



*Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos, Canales
y Puertos.*

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Medidas de adaptación al cambio climático en la costa: catalogo y metodología de evaluación y selección

Trabajo realizado por:

LENORMAND Yann

Dirigido:

TORRES ORTEGA Saúl

Titulación:

**Máster Universitario
en Costas y Puertos**

Santander, agosto de 2022

TRABAJO FINAL DE MASTER



Medidas de adaptación al cambio climático en la costa: catalogo y metodología de evaluación y selección

Autor: Lenormand Yann

Directoras: TORRES ORTEGA Saúl

Convocatoria: septiembre 2022

Palabras clave: cambio climático, adaptación, costa, medidas, evaluación, selección

RESUMEN

Las consecuencias del cambio climático ya son visibles. Las dos estrategias principales para hacerles frente son la mitigación y la adaptación. En este contexto, el IPCC y muchos países han desarrollado estrategias globales de adaptación. Sin embargo, la adaptación es en muchos casos un proceso local, por lo que hay que establecer un vínculo entre estas estrategias globales y la aplicación local. Este trabajo de fin de máster pretende establecer estos vínculos para la adaptación al cambio climático en las costas. En efecto, el aumento del nivel del mar, las tormentas más frecuentes y violentas tendrán consecuencias como el avance de la línea de costa, la erosión y las inundaciones, lo que hace del litoral un territorio privilegiado para la adaptación.

En concreto, la adaptación en la costa se lleva a cabo a través de una medida, una acción que puede adoptar formas muy diferentes. Sin embargo, el proceso de adaptación no sólo incluye la aplicación aleatoria de una medida. De hecho, la adaptación comienza con un estudio detallado de los problemas de un territorio para evaluar las amenazas y las áreas sensibles. A continuación, para responder a estas amenazas de la mejor manera posible, una evaluación de las posibles medidas debería permitir la selección de las más adecuadas. Sin embargo, la selección teórica no es suficiente, sino que va acompañada de una validación de los agentes públicos, así como de un seguimiento y, a veces, de una evaluación a posteriori. Este trabajo trata de seguir este proceso de adaptación en la costa mediante una metodología concreta de clasificación, evaluación, selección, validación y seguimiento. De este modo, toma el relevo de muchos estudios de evaluación de amenazas y riesgos en la costa, pero no presentará ninguno de ellos.

Cada una de las medidas de adaptación costera conocidas se ha clasificado según su enfoque estratégico, la amenaza a la que responde y su categoría, con el fin de proporcionar una herramienta sencilla y rápida para la primera visualización de las opciones. Las diferentes estrategias de aproximación que se analizan aquí son las opciones de protección, alojamiento, retroceso o explotación. Las categorías indican de forma simplificada el carácter de



la opción, puede ser gris, verde o blanda. Por último, las amenazas consideradas son las inundaciones costeras, la erosión costera, los vientos fuertes, las inundaciones fluviales y las condiciones meteorológicas extremas. Este catálogo también proporciona la documentación de cada medida, así como la información necesaria para comprenderlas y evaluarlas.

La fase de evaluación de las medidas se lleva a cabo mediante herramientas de evaluación. Este estudio presenta cinco de estas herramientas: el análisis coste-beneficio (ACB), el análisis coste-eficacia (ACE), el análisis multicriterio (AMC), la toma de decisiones robusta (RDM), la gestión adaptativa (GA). Se detallan sus ventajas e inconvenientes, así como su metodología de aplicación. Después de comparar estas herramientas, se propone un árbol de decisiones para ayudar a seleccionar la herramienta más adecuada en función de la especificidad del caso de estudio. Una vez seleccionada la herramienta, se pueden evaluar y clasificar las medidas y seleccionarlas. Para completar esta metodología, este estudio propone un proceso de validación por parte de los funcionarios públicos y de seguimiento.

Para ilustrar esta metodología, se presenta un estudio de adaptación al cambio climático en la costa en Suances un municipio de Cantabria, en el norte de España.

Climate change adaptation measures on the coast: catalog and methodology for evaluation and selection.

Author: LENORMAND Yann

Directors: TORRES ORTEGA Saúl

Call: September 2020

Keywords: climate change, adaptation, coastal, measures, evaluation, selection

ABSTRACT

The consequences of climate change are already visible. The two main strategies to cope with them are mitigation and adaptation. In this context, the IPCC and many countries have developed global adaptation strategies. However, adaptation is in many cases a local process, so a link must be established between these global strategies and local implementation. This Master's thesis aims to establish these links for adaptation to climate change on the coasts. Indeed, the sea level rise and more frequent and violent storms will have consequences such as the advancement of the coastline, erosion, and flooding, making the coast a privileged territory for adaptation.

Concretely, adaptation takes place through a measure, an action that can take many different forms. However, the adaptation process does not only involve the random application of a measure. In fact, adaptation starts with a detailed study of the problems of a territory to assess the Hazard and sensitive areas. Then, in order to respond to these hazards in the best possible way, an assessment of possible measures should allow the selection of the most appropriate ones. However, theoretical selection is not enough, but must be accompanied by validation by stakeholders, monitoring and sometimes ex-post evaluation. This work attempts to follow this adaptation process by means of a concrete methodology of classification, evaluation, selection, validation, and monitoring.

Each of the known coastal adaptation measures has been classified according to its strategic approach, the hazard to which it responds and its category, in order to provide a simple and quick tool for the first visualization of the options. The different approach strategies discussed here are the options of protection, accommodation, retreat, or exploitation. The



categories indicate in simplified form the nature of the option, either grey, green or soft. Finally, the hazards considered are coastal flooding, coastal erosion, high winds, river flooding and extreme temperature. This catalogue also provides the documentation of each measure, as well as the information necessary to understand and evaluate them.

The assessment phase of the measures is carried out using assessment tools. This study presents seven of these tools: cost-benefit analysis (CBA), cost-effectiveness analysis (CEA), multi-criteria analysis (MCA), robust decision making (RDM), adaptive management (AM), effectiveness evaluation (EE) and real options analysis (ROA). Their advantages and disadvantages are detailed, as well as their application methodology. After comparing these tools, a decision tree is proposed to help select the most appropriate tool according to the specificity of the case study. Once the tool has been selected, the measures can be evaluated, ranked, and selected. To complete this methodology, this study proposes a process of validation by stakeholders and monitoring

To illustrate this methodology, a study of adaptation to climate change in Suances a municipality in Cantabria, northern Spain, is presented.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	8
2. Catálogo de medidas de adaptación en la costa	11
2.1. Definición	11
2.2. Metodología de clasificación	11
2.2.1. Impactos del cambio climático en la costa	11
2.2.2. Enfoque estratégico	12
2.2.3. Categorías	14
2.2.4. Descripción e informaciones	15
2.2.5. Fichas de medidas de adaptación al cambio climático	16
2.3. Catálogo condensado	18
3. Evaluación y selección de las medidas	21
3.1. Herramientas de evaluación	22
3.2. Selección de la herramienta	25
3.3. Validación por los agentes sociales	25
3.4 Seguimiento	26
4. Aplicación de un caso de referencia	27
4.1. Descripción y problemática	27
4.1.1. Localizaciones geográficas	27
4.1.2. Características de la zona de estudio	28
4.1.3. Descripción del impacto del cambio climático en la zona de estudio.	28
4.2. Aplicación de la metodología de evaluación selección	31
4.2.1. Identificación de las medidas en el catalogo	31
4.2.2. Elección de la herramienta de evaluación	32
4.2.3. Aplicación del análisis coste-beneficio	32
5. Conclusión	36
Bibliografía	37
Anexo I: Fichas descriptivas de cada herramienta de evolución y la metodología asociada	39
Anexo II: Catálogo de fichas de las medidas de adaptación al cambio climático en la costa.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Marco conceptual del riesgo climático.</i>	8
<i>Figura 2: Posibles estrategias para reducir los riesgos del cambio climático</i>	9
<i>Figura 3: Metodología general de adaptación</i>	10
<i>Figura 4: Amenaza para la costa por el cambio climático</i>	12
<i>Figura 5: Enfoque estratégico de las medidas de adaptación al cambio climático.</i>	13
<i>Figura 6: Fichas modelo para el catálogo de medidas de adaptación al cambio climático</i>	17
<i>Figura 7: Metodología de evaluación y selección de medidas</i>	21
<i>Figura 8: Árbol de decisión para la elección de herramientas de evaluación</i>	25
<i>Figura 9: Ubicación de Suances, la zona de estudio.</i>	27
<i>Figura 10: Mapa de inundación horizonte 2050, Tr=100 años- Escenario RCP 4.5 (arriba) y RCP 8.5 (abajo)</i>	29
<i>Figura 11: Mapa de inundación horizonte 2100, Tr=100 años- Escenario RCP 4.5 (arriba) y RCP 8.5 (abajo)</i>	30

