte, aunque no es un riesgo de la zona donde está instalada la planta objeto de análisis, se ha analizado una tercera medida, dirigida a regular la materia orgánica presente en el agua, que puede verse aumentada por el incremento de la temperatura. En este caso, la medida consiste en incrementar los choques de hipoclorito sódico durante el proceso.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, aunque en este caso concreto no aplicaría, en otras zonas puede ser necesario la aplicación de otras tecnologías como el DAF⁶ para la prevención de episodios de mareas rojas. Esto conllevaría el consiguiente coste en el diseño, construcción y operación y mantenimiento de la planta. No se considera en este caso porque no son episodios que se den en el mar Mediterráneo.

A continuación se presenta una descripción de las tres medidas de adaptación comentadas para el caso de plantas desalinizadoras:

⁶ DAF: Dissolved Air Flotation. Fuente: IDAM Alicante.

Medida 1

Adición de hidróxido de sodio

Objetivo

Minimizar los efectos del incremento de temperatura del agua de cara a cumplir con la legislación vigente en cuanto a la calidad del agua suministrada.

El aumento de la temperatura del agua afecta perjudicialmente a la desalinización, ya que incrementa el flujo de sales a través de la membrana obteniendo un agua de peor calidad (mayor salinidad y con mayor contenido de boro), de ahí la importancia de regular el pH para reducir la concentración de boro del agua suministrada y poder cumplir con los parámetros químicos establecidos para el suministro.

Consideraciones preliminares

La dosificación del hidróxido de sodio dependerá siempre de los valores analíticos del agua. Estas adiciones se han de hacer considerando el pH, para lo que se ha de realizar una monitorización del mismo, de cara a garantizar que la dosificación de hidróxido de sodio es adecuada.

Descripción de la acción

El hidróxido de sodio se emplea para elevar el pH del agua de entrada a los bastidores de ósmosis inversa, con el objetivo de que parte del boro se transforme en boratos, los cuales son rechazados por las membranas de ósmosis. El boro es uno de los elementos químicos que es necesario controlar en el agua suministrada ya que su concentración ha de cumplir con los parámetros establecidos en la legislación vigente.

Medida 2

Recambio de membranas

Objetivo

Minimizar los efectos del incremento de temperatura del agua sobre la eficiencia del proceso de tratamiento.

Consideraciones preliminares

El recambio de membranas dependerá siempre de los valores analíticos del agua. Estas reposiciones se han de realizar considerando la cantidad de sales presente en el agua, para lo que se ha de llevar a cabo una monitorización de la concentración de las mismas.

Descripción de la acción

En caso de no dosificarse hidróxido sodio, como se ha comentado en la anterior medida, habría que realizar una reposición de aquellas membranas de mayor edad, ya que éstas no podrían producir un agua producto que cumpliera con los parámetros exigidos por la legislación vigente. Si no se procediera a esta reposición habría que dejar fuera de uso los bastidores que tuvieran estas membranas en la época estival con la consiguiente disminución de producción de agua.

Medida 3

Choques de hipoclorito de sodio

Objetivo

Minimizar los efectos del crecimiento bacteriano debido al incremento de temperatura del agua y proteger la integridad de los sistemas de tratamiento.

Consideraciones preliminares

La dosificación del hipoclorito sódico dependerá siempre de los valores analíticos del agua. Esta dosificación se realizará si se produce un aumento de la actividad biológica en el agua por el aumento de la temperatura, para lo que se ha de realizar una monitorización de la misma de cara a garantizar que la dosificación del hipoclorito de sodio es adecuada.

Descripción de la acción

Con el fin de reducir la actividad biológica del agua de mar por el aumento de la temperatura se realizarán choques de hipoclorito sódico en el inmisario de la desaladora.

La adición de hipoclorito de sodio cobra mayor importancia en la época estival, ya que aumenta la proliferación de materia orgánica, por lo que se trata de una medida que garantiza que no se den problemas en la operación de la planta. De esta forma se evitan problemas en las membranas y equipamiento empleado debido a la proliferación de microorganismos.

Tras la identificación y definición de las medidas de adaptación al cambio climático, es necesario establecer una priorización de las mismas dentro de la estrategia empresarial. Para ello, se debe realizar un análisis completo de las diferentes opciones identificadas, incluyendo una definición lo más completa posible y un estudio económico de las mismas.

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.