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Categoría, subcategoría y categoría simplificada de las medidas de adaptación.</i>	15
<i>Tabla 2: Umbrales de la escala cualitativa del tiempo de implementación y vida útil</i>	16
<i>Tabla 3: Catálogo condensado de medidas de adaptación al cambio climático en la costa.</i>	20
<i>Tabla 4: Descripción, ventajas, inconveniente y casos de uso de las herramientas de evaluación disponibles</i>	24
<i>Tabla 5: Daños en edificios por una inundación TR=100 años en el horizonte 2050</i>	34
<i>Tabla 6: Daños en edificios por una inundación TR=100 años en el horizonte 2050</i>	34

1. Introducción

El cambio climático, cuyas consecuencias ya son visibles (IPCC, 2022) representa un riesgo para los sistemas humanos y naturales. Para gestionar estos cambios rápidos sin precedentes, el estudio de este riesgo es esencial. El riesgo puede definirse como el impacto que una amenaza puede tener en un sistema. Depende de tres elementos, la peligrosidad de la amenaza, la exposición del sistema a esta amenaza y, por último, la vulnerabilidad del sistema a esta amenaza (figura 1).

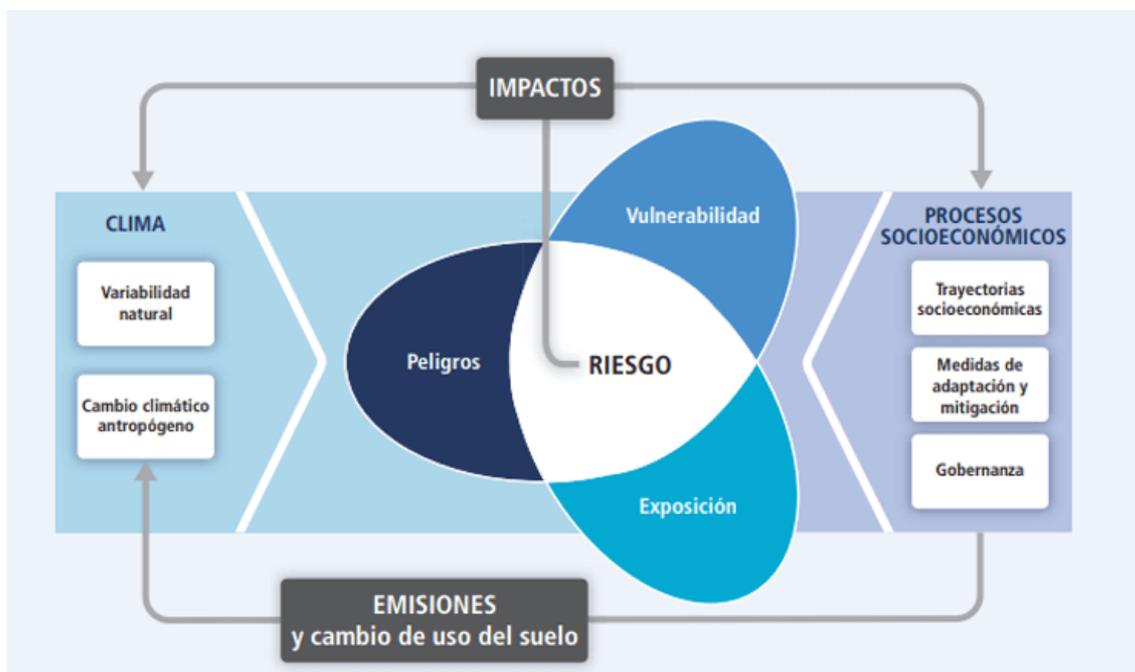


Figura 1: Marco conceptual del riesgo climático.

Fuente: IPCC (2014). Quinto Informe de Evaluación. Grupo II. Resumen para responsables de políticas: Fig.1

Para reducir este riesgo se adoptan dos estrategias principales: la mitigación, por un lado, actuando sobre las actividades humanas que promueven el cambio climático para limitar su alcance y así reducir o retrasar la peligrosidad de la amenaza, y la adaptación, por otro lado, que pretende reducir la vulnerabilidad o exposición de los sistemas (figura 2).



Figura 2: Posibles estrategias para reducir los riesgos del cambio climático

Fuente: Ministerio para la transición ecológica y el reto demografía de España

Una zona especialmente expuesta al cambio climático (IPCC, 2022) es el litoral. Con una población estimada 3.800 millones (Insee, 2020) y la concentración de la mayor parte de la actividad económica, el litoral es una zona a la que hay que adaptarse muy rápidamente, sobre todo en los países de alto riesgo (Insee, 2020).

Sin embargo, la adaptación al cambio climático, sobre todo en el litoral, no debe hacerse de forma precipitada, con el riesgo de acabar con una "mala adaptación". El IPCC, como las estrategias nacionales, aboga por una adaptación denominada "cero arrepentimientos". Así, para combinar la rápida adaptación que requieren ciertos lugares de alto riesgo con una adaptación efectiva, es necesario proponer guías o herramientas que ayuden a la decisión y a la aplicación de las medidas de adaptación. Esto es lo que propone (Perú, 2021), (Europea, 2017) (Bridges, 2021). El objetivo es proponer una serie de medidas de adaptación en la costa, clasificadas y organizadas, así que una metodología para evaluarlas y seleccionarlas.



Figura 3: Metodología general de adaptación

Las medidas de adaptación en la costa se aplican en su mayoría en entornos socioeconómicos y medioambientales complejos ya existentes. Por lo tanto, su evaluación puede depender de un gran número de criterios. Ya se conocen numerosos métodos de evaluación (Ierland, 2017), (Judy Lawrence, 2018) especialmente en el ámbito financiero y empresarial. Por lo tanto, es necesario recopilar y comprender las herramientas de evaluación y aplicarlas a las medidas de adaptación al cambio climático en la costa de antemano, por lo que es necesario referenciar las medidas existentes y categorizarlas para actuar rápidamente con los datos disponibles.

Así es como se organizará el trabajo:

1. La primera tarea es catalogar, clasificar y organizar las medidas de adaptación al cambio climático en la costa.
2. El siguiente paso es enumerar las herramientas de evaluación existentes y desarrollar una metodología para seleccionar la herramienta adecuada. Una vez seleccionada esta herramienta, se detallan los principales pasos de su proceso de evaluación para aprender a clasificar las medidas con el fin de seccionarlas.
3. Por último, se presentará un ejemplo de aplicación de esta metodología. El pueblo de Suances, en la costa cantábrica.



2. Catálogo de medidas de adaptación en la costa

2.1. Definición

La adaptación es una de las respuestas a los riesgos del cambio climático. Se trata de reducir la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales a las amenazas climáticas. Según el VI informe del IPCC (IPCC, 2022), la adaptación en los *sistemas humanos* es el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas y en los sistemas naturales es el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos.

El cambio climático es un fenómeno global con consecuencias localizadas que ya está provocando grandes trastornos en todos los ámbitos de la sociedad. Para responder a esta gran variedad de amenazas, que van acompañadas de una considerable incertidumbre, la adaptación debe ser también un proceso que combine medidas globales y locales y debe integrarse en cada nueva decisión

En concreto, la adaptación se lleva a cabo a través de una medida, una acción que puede adoptar formas muy diferentes.

2.2. Metodología de clasificación

Se ha determinado la importancia y el papel de las medidas de adaptación en la gestión del riesgo climático. Sin embargo, estas medidas son muy diversas, dependiendo de las amenazas que abordan, del enfoque adaptativo adoptado y de su naturaleza. Por lo tanto, para dar una respuesta rápida y organizada a los problemas costeros, es necesario clasificar estas medidas según estos criterios. De hecho, el nombre o la denominación de una medida es a veces ambigua y no permite identificarla. Por ello, el catálogo propuesto asocia a cada medida atributos de clasificación que permiten identificarlos además de sus nombres, es decir, la amenazas, el enfoque y la categoría, y atributos informativos que permitirán proporcionar la información necesaria para una evaluación posterior.

2.2.1. Impactos del cambio climático en la costa

En el proceso de gestión de riesgos, la adaptación no evita ni mitiga la peligrosidad de una amenaza, sino que reduce la vulnerabilidad (y/o la exposición) de un sistema a esa amenaza. Las medidas de adaptación son, por tanto, una respuesta a una o varias amenazas y no se aplican de forma aleatoria, sino que deben ser aplicables a una escala a veces local, con amenazas muy concretas.

En el caso de los riesgos costeros del cambio climático, las amenazas se han determinado a partir de las previsiones de cambio climático del IPCC. La figura 4 muestra la relación entre los cambios climáticos y las amenazas a los sistemas costeros. Las temperaturas extremas y las inundaciones fluviales no son amenazas específicas para la costa, pero se incluyen aquí por el efecto acumulativo que pueden tener. Además, una medida beneficiosa para una amenaza puede ser problemática para otra, por lo que es importante tener en cuenta todas las amenazas que pueden afectar al sistema.

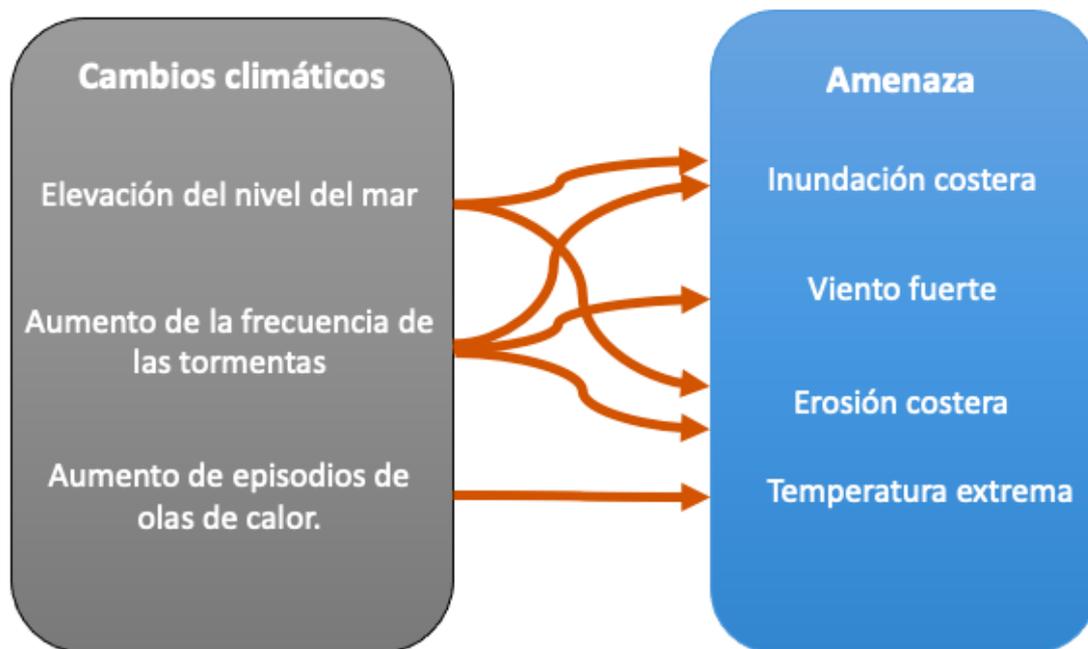


Figura 4: Amenaza para la costa por el cambio climático

2.2.2. Enfoque estratégico

Una vez identificada la amenaza, la adaptación puede seguir diferentes enfoques estratégicos, es decir, diferentes filosofías de adaptación. En efecto, la adaptación puede significar actuar sobre la exposición (huir o protegerse de la amenaza) o sobre la vulnerabilidad (acostumbrarse o luchar contra la amenaza). En este sentido, los planteamientos de las estrategias internacionales (EEAAC) o los informes del IPCC suelen coincidir en tres enfoques principales:

- De Protección

Las opciones de protección se definen como aquellas cuyo objetivo final es proteger las zonas de riesgo tratando de evitar los impactos de las inundaciones, la erosión, etc. reduciendo el peligro y/o especialmente la exposición.



- De acomodación

Las opciones de acomodación son aquellas que, manteniendo los elementos de riesgo potencial en las zonas afectadas, dan prioridad a la reducción de su vulnerabilidad mediante el cambio de uso del suelo, la introducción de regulaciones específicas para las infraestructuras y las viviendas o la adopción de medidas para aumentar la preparación de los elementos afectados ante posibles impactos.

- De retroceso:

Las opciones de retirada se basan en el abandono planificado de las zonas que pueden verse afectadas por los impactos.

Otro enfoque que a veces se propone es⁵:

- De explotación o ataque:

Se trata de opciones que se adaptan a la amenaza y que aprovechan las nuevas infraestructuras.

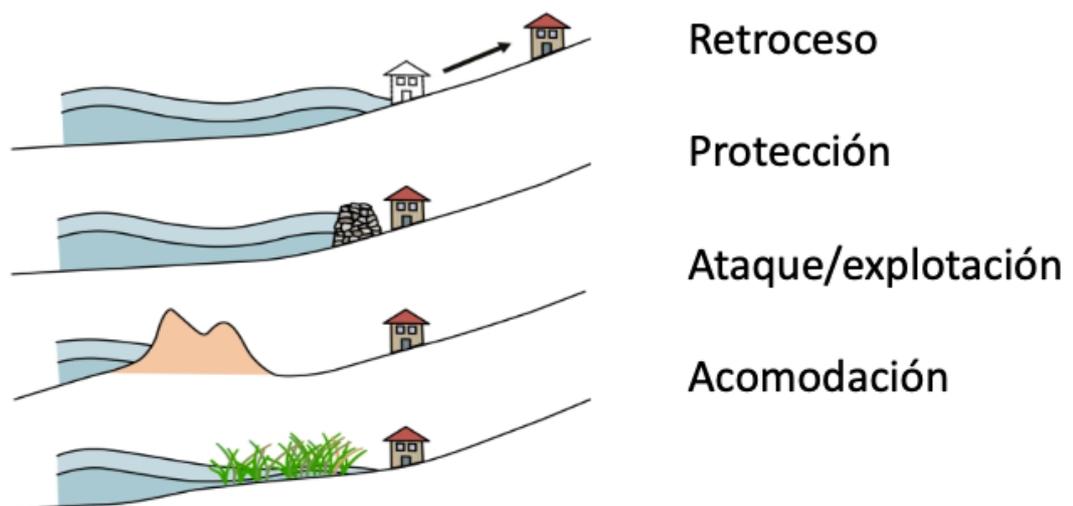


Figura 5: Enfoque estratégico de las medidas de adaptación al cambio climático.

Fuente: Adaptado de (J. DRONKERS, 1990)

Esta estrategia representa una segunda clasificación para las medidas de adaptación, que pueden priorizarse en función de las políticas locales.