Para este caso concreto, las medidas no son excluyentes, sino que un aumento de la temperatura podría implicar la puesta en marcha de más de una a la vez. Por ello, aunque se han analizado los costes de forma independiente, los beneficios se han estudiado de forma conjunta, ya que para la venta del agua tratada podría ser probable que se implementase a la vez más de una medida.

Sobre esta base, se puede considerar la puesta en marcha de las acciones 1 y 2 por separado y, si fuera necesario, estas acciones complementarlas con la acción 3:

Medida 1: Dosificación de hidróxido de sodio.

Medida 2: Recambio de membranas.

Medida 3. Choques de hipoclorito de sodio.

5.1. Análisis coste-beneficio de las opciones

A continuación se especifica el análisis coste-beneficio (ACB) llevado a cabo.

ANÁLISIS ACB. VARIABLES A CONSIDERAR.

Análisis temporal (n). Para el conjunto de acciones definidas se debe definir un horizonte temporal sobre el que realizar el análisis. Las acciones de adaptación al cambio climático, como se ha comentado anteriormente, deberán tener un horizonte amplio, aunque su implementación se prevea inmediata, debido a que los horizontes sobre los que se realiza el análisis de vulnerabilidad suelen ser amplios.

Costes (C) efectivos en la aplicación de la medida, incluyendo tanto las inversiones iniciales como los costes de operación y mantenimiento asociados durante el período analizado. Los valores de los costes se aplican con el signo negativo.

Beneficios (B), considerados como las ganancias en términos monetarios que se obtienen con la puesta en marcha de la medida. En la mayoría de los casos, estas

ganancias son los costes derivados del cambio climático, que son evitados por la aplicación de la medida en cuestión (por lo tanto, serán los costes del cambio climático estimados respecto a la línea de base definida). En muchas ocasiones, estos costes pueden no incidir directamente o únicamente en la empresa y tener un enfoque más ambiental y/o social, viéndose beneficiados otros sectores relacionados (por ejemplo beneficios sobre la salud de las personas o sobre los recursos naturales).

Los valores de los beneficios se aplican con el signo positivo.

En este caso, es necesario incidir en la dificultad asociada a muchos sectores en el proceso de monetización de los beneficios ligados a las medidas que permiten una mejor adaptación al cambio climático, en el análisis de las opciones identificadas. Ello es debido a que la mayoría de los beneficios a cuantificar son beneficios esperados.

Tasa de descuento (i), utilizada para calcular el valor actual de las magnitudes anteriores.

La selección de la tasa de descuento a aplicar es uno de los aspectos que generan mayor controversia, debido a que los horizontes que se manejan en materia de adaptación al cambio climático le conceden una relevancia determinante. En este contexto, la tasa de descuento refleja principalmente el coste de oportunidad temporal de la inversión que se vaya a realizar.

A nivel social, se trata de una cuestión compleja, pero una buena práctica es realizar un análisis de sensibilidad, aplicando diversas tasas de descuento y valorando cómo afecta la variación a los resultados y conclusiones.

Periodo de tiempo (t), número de años para los que se esté realizando el estudio.

La aplicación del análisis ACB se basa en la siguiente ecuación:

$$[1] \quad ACB = \sum_{n=1}^N \frac{Bn - Cn}{(1+i)^n}$$

Para este caso concreto, se ha realizado el análisis coste-beneficio de las medidas tomando un horizonte temporal de 15 años, entre 2015 y 2030.

En todos los casos, para que la medida de adaptación sea necesaria se debe de producir el aumento de temperatura, de al menos 4°C⁷. Por lo tanto, a efectos de este estudio se asume esta condición de aplicabilidad, considerando que el aumento se produce desde el año 0 del análisis.

Como coste se ha estimado la inversión necesaria para cada caso. Para la estimación del beneficio resultante de aplicar las medidas, se ha considerado el beneficio derivado de la comercialización del agua tras implantar las acciones 1 o 2 (en torno a un 20% más de producción sobre el escenario continuista sin medidas, que supondría permanecer en una producción del 80%). En el Anexo I del documento se puede ver el detalle de las hipótesis y datos asumidos en cada medida.

En ambos casos, se puede implantar la tercera acción de forma complementaria a estas medidas. Ello supondría un mayor coste, como acción preventiva para mantener la integridad de la instalación, pero no se obtendría un beneficio mayor, ya que la productividad no se vería afectada.