2.2.3. Categorías

Para diferenciar las medidas es importante clasificarlas. Para ello, el IPCC (2014) propuso en su quinto informe tres grandes categorías de medidas, medidas estructurales y físicas, medidas sociales y medidas institucionales. Sin embargo, en el capítulo III del más reciente sexto informe del IPCC (2021), se agruparon las medidas sociales e institucionales, se aislaron las medidas y tecnologías de ingeniería gris y apareció un nuevo campo para las medidas basadas en la naturaleza y los ecosistemas. Esta elección es una voluntad de destacar estas últimas soluciones, a menudo más ancladas en los objetivos del desarrollo sostenible. Esta opción ha sido utilizada por la estrategia europea de adaptación (Europea, 2017) y otras estrategias nacionales. De hecho, las soluciones sociales e institucionales son menos relevantes para las adaptaciones locales, que son mayoritarias en el ámbito de la adaptación costera.

Para este catálogo, se han mantenido las tres categorías Estructural, Social e Institucional para ofrecer una amplia gama de medidas. Aunque las medidas estructurales son mayoritarias en la costa, no hay que descuidar las medidas sociales e institucionales. Pueden llevarse a cabo de forma paralela y tener objetivos diferentes, por lo que es esencial conocer su existencia y funcionamiento. Sin embargo, para diferenciar el carácter de las medidas, se han añadido subcategorías de esta manera:

Categorías	Sub-categorías	Descripción	
Estructurales y Físicas	Acciones grises	Hacen referencia a intervenciones de carácter ingenieril y tecnológico. A menudo son obras de construcción que transforman fundamentalmente un sistema.	Gris
	Acciones Verde	Acciones que utilizan toda la gama de opciones para la gestión sostenible, la conservación y la restauración de los ecosistemas y tiene como objetivo mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y los seres humanos. Las medidas verdes de adaptación tienen un claro co-beneficio con las medidas de mitigación, ya que contribuyen a la conservación o a la mejora de las reservas de carbono.	Verde
	Servicios	Medidas de prestación de servicios como: asistencia social, bancos de alimentos, servicios de gestión municipal, servicios médicos de urgencia, etc.	Blanda
Sociales	Educación	Concienciación e integración en los sistemas educativos, difusión del conocimiento local y tradicional incluyéndolo en la planificación de la adaptación; acción de participación y aprendizaje social, encuestas, plataformas para intercambio de conocimientos y aprendizaje, conferencias internacionales y redes de investigación, comunicación a través de los medios, etc.	
	Información	Mapas de riesgo, sistemas de alerta y de respuesta, sistemas de monitorización, servicios meteorológicos, mejora de proyecciones climáticas y downscaling, bases de datos, etc.	
	Comportamiento	Acomodación, planes de evacuación, retroceso, migración, seguridad humana, conservación del agua y suelo, diversificación del sustento de vida, cambio de cosechas o en sus prácticas, etc.	



Institucionales	Economías	Incentivos financieros incluidos impuestos y subsidios, seguros de catástrofes, pago por servicios ecosistémicos, tarifas de agua y energía, microfinanzas, fondos de contingencia para desastres, etc.
	Leyes y regulaciones	Legislación para la zonificación territorial, códigos de edificación, acuerdos y regulación del agua, legislación para la reducción de riesgo de desastres, legislación para promover la adquisición de seguros, seguridad en los derechos de propiedad y del terreno, áreas protegidas, cuotas pesqueras, patentes y transferencia de tecnología, etc.
	Políticas y programas gubernamentales	Iniciativas o estrategias gubernamentales que enmarcan la adaptación

Tabla 1: Categoría, subcategoría y categoría simplificada de las medidas de adaptación.

2.2.4. Descripción e informaciones

En los párrafos anteriores se han discutido las formas de clasificar las medidas. Sin embargo, el núcleo del catálogo se refiere a la descripción e información relacionada con estas medidas. En efecto, es necesario caracterizar las medidas para poder evaluarlas. Los criterios seleccionados son de varios tipos:

- Objetivo: qué amenaza aborda la medida y una breve descripción de la adaptación propuesta
- Descripción: una descripción más técnica con el principio de funcionamiento de la medida, así como el sector preferente y las medidas complementarias que pueden asociarse.
- Información: permite indicar una zona geográfica preferente, el nivel de gobernanza o los agentes sociales relacionados con la medida
- Dibujo y ejemplo de aplicación
- Aspectos técnicos: apartado que recoge las ventajas e innovaciones de la medida, su vida útil, su tiempo y coste de implantación y finalmente su coste de mantenimiento
- Referencias: fuentes y documentación sobre la medida

Sin embargo, estos datos son meramente informativos y dependen en la mayoría de los casos de la especificidad del campo. Por tanto, los datos sobre el tiempo o el coste son cualitativos y no sustituyen a un estudio específico de evaluación de costes. Se trata principalmente de una visión general. En la tabla siguiente se indica la gama que se suele utilizar para estos datos cualitativos.



Duración de vida	
corto plazo	menos que 10 años
medio plazo	de 10 a 50 años
largo plazo	más que 50 años

Tiempo de implementación:	
Muy rápido (emergencia)	menos que 2 meses
Rápido	Entre 2 meses y 1 años
Lento	de 1 a 5 años
Muy lento	más que 5 años

Tabla 2: Umbrales de la escala cualitativa del tiempo de implementación y vida útil

2.2.5. Fichas de medidas de adaptación al cambio climático

Toda la información necesaria se incluye en la hoja del modelo que se muestra en la figura 8. Todas las fichas de medición se presentan en el Anexo II.

		Categoría Sub-categoría	Nombre de la medida de adaptación	Enfoque estratégico				
Objetivo	Amenaza ¿A que amenaza responde la medida ?		Dibujo <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Configuración típica</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Tipología</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; height: 150px;">   </div>		Esperanza de vida estimada Escala cualitativa: largo plazo, corto plazo .		Tiempo de implementación Escala cualitativa: muy rápido (emergencia), rápido, lento, muy lento	
	Objetivo ¿Cómo se adaptaron las medidas al impacto potencial?				Ventajas Características de la medida de mitigación que le confieren una ventaja sobre otras.		Limitaciones Características que sitúan a la medida de mitigación en desventaja con respecto a otras.	
DESCRIPTION	Descripción Explicación de los principios fundamentales de funcionamiento de la medida de adaptación (por ejemplo, la física de los procesos naturales).		EJEMPLO <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ubicación 1</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; height: 150px;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ubicación 2</div> </div>		Coste de implementación Escala cualitativa: baja media, alta		Coste de mantenimiento Escala cualitativa: baja media, alta	
	Sector Urbano, playa, acantilado, carretera, puerto, aeropuerto, ría,...		MEDIDAS COMPLEMENTARIAS Lista de otras medidas de mitigación que pueden aplicarse al mismo tiempo para mejorar su rendimiento.		REFERENCIAS Lista de artículo publicados sobre la medida de adaptación .			
	Zona geográfica preferida En caso de que la medida sólo sea aplicable en determinadas condiciones geográficas .		Agentes sociales Parte interesada en la aplicación de las medidas					
Informaciones	Nivel de gobernanza Estatal, local...							

Figura 6: Fichas modelo para el catálogo de medidas de adaptación al cambio climático

2.3. Catálogo condensado

La tabla 3 presenta una visión general de las medidas presentes en el catálogo. Algunas de ellas están agrupadas por familias de la misma clasificación (estructuras de protección, ...).

Medidas	Categorías	Enfoque estratégico	Amenaza
Adecuación funcional y estructural de las infraestructuras y edificaciones existentes	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Protección ○ Explotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Creación de playas y dunas artificiales	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acomodación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Erosión costera
Realineación de estructuras existentes en la línea de costa	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Protección ○ Explotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Erosión costera
Construcción de nuevas estructuras de protección (muros, paseos)	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Protección ○ Explotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial
Construcción de nuevas estructuras o elementos artificiales para mantener la línea de costa (diques exentos, espigones, geotextiles, etc.)	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Protección ○ Explotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Elevación y ampliación de los terrenos costeros.	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Protección ○ Explotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Carreteras flotantes o elevadas	Gris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Explotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial



Regeneración de playas y sistemas dunares	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Erosión costera - Viento fuerte
Gestión de sedimentos	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Erosión costera
Conservación y restauración de humedales y marismas	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Adquisición de terrenos	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Erosión costera
Cambios en el uso del suelo	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera - Viento fuerte
Favorecer la migración hacia el interior de humedales y marismas y creación de nuevas áreas intermareales	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Erosión costera
Áreas protegidas	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Gestión integrada de zonas costeras	Verde	○ Acomodación	- Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Retroceso costero y fluvial	Blanda	○ Retroceso	- Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Diagnóstico y análisis de riesgos	Blanda	○ Acomodación ○ Protección	- Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera - Viento fuerte - Temperatura extrema



Investigación	Blanda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acomodación ○ Protección 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera - Viento fuerte - Temperatura extrema
Monitorización sistemática de la costa	Blanda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acomodación 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera
Protocolos de evacuación	Blanda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Retroceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Viento fuerte - Temperatura extrema
Introducción de sistemas de alerta temprana	Blanda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Retroceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Viento fuerte - Temperatura extrema
Capacitación y concienciación	Blanda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acomodación ○ Protección 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación costera - Inundación fluvial - Erosión costera - Viento fuerte - Temperatura extrema

Tabla 3: Catálogo condensado de medidas de adaptación al cambio climático en la costa.