La selección de la tasa de descuento se ha basado en los valores utilizados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y la Oficina Española de Cambio Climático en la valoración económica de las acciones consideradas en la Hoja de Ruta de los sectores difusos a 2020 para España⁸ (6%). Los resultados del análisis coste-beneficio son los siguientes:

Tabla 5: Análisis de las medidas de adaptación.

Fuente: elaboración propia a partir de información proporcionada por Ferrovial.

Casos	Coste total	Beneficio total	ACB	Ratio beneficio/coste
CASO 1. Adición de hidróxido de sodio	284.664 €	7.452.000 €	4.798.643 €	26,18
CASO 2. Recambio de membranas	1.932.000 €	7.452.000 €	3.632.091 €	3,86
CASO 3. Adición de hidróxido de sodio + Choques de hipoclorito de sodio	968.664 €	7.452.000 €	4.340.694 €	7,69

⁷ En la IDAM de Alicante el incremento de temperatura debería de ser de 4 °C para hacerse notar en las instalaciones. Fuente: IDAM Alicante.

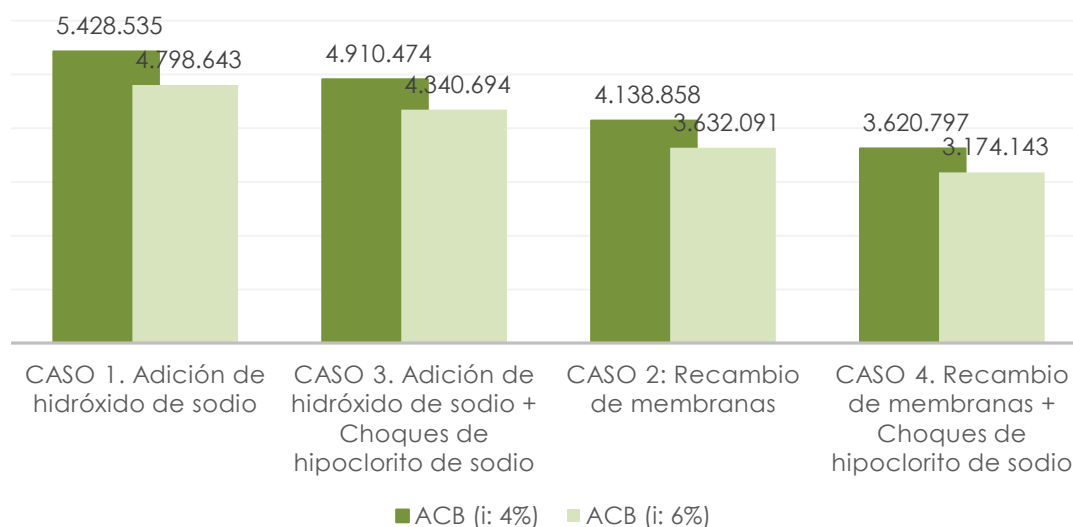
⁸ Hoja de Ruta de los sectores difusos, 2020. OECC, 2014. Donde se aplica una tasa del 6% para las inversiones privadas y otra del 4% para las inversiones públicas.

Casos	Coste total	Beneficio total	ACB	Ratio beneficio/coste
CASO 4. Recambio de membranas + Choques de hipoclorito de sodio	2.616.000 €	7.452.000 €	3.174.143 €	2,85

Para tener en cuenta la sensibilidad de los resultados a esta variable, se ha utilizado también la tasa del 4%, utilizada en el estudio ligado a la Hoja de Ruta de los sectores difusos a 2020 de España. Los resultados en ambos casos son similares, como puede observarse en la siguiente gráfica.

Figura 6. ACB de las medidas con distintas tasas de descuento (4% y 6%).

Fuente: elaboración propia.



En ambos casos, tienen un ratio de beneficio-coste superior a la unidad, por lo que la implantación de las medidas reportaría más beneficios que costes.

5.2. Análisis multicriterio

El análisis multicriterio ofrece la posibilidad de incluir en la toma de decisiones otras variables interesantes, además de las puramente económicas.

ANÁLISIS MCA. VARIABLES A CONSIDERAR⁹.

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.

Se evalúan las tres medidas en cada uno de los siguientes criterios, con un valor de 1 a 5, pero 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).

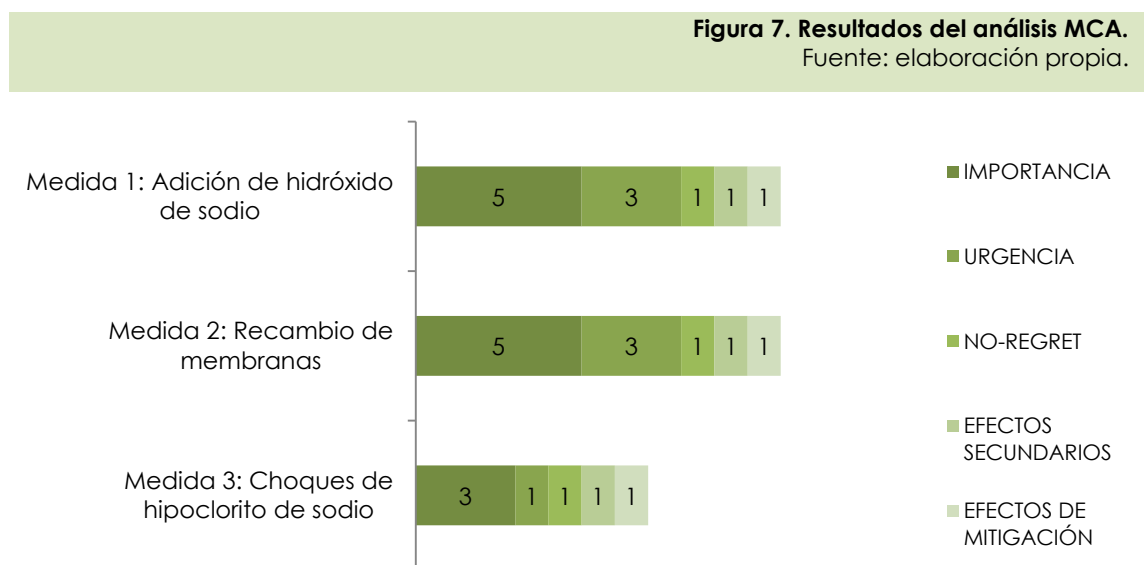
En este caso concreto, tal y como se ha comentado anteriormente, las dos primeras medidas son importantes en una planta desalinizadora, de cara a asegurar la calidad y parámetros del agua. En un escenario futuro en el que el aumento de la temperatura pueda ocasionar problemas asociados a variaciones en el pH o mayor permeabilidad de sales, el aumento de la adición de hidróxido de sodio y la reposición de membranas serán medidas que se tomen para paliar los efectos negativos de este incremento de la temperatura. Sin embargo, por sus características en el caso concreto de la planta del Canal de Alicante, es más difícil que se produzca la situación en la que sea necesario aumentar los choques de hipoclorito de sodio, por lo que esta medida sería menos importante y menos urgente para este caso en concreto.

Por otra parte, las tres medidas se desarrollarían sólo en el caso de que se produzca ese efecto en la temperatura y sus consecuencias, por lo que no se pueden considerar beneficiosas incluso en ausencia de calentamiento global.

⁹ Adaptado de varias fuentes: CMNUCC, 2010; Bruin, K. et al., 2009.

Por último, todas ellas carecen de efecto secundarios relevantes que sea necesario tener en cuenta y no contribuyen a la mitigación o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Con esta reflexión, los valores asignados a cada uno de los criterios se recogen en la figura siguiente.



Por lo tanto, según el MCA realizado, las Medida 1: Adición de hidróxido de sodio y Medida 2: Recambio de membranas tendrían la misma prioridad, en caso de producirse un aumento de la temperatura suficiente para causar las consecuencias ya comentadas.

Por detrás de ellas quedaría la Medida 3: Choques con hipoclorito de sodio, con una menor importancia y urgencia debido a las características propias de esta planta en concreto. Por lo tanto, esta medida podría adicionarse a las anteriores, como se ha presentado en el análisis anterior, pero no plantearla como única solución para este caso concreto.

6. Conclusiones

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.

Las tres medidas propuestas, son medidas de implementación inmediata en el caso de darse un aumento de la temperatura. En todos los casos, las inversiones necesarias se recuperan y la no-aplicación de las mismas no es un escenario que se pueda contemplar, si se quiere continuar con la actividad. Analizando los resultados comparativamente, teniendo en cuenta que el análisis MCA no aporta diferencias, el análisis económico revela que los casos 1 y 3, de aplicación de la Medida 1 (Adición de hidróxido de sodio) sola o junto con la Medida 3 (Choques de hipoclorito de sodio), tiene mejores resultados, aportando mayores beneficios por su menor coste asociado.