3. Evaluación y selección de las medidas

En la primera parte se han enumerado y clasificado las medidas de adaptación al cambio climático. Para completar este catálogo, y con el objetivo de facilitar la toma de decisiones y la adecuada adaptación local, se propone aquí un método de evaluación y selección de medidas.

La selección de una opción es un proceso más complejo que una simple elección. De hecho, una vez evaluada y clasificada, no es evidente que ninguna medida destaque especialmente y la evaluación va acompañada de incertidumbres que a veces son significativas.

Así, para evitar la *maladaptación* y hacer más robusta la elección, la metodología de selección se desglosa en diferentes pasos. Una vez evaluadas las medidas, se hace una primera selección aproximada y las que parecen adecuadas se someten a una participación pública con los agentes social afectados por la medidas adaptación. Después, esta participación pública destaca las medidas finales seleccionadas. El último paso del proceso de selección es un seguimiento de la medida, tanto durante su aplicación práctica como en su fase real. Este seguimiento puede ir acompañado de una evaluación ex-post (con herramientas similares a las de la evaluación ex-ante) y permite construir la base de datos y orientar los diseños futuros.

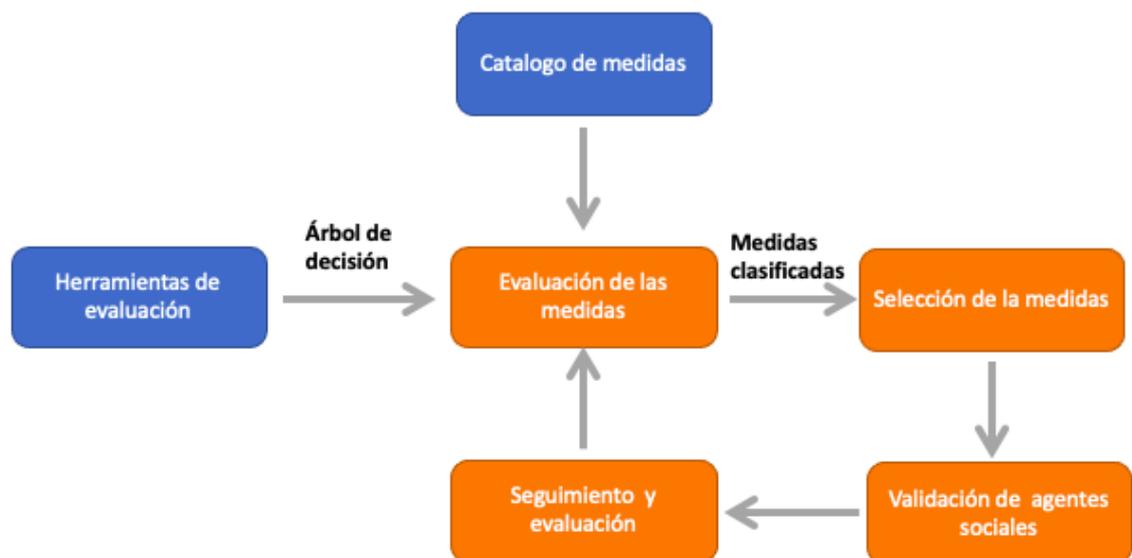


Figura 7: Metodología de evaluación y selección de medidas



3.1. Herramientas de evaluación

La evaluación de una opción, en nuestro caso de una medida de adaptación, es un proceso que consiste en cuantificar o calificar metódicamente ventajas e inconvenientes, a veces abstractos. El objetivo de un método de evaluación es homogeneizar las características de una opción mediante el uso de determinados criterios, de modo que las opciones se vuelvan comparables. Una vez comparadas, las opciones quedan así clasificadas y se facilita la selección de la medida.

En el ámbito de la toma de decisiones, la evaluación es, por tanto, esencial. Se han desarrollado herramientas generales que pueden aplicarse a una amplia gama de ámbitos financieros, políticos y empresariales. Algunas de estas herramientas se han adoptado en el proceso de adaptación al cambio climático (Ierland, 2017). Sin embargo, estas herramientas son numerosas, a menudo muy generales y relativamente difíciles de entender. Además, cada herramienta tiene su propia especificidad y no es aplicable en todas partes. Por lo tanto, el primer paso es la selección de la herramienta de evaluación. Cada herramienta tiene su propia metodología. A continuación, se utiliza esta metodología para evaluar las herramientas.

La evaluación de las medidas de adaptación se realiza a través de herramientas metodológicas. Estas herramientas existentes, algunas de ellas ya incluidas en el proceso de adaptación (Economics, 2013) y otras en otros campos de actividad se resumen en la tabla 4 abajo. Además, se presenta en el anexo fichas para cada de las herramientas con una descripción de la herramienta, sus ventajas e inconvenientes, así como su metodología. Este trabajo puede servir para identificar la especificidad de cada herramienta y sus casos de uso más adecuados.

Herramienta	Descripción	Ventajas	Inconvenientes	Casos de Uso
Análisis multicriterio (AMC)	Evalúa la eficacia y la rentabilidad de una medida sobre la base de criterios monetarios o no y que incluye, además de los aspectos económicos (herramientas de ACB), los aspectos sociales relacionados con la salud, el patrimonio, el medio ambiente, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado visible de las debilidades y fortalezas de cada medida • Conjunción con otros métodos • Transparente y accesible • Participación directa de los interesados 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de estudiar la relevancia económica de las medidas no estructurales. • Carácter estático del análisis • Estandarización (perdida de informaciones) • Muchos datos costosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Múltiples objetivos y datos cualitativos • Múltiples agentes implicados • Datos de calidad
Análisis coste-beneficios	Permite de medir la diferencia cuantitativa (en términos monetarios) entre los beneficios esperados de la medida (directo y indirectos) y los costes de su aplicación, gestión y seguimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Produce datos numéricos que permiten una clasificación sencilla de las medidas • Fácil de entender para un público no experto 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de estudiar la relevancia económica de las medidas no estructurales. • No tener en cuenta los daños inmateriales • Beneficios indirecto difícil a considerar • Carácter estático del análisis 	<ul style="list-style-type: none"> • Principalmente para medidas estructurales • Probabilidad de sensibilidad climática baja • Datos de calidad
Análisis coste-eficacia	La ACE es una herramienta que permite una canalización eficiente de las inversiones en aquellos sectores o dominios para los que no es posible cuantificar en términos económicos los beneficios de una determinada medida de adaptación.	<ul style="list-style-type: none"> • Visibilidad de la eficacia de una intervención. • Reduce los resultados obtenidos a un único indicador cuantificable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se centra en una sola dimensión • El proceso es más caro y complejo en una situación ex-post que en una situación ex-ante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo restringido centrado en una medida • Cuando es imposible de monetizar el beneficio de la medida