De forma particular, la aplicación de la Medida 3 (Choques de hipoclorito de sodio), sería una medida a contemplar junto con las dos mencionadas anteriormente, en el caso de que se produjese también el aumento de contenido orgánico del agua, como consecuencia del incremento de la temperatura. En el caso concreto de la planta del Canal de Alicante, quedaría por detrás, ya que no es un impacto que vaya a darse.

Es fundamental la concienciación dentro del sector privado sobre los riesgos asociados al cambio climático, así como dar a conocer las opciones de adaptación. Esta práctica puede ayudar a generar confianza entre los inversores, al mostrar cómo los riesgos del cambio climático pueden ser gestionados.

Además de lo anterior, se recomienda que la planificación estratégica general a nivel de empresa incluya una 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.

En este sentido, la aplicación de un análisis como el que se ha mostrado en este caso puede apoyar en la toma de decisiones, sobre todo cuando las opciones de adaptación sean excluyentes o no necesarias al mismo tiempo. Por ello, la estandarización de esta metodología para su aplicación en cualquier tipología de

proyecto o actuación que vaya a llevar a cabo la empresa y pueda verse afectada por el cambio climático, puede resultar de apoyo en el proceso.

La estandarización de una metodología como esta para el conjunto de actividades de una organización debe pasar por:

1. **Identificar los riesgos climáticos ligados al proyecto o actividad en cuestión, tanto en el corto, como en el medio y largo plazo**, en base a la mejor información climática existente para la zona donde se lleva a cabo la actividad. Este primer punto está muy relacionado con la metodología de análisis de vulnerabilidad aplicada en primer término al caso piloto.

Para ello, puede elaborarse un formulario, similar al que se aplicó a la planta del Canal de Alicante, que pueda ser integrado en el proceso de análisis de nuevos proyectos o actividades, para recoger y analizar la información relacionada con los impactos climáticos.

2. **Identificar y definir las opciones de adaptación a los riesgos climáticos**, en base al conocimiento de los técnicos de la propia organización, así como la consulta a expertos y la búsqueda en bibliografía especializada. En el ámbito privado, y como se ha visto en el ejemplo presentado en este documento, a menudo las opciones de adaptación al cambio climático están ya identificadas, aunque no se hayan producido todavía los riesgos climáticos.
3. **Analizar las diferentes opciones a través de un análisis coste-beneficio, coste-eficiencia o multicriterio**, en base al árbol de decisión presentado en la figura 3 del presente documento.
4. **Priorizar las opciones**, en base a los resultados obtenidos y establecer el calendario de actuaciones.

Por último, respecto al estudio piloto aplicado sobre la planta desalinizadora, 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 (como, por ejemplo, la mejora de las parrillas de dosificación de CO₂ o la adición de sosa para desplazar el equilibrio del boro a boratos antes del paso del agua por las

membranas) y monitorizar los costes y resultados de dichas prácticas, contrastándolos con datos de la climatología de cada año.

- Realizar estudios de funcionamiento de la planta desalinizadora en caso de que se supere la temperatura máxima del rango de diseño. Evaluar las posibles consecuencias y proponer las modificaciones necesarias para evitarlas.
- Promover la investigación sobre las implicaciones del cambio climático para la actividad de las plantas desalinizadoras. En este sentido, y por tratarse de una cuestión que afecta al suministro de agua a muchas poblaciones en España, se aconseja una estrecha colaboración público-privada como vía para desarrollar un mayor conocimiento al respecto.
- Monitorizar incidencias climáticas en la actividad de la planta y en los servicios que presta.
- 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.