Gestión adaptativa (GA)	<p>Diseña vías de adaptación flexibles y dinámicas basadas en el concepto de puntos de inflexión. Son los puntos en los que una determinada medida de adaptación ya no es suficiente para contrarrestar un riesgo climático específico y debe ser sustituida o complementada por otras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Permite ganar tiempo para planificar y reduce la presión de tomar decisiones ahora. • Reduce la incertidumbre al utilizar los acontecimientos y no el tiempo como puntos de decisión • Su flexibilidad permite que el plan refleje las circunstancias locales • Mantiene las opciones abiertas hasta que haya más información, financiación o apoyo a las opciones • Permite aprender a lo largo del proceso de adaptación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de sistemas ambiciosos de monitorización basados en indicadores • Requiere un seguimiento exhaustivo • Requiere una inversión flexible (presupuesto difícil de definir) 	<ul style="list-style-type: none"> • Contexto de alta incertidumbre • Proyecto a gran escala, gran área de estudio, múltiples problemas
Toma de decisiones Robusta (RDM)	<p>Identifica la medida más robusta bajo una alta incertidumbre, es decir, la medida que será la más adecuada para un gran número de posibles escenarios futuros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Imagen clara de una medida óptima en diferentes escenarios. • Ninguna situación sin resolver • Datos digitales 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados difíciles de interpretar, poco accesibles para los no expertos • Pesado desde el punto de vista computacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Contexto de alta incertidumbre • Hay un gran número de opciones de decisión posibles • El espacio de decisión es lo suficientemente complejo para justificar el uso de modelos de simulación.

Tabla 4: Descripción, ventajas, inconveniente y casos de uso de las herramientas de evaluación disponibles

3.2. Selección de la herramienta

Las herramientas están ahora bien diferenciadas y, para seleccionar la más adecuada, se presenta un árbol de decisión en la figura 8. Este árbol no es exhaustivo, pero muestra las principales limitaciones de cada herramienta.

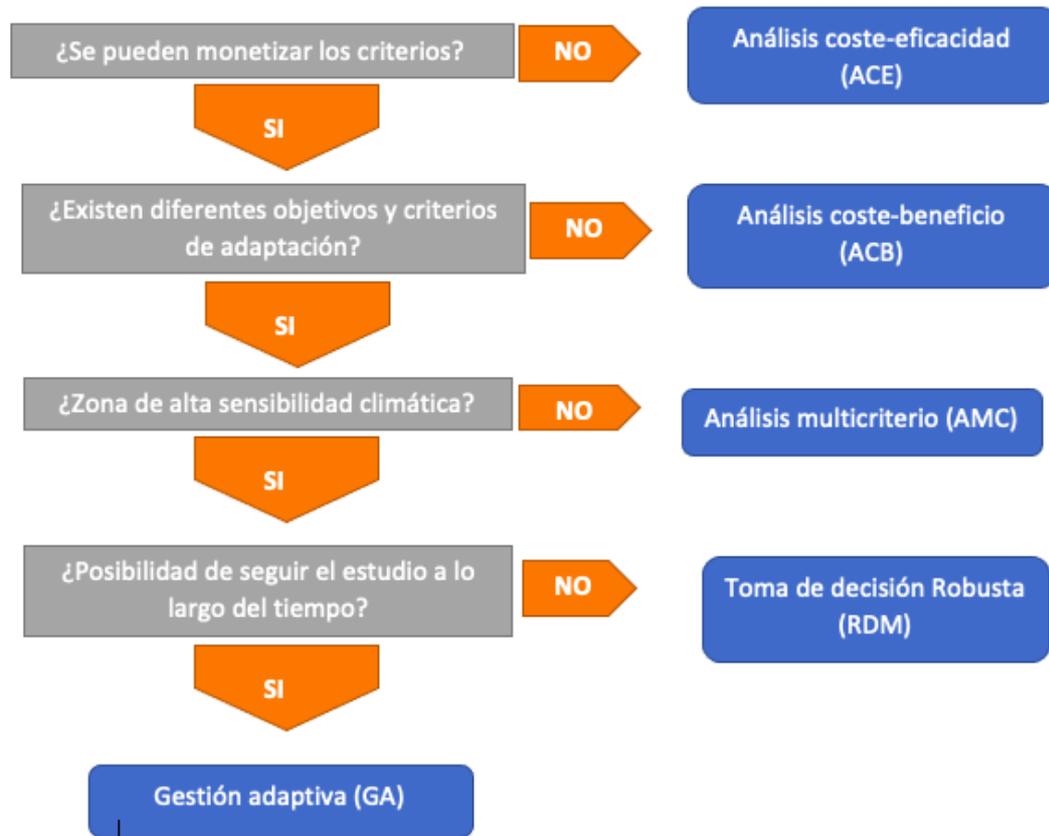


Figura 8: Árbol de decisión para la elección de herramientas de evaluación

3.3. Validación por los agentes sociales

La adaptación es un proceso colectivo en el que participan muchos actores. Lo ideal es que la validación de las partes interesadas siga todo el proceso de adaptación. Desde la definición de los objetivos hasta el seguimiento de las medidas aplicadas mediante encuestas, reuniones públicas o consultas a expertos. De hecho, los actores locales suelen estar familiarizados con los problemas vinculados a sus territorios.



3.4 Seguimiento

Dada la complejidad del proceso de adaptación, la elevada incertidumbre del cambio climático y el carácter a largo plazo de las medidas es esencial realizar un seguimiento y una evaluación periódicos. La fase de seguimiento es importante por dos razones:

- permite comprobar la funcionalidad de la nueva medida e identificar cualquier *maladaptación* o efecto indeseable.
- permite una evaluación de la medida a posteriori útil para la toma de decisiones, cómo se ha visto anteriormente.

El seguimiento de las medidas generalmente funciona con indicadores relacionados con la medida. Pueden ser generales, caracterizando un amplio ámbito de adaptación, o específicos, aplicables a una medida concreta. Por lo tanto, el plan de seguimiento viene determinado por la elección y definición de estos indicadores, así como por las técnicas de seguimiento y la frecuencia. Un indicador proporciona pruebas de que existe una determinada condición o de que se han alcanzado o no determinados resultados. Los indicadores pueden ser cuantitativos o cualitativos. En general, pueden distinguirse dos tipos de indicadores: indicadores de proceso e indicadores de resultados. En el ámbito de la adaptación, se suelen utilizar indicadores de proceso, dado el carácter a largo plazo de las intervenciones. De este modo, se evalúa el rendimiento de las intervenciones durante el proceso para garantizar la mejora continua.

4. Aplicación de un caso de referencia

Las dos primeras partes de este estudio recuerdan el proceso de adaptación y proponen herramientas y metodología para su aplicación. Esta última parte muestra una aplicación de estas herramientas a un caso sencillo. El objetivo aquí no es realizar un análisis detallado, sino ilustrar con un ejemplo la realización de una evaluación y selección de medidas de adaptación al cambio climático. En este ejemplo no se tratarán las partes de implementación, validación y seguimiento del proceso.

4.1. Descripción y problemática

4.1.1. Localizaciones geográficas

El lugar seleccionado para este estudio es el pueblo de Suances, situado a 30 km al oeste de Santander, la mayor ciudad de Cantabria, una comunidad del norte de España (figura9).



Figura 9: Ubicación de Suances, la zona de estudio.

Tiene 10.000 habitantes y está situado frente al mar Cantábrico y en la desembocadura del río San Martín de la Arena. Nos interesa la amenaza del cambio climático en la costa, por lo que el área de estudio se centrará en la zona de la playa, el acantilado y el estuario (con influencia del mar).

4.1.2. Características de la zona de estudio

El pueblo de Suances es uno de los destinos turísticos más importantes de Cantabria. Contiene un cierto número de infraestructuras turísticas en particular en la zona situada al borde de la playa. De hecho, la playa de La Concha, al borde de los acantilados, ofrece un apreciable y rico paisaje. En la zona cercana a la playa hay una docena de restaurantes, así como algunos hoteles y tiendas. La mayoría de los demás edificios de la costa son edificios residenciales. También hay un camping.