7. Principales referencias

- AEMET (2009). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España.
- Agrawala, S. and Fankhauser, S. (2008). Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. COSTS, BENEFITS AND POLICY INSTRUMENTS.
- Agrawala, S. et al. (2011), "Private Sector Engagement in Adaptation to Climate Change: Approaches to Managing Climate Risks", OECD Environment Working Papers, No. 39, OECD Publishing.
- Australian Greenhouse Office (2006). Climate Change Impacts and Risk Management: A Guide for Business and Government. Preparado por el Australian Greenhouse Office Broadleaf Capital International and Marsden Jacob Associates, 73 pp.
- Banco Mundial (2010). Economics of adaptation to climate change - Synthesis report.
- Banco Mundial (2010). The Costs to Developing Countries of Adapting to Climate Change. *New Methods and Estimates*. Washington, D.C.: The World Bank Group.
- Banco Mundial (2010). The Cost to Developing Countries to Adapt to Climate Change.
- Bruin, K. et al. (2009). Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives.
- Canadian National Roundtable on the Environment and the Economy (2012). Climate Prosperity. Advisory Report.
- Caron, D., et al. (2009). Harmful algae and their potential impacts on desalination operations off southern California.
- Chillón Arias, M.F. (2009). Reducción de boro en aguas procedentes de la desalación.
- Comisión Europea (2007). 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.

- Comisión Europea (2009). Libro blanco. Adaptación al cambio climático: hacia un marco europeo de actuación.
- Comisión Europea (2012). Impacts of Climate Change on Transport: a focus on road and rail transport infrastructures.
- Comisión Europea (2013). Guidelines on developing adaptation strategies.
- Comisión Europea (2013). Comunicación de la Comisión "Adapting infrastructure to climate change", complementaria a la Estrategia Europea de adaptación al cambio climático.
- CMNUCC (2010). Costes y beneficios de las opciones de adaptación: Una revisión de la literatura existente Informe técnico.
- ECA Working Group (2009). Shaping Climate-Resilient Development: A Framework for Decision-Making. A Report of Economics of Climate Adaptation (ECA) Working Group.
- GEF, UNEP (2012). Accessing international funding for Climate Change Adaptation. 2012.
- GIZ (2013). Economic approaches for assessing climate change adaptation options under uncertainty. Excel tools for Cost-Benefit and Multi-Criteria Analysis.
- IPCC (2007). Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007). 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.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- Lavell, A. M. *et al.* (2012). 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).*
- Leichenko, R., Major, DC., Johnson, K., Patrick, L., and O'Grady, M. (2011). An economic analysis of climate change impacts and adaptations in New York State.
- Malik A., Qin X. and Smith, S.C. (2010). *Autonomous Adaptation to Climate Change: A Literature Review.*
- Mendelsohn, R. (2000). *Efficient adaptation to climate change.* Yale School of Forestry and Environmental Studies.
- *Metroeconomica* (2004). *Costing the impacts of climate change in the UK: Overview of guidelines.* Oxford: UKCIP. Technical Report.
- Mintzberg, H. *et al.* (1976). *The Structure of Unstructured Decision Process.* *Administrative Science Quarterly.* Vol 21, p. 246-275.
- OECC (2006). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.*
- OECC (2006). *Primer Programa de Trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.*
- OECC (2009). *Segundo Programa de Trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.*
- OECC (2008). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, WP 2.*
- OECC (2014). *Hoja de Ruta de los sectores difusos a 2020.*
- 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. (2007) *Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change.* *Climate Change.*
- Van Beukering, P., Brander, L., Tompkins, E. and McKenzie, E. (2007). *Valuing the Environment in Small Islands - An Environmental Economics Toolkit.*
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (1997). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability.*

Anexo I: Datos para el análisis coste-beneficio de las medidas

Referencia de la medida Adición de hidróxido de sodio

DATOS AUXILIARES

Coste NaOH (€/kg)	0,24	Cadagua	Capacidad agua de mar (real) (m ³ /día)	127.800,00	Cadagua
Consumo adicional NaOH (kg/año)	74.131	Cadagua	Precio agua (€/m ³)	0,45	Se asume precio inferior, en base a datos suministrados por Cadagua (0,45-0,60 €/m ³).
Capacidad agua desalada (real) (m ³ /día)	57.500,00	Cadagua	Días de producción de agua adicional por implementación de medida (verano)	90,00	Cadagua
Consumo de agua adicional durante los días de verano con respecto al escenario del 80% de producción (%)	20%	Cadagua			