La zona de estudio contiene dos playas (playa de la Concha y playa de la Ribera) y es una importante zona de sedimentación con la desembocadura del río San Martín de la Arena. En la desembocadura del río también hay un puerto pesquero y deportivo. En 1878 se construyó un espigón para garantizar el acceso al puerto, lo que supuso la estabilización de la playa de La Concha y permitió el desarrollo del frente de playa en Suances. El problema de acceso al puerto persiste, por lo que se están desarrollando planes de extensión de espigón oeste.

El frente marítimo consiste en un paseo marítimo al oeste elevado por unos centímetros de la playa y al oeste hay un zona de duna protegida y luego el paseo marítimo. La zona que bordea el río es también un paso marítimo que es una extensión del espigón hasta el puerto.

4.1.3. Descripción del impacto del cambio climático en la zona de estudio.

El pueblo de Suances ha sufrido inundaciones costeras en los últimos años. Un artículo (El diario Montanés, 2010) revela que hay dos calles especialmente afectadas, calle Enrique Otí y calle Isaac Peral, en las que se han medido hasta 50 cm de agua. Otro estudio revela que se produjeron daños por valor de hasta 40.000 euros en la ciudad durante una tormenta en 2014. Además, el aumento del nivel del mar afectará a la costa cantábrica [Fuente].

El pueblo está expuesto a las inundaciones y a la erosión costera. El periodo de referencia utilizada en la directiva marco de la Unión Europea es de 100 años [fuente], así que el objetivo aquí será de reducir los daños para el periodo de retorno de 100 años. Se ha realizado una proyección climática marítima y mapa de inundaciones en la zona para diferentes escenarios (RCP 8.5 y RCP 4.5) y diferentes horizontes (2010 y 2050).



Figura 10: Mapa de inundación horizonte 2050, Tr=100 años- Escenario RCP 4.5 (arriba) y RCP 8.5 (abajo)

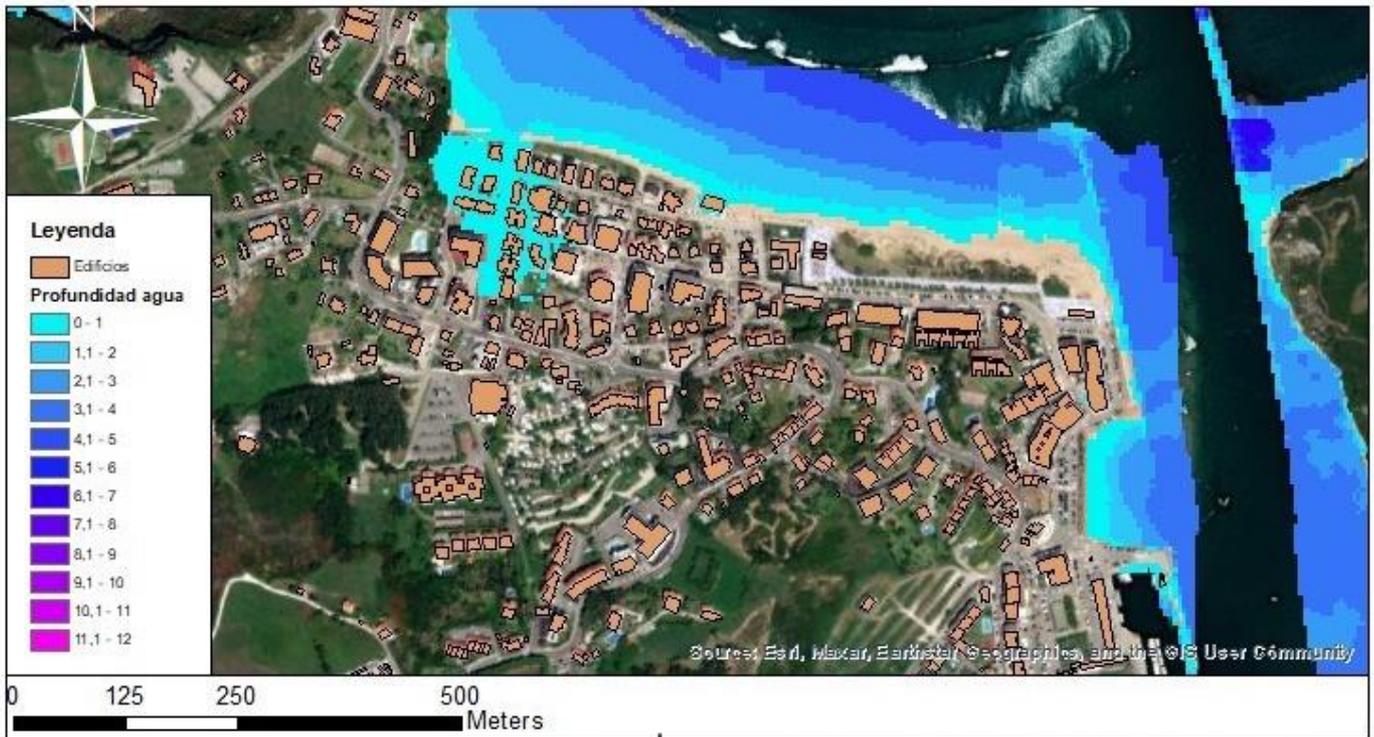


Figura 11: Mapa de inundación horizonte 2100, Tr=100 años- Escenario RCP 4.5 (arriba) y RCP 8.5 (abajo)

Los mapas de inundación muestran que la zona de la calle Enrique Otí está especialmente expuesta en todos los escenarios. En 2050, la diferencia entre los escenarios RCP 4.5 y 8.5 es relativamente pequeña, pero en 2100 la superficie afectada por las inundaciones se duplica. Además, se observa que la zona portuaria también es propensa a las inundaciones y el dique puede ser sumergido. Esto podría provocar agitación en el puerto y causar daños materiales.

A nivel de playa, la topografía de Suances revela un relieve relativamente plano y homogéneo. Así, la predisposición de las calles inundadas no se debería al relieve sino a la morfología de la playa. De hecho, al este de la playa (zona no afectada por las inundaciones) hay una zona de dunas, mientras que al oeste hay un paso marítimo frente al mar.

Hay que recordar también que la zona de la desembocadura es una zona de fuerte sedimentación lo que supone un problema para el acceso al puerto, y que el cambio del régimen de oleaje podría amplificar este fenómeno.

4.2. Aplicación de la metodología de evaluación selección

4.2.1. Identificación de las medidas en el catalogo

Se han identificado amenazas relacionadas con el cambio climático. Las medidas de adaptación deberían abordar en primer lugar las inundaciones y, en segundo lugar, la erosión y el transporte de sedimentos, que pueden volverse más pronunciados y problemáticos (aunque no disponemos de una modelización precisa de estos fenómenos). Además, el carácter de la amenaza es puntual, Suances no se inunda sistemáticamente. El enfoque estratégico adoptado debe discutirse con los actores, pero parece razonable centrarse aquí en las medidas de protección o acomodación. De hecho, una medida de retraso podría parecer extrema y difícil de aceptar por la población. No hay que excluir una medida de explotación, pero tampoco parece lo más interesante. El pueblo de Suances tiene de interés turístico y paisajístico. Por lo tanto, las denominadas medidas "verdes" son más apropiadas y, por lo general, se prefieren siempre que sea posible. Las medidas blandas también pueden ser apropiadas, sobre todo como acompañamiento, pero el propio carácter local de la adaptación requiere una medida física o estructural. Aquí entra en juego el catálogo de medidas a adoptar ante el cambio climático en las costas. Estas preguntas sobre el carácter de la amenaza y la categorización propuesta en el catálogo permiten una primera selección aproximada de las medidas de adaptación adecuadas.

Aquí podemos seleccionar dos medidas como ejemplo:

- la extensión del complejo dunar a lo largo de toda la playa
- la elevación del frente marítimo con una estructura de dique

4.2.2. Elección de la herramienta de evaluación

Datos disponibles:

- profundidad del agua durante la inundación
- el valor catastral de los edificios`
- el tipo de edificio y los costes asociados a sus actividades

El análisis de la zona de estudio, de la amenaza, de la necesidad de adaptación y de los datos disponibles permite, a través de las herramientas propuestas (árboles de decisión y fichas de presentación de herramientas), seleccionar la herramienta adecuada que haga factible, comprensible y significativa la evaluación de las medidas.

La información que ayuda a la decisión es:

- proyectos relativamente pequeños (zona de estudio concentrada, actividad económica y social moderada, ninguna zona protegida)
- medios limitados (probablemente financiados por el gobierno cántabro, presupuesto limitado)
- amenaza específica (objetivo único)
- sensibilidad climática relativamente baja (el cambio escenario no cambia fundamentalmente la amenaza)
- datos de calidad disponibles
- daños cuantificables, con poca probabilidad de afectar a la vida humana

Siguiendo el árbol de decisiones y consultando la ficha de presentación, parece que lo más adecuado sería un análisis de costes y beneficios. De hecho, los datos para cuantificar los daños están disponibles, hay poca incertidumbre, las amenazas son conocidas y localizadas, el análisis coste-beneficio será por tanto pertinente, y tiene la ventaja de proporcionar cifras comprensibles en un tiempo relativamente rápidas.

4.2.3. Aplicación del análisis coste-beneficio

El análisis coste-beneficio que se presenta aquí es un análisis simplificado que pretende ilustrar la metodología de adaptación al cambio climático en la costa y no proponer un estudio preciso. Definido el alcance del estudio, la amenaza, las posibles medidas, la especificidad del lugar de estudio, ahora hay que calcular los daños sin medidas y los daños con medidas.

Daño directo sin medidas :

La curva de daños que se muestra a continuación (Duo, 2020) proporciona la conversión entre la altura del agua (en metros) y los daños en euros para cada edificio. El valor del edificio es su valor catastral. Tomaremos aquí la curva del JRC2017 Europa (Huizinga, 2017) y separaremos los edificios residenciales de los comerciales (restaurantes, tiendas, hoteles).

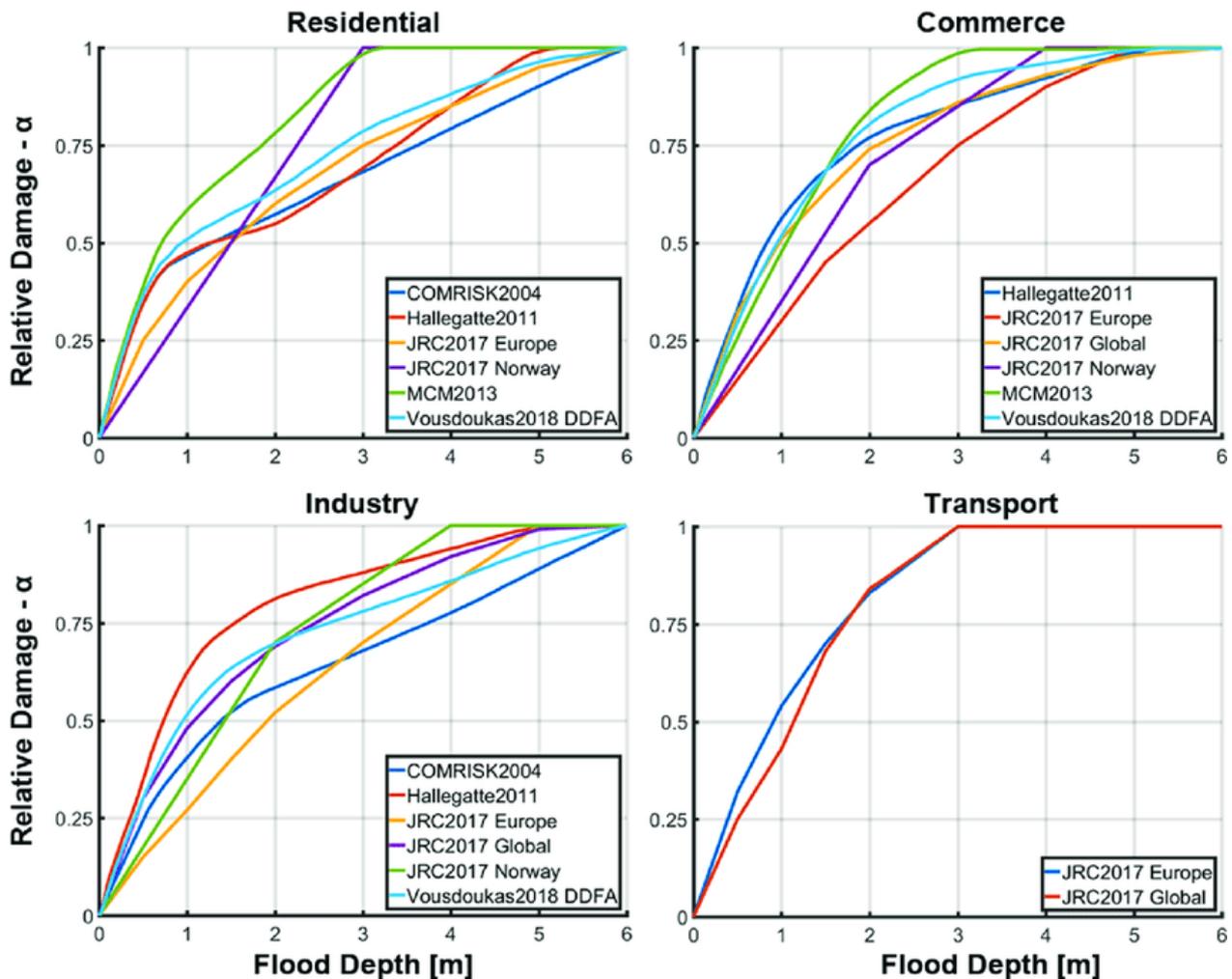


Figura 12: Curva de daños por inundación para diferentes tipos de edificios. (Duo, 2020).

En aras de la legibilidad, la figura 11 muestra una inundación de 0-1m. Sin embargo, la inundación no es homogénea y algunas zonas están inundadas por 10cm mientras que otras lo están por 90cm. Un tratamiento exhaustivo del SIG podría permitir tener en cuenta el valor exacto de la profundidad del agua en cada edificio y, por tanto, los daños relativos. Pero aquí sólo dividiremos el área inundada en cuatro zonas en las que las profundidades de inundación son cercanas.



Horizonte 2050	Zona	Edificios	Profundidad de agua (m)	Daño relativo (%)	Daño (millones de €)
RCP 4.5	Zona 1	Residencial	0.4	20	0.62
		Comercial	0.4	10	0.24
TOTAL					0.86
RCP8.5	Zona 1	Residencial	0.6	28	1.31
		Comercial	0.6	20	0.50
	Zona 2	Residencial	0.3	15	1.07
		Comercial	0.3	8	0
TOTAL					2.88

Tabla 5: Daños en edificios por una inundación TR=100 años en el horizonte 2050

Horizonte 2100	Zona	Edificios	Profundidad de agua (m)	Daño relativo (%)	Daño (millones de €)
RCP 4.5	Zona 1	Residencial	0.8	30	1.59
		Comercial	0.8	23	0.56
	Zona 2	Residencial	0.5	25	1.48
		Comercial	0.5	12	1.67
	Zona 3	Residencial	0.2	6	0.67
		Comercial	0.2	6	0.22
TOTAL					6.20
RCP8.5	Zona 1	Residencial	1.1	42	2.22
		Comercial	1.1	31	0.76
	Zona 2	Residencial	0.8	30	1.78
		Comercial	0.8	23	3.20
	Zona 3	Residencial	0.5	25	2.80
		Comercial	0.5	12	0.44
	Zona 4	Residencial	0.2	6	0.93
		Comercial	0.2	6	1.19
TOTAL					13.33

Tabla 6: Daños en edificios por una inundación TR=100 años en el horizonte 2050

Aquí se han calculado los daños directos. También hay daños indirectos, que son más difíciles de calcular, pero que un análisis más detallado podría proporcionar.

Daño con medidas:

Si las medidas están bien diseñadas, el daño debería ser nulo, sin embargo, puede ocurrir que las estructuras de protección sean defectuosas. Además, la escala temporal del cambio climático es importante. La vida útil de un dique suele ser de 50 