Referencia de la medida Recambio de membranas

DATOS AUXILIARES

Bastidores sobre los que se va a realizar el reemplazo de membranas	2	Cadagua. Suponiendo que se van a reemplazar el 20% de las membranas	Capacidad agua de mar (real) (m ³ /día)	127.800,00	Cadagua
Tubos por bastidor	92	Cadagua	Precio agua (€/m ³)	0,45	Se asume precio inferior, en base a datos suministrados por Cadagua (0,45-0,60 €/m ³).
Membranas por tubo (total de membranas a reemplazar que corresponden al 20% del total)	7	Cadagua	Coste de cada membrana (€)	500	Cadagua
Capacidad agua desalada (real) (m ³ /día)	57.500,00	Cadagua	Días de producción de agua adicional por implementación de medida (verano)	90,00	Cadagua
Consumo de agua adicional durante los días de verano con respecto al escenario del 80% de producción (%)	20%	Cadagua			

Referencia de la medida

Choques de hipoclorito de sodio

DATOS AUXILIARES

Coste hipoclorito sódico (€/día)	475	Cadagua
----------------------------------	-----	---------

Capacidad agua de mar (real) (m3/día)	127.800,00	Cadagua
---------------------------------------	------------	---------

Choques adicionales diarios	1	Cadagua
-----------------------------	---	---------

Capacidad agua desalada (real) (m3/día)	57.500,00	Cadagua
---	-----------	---------

Días de producción de agua adicional por implementación de medida (verano)	90,00	Cadagua
--	-------	---------

Anexo II: Análisis coste-beneficio

CASO 1.

Adición de hidróxido de sodio

CÁLCULOS ECONÓMICOS

Coste/ beneficio	Concept	2015 0	2016 1	2017 2	2018 3	2019 4	2020 5	2021 6	2022 7	2023 8	2024 9	2025 10	2026 11	2027 12	2028 13	2029 14	2030 15
Costes	Coste NaOH	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €
	Coste neto	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €
Beneficios	Agua adicional suministrada por implementación de la medida	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Beneficio neto	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Flujo de caja neto	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €	447.958,51 €
	Flujo de caja acumulado	447.958,51 €	895.917,02 €	1.343.875,54 €	1.791.834,05 €	2.239.792,56 €	2.687.751,07 €	3.135.709,58 €	3.583.668,10 €	4.031.626,61 €	4.479.585,12 €	4.927.543,63 €	5.375.502,14 €	5.823.460,66 €	6.271.419,17 €	6.719.377,68 €	7.167.336,19 €
	ACB		4.798.643,12 €														

Coste neto descontado 215.604,14 €
Beneficio neto descontado 5.644.138,95 €

CASO 2.

Recambio de membranas

CÁLCULOS ECONÓMICOS

Coste/ beneficio	Concept	2015 0	2016 1	2017 2	2018 3	2019 4	2020 5	2021 6	2022 7	2023 8	2024 9	2025 10	2026 11	2027 12	2028 13	2029 14	2030 15
Costes	Membranas modificadas	644.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	644.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	644.000,00 €
	Coste neto	644.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	644.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	644.000,00 €
Beneficios	Agua adicional suministrada por implementación de la medida	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Beneficio neto	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Flujo de caja neto	- 178.250,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	- 178.250,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	- 178.250,00 €	465.750,00 €
	Flujo de caja acumulado	- 178.250,00 €	287.500,00 €	753.250,00 €	1.219.000,00 €	1.684.750,00 €	2.150.500,00 €	2.616.250,00 €	2.438.000,00 €	2.903.750,00 €	3.369.500,00 €	3.835.250,00 €	4.301.000,00 €	4.766.750,00 €	5.232.500,00 €	5.054.250,00 €	5.520.000,00 €
	ACB		3.632.091,36 €														

Coste neto descontado 1.505.281,03 €
Beneficio neto descontado 4.641.138,92 €

CASO 3

Adición de hidróxido de sodio y choques de hipoclorito de sodio

CÁLCULOS ECONÓMICOS

Coste/ beneficio	Concept	2015 0	2016 1	2017 2	2018 3	2019 4	2020 5	2021 6	2022 7	2023 8	2024 9	2025 10	2026 11	2027 12	2028 13	2029 14	2030 15
Costes	Coste NaOH	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €	17.791,49 €
	Choques hipoclorito sódico	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €
	Coste neto	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €	60.541,49 €
Beneficios	Agua adicional suministrada por implementación de la medida	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Beneficio neto	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Flujo de caja neto	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €	405.208,51 €
	Flujo de caja acumulado	405.208,51 €	810.417,02 €	1.215.625,54 €	1.620.834,05 €	2.026.042,56 €	2.431.251,07 €	2.836.459,58 €	3.241.668,10 €	3.646.876,61 €	4.052.085,12 €	4.457.293,63 €	4.862.502,14 €	5.267.710,66 €	5.672.919,17 €	6.078.127,68 €	6.483.336,19 €
	ACB		4.340.694,47 €														

Coste neto descontado 648.535,49 €
Beneficio neto descontado 12.111.111,11 €

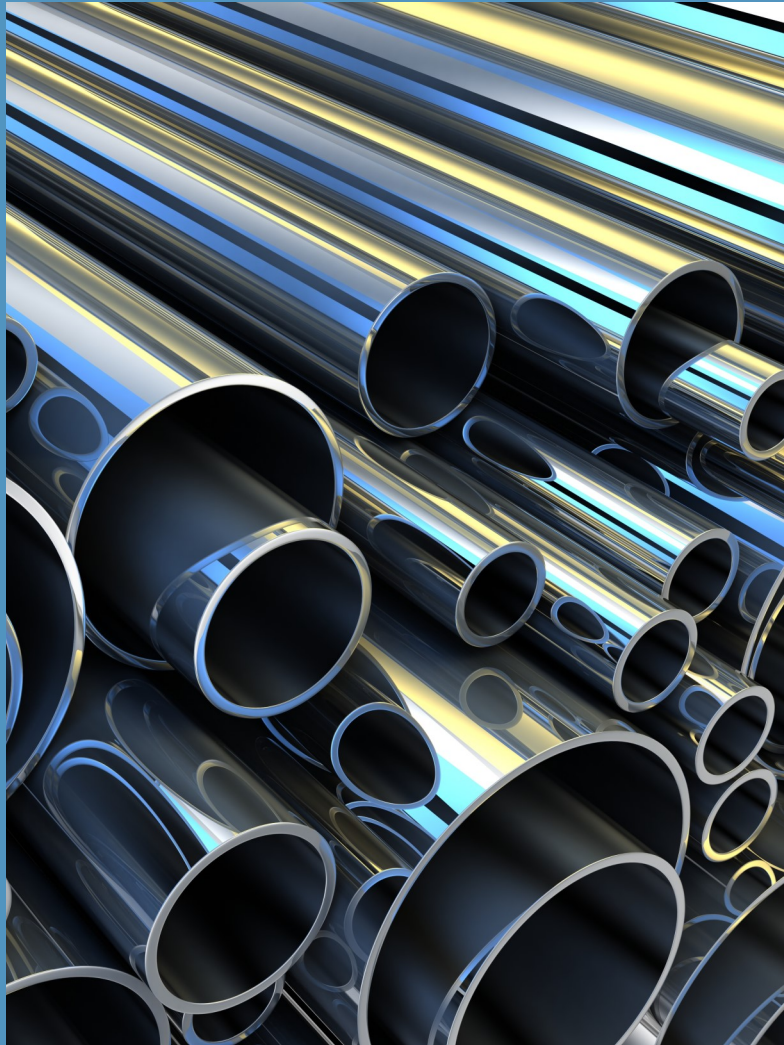
CASO 4.

Recambio de membranas y choques de hipoclorito de sodio

CÁLCULOS ECONÓMICOS

Coste/ beneficio	Concept	2015 0	2016 1	2017 2	2018 3	2019 4	2020 5	2021 6	2022 7	2023 8	2024 9	2025 10	2026 11	2027 12	2028 13	2029 14	2030 15
Costes	Membranas modificadas	644.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	644.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	644.000,00 €
	Choques hipoclorito sódico	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €
	Coste neto	686.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	686.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	42.750,00 €	686.750,00 €
Beneficios	Agua adicional suministrada por implementación de la medida	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Beneficio neto	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €	465.750,00 €
	Flujo de caja neto	- 221.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	- 221.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	423.000,00 €	- 221.000,00 €	423.000,00 €
	Flujo de caja acumulado	- 221.000,00 €	202.000,00 €	625.000,00 €	1.048.000,00 €	1.471.000,00 €	1.894.000,00 €	2.317.000,00 €	2.096.000,00 €	2.519.000,00 €	2.942.000,00 €	3.365.000,00 €	3.788.000,00 €	4.211.000,00 €	4.634.000,00 €	4.413.000,00 €	4.836.000,00 €
	ACB		3.174.142,72 €														

Coste neto descontado 2.023.342,09 €
Beneficio neto descontado 4.641.138,92 €



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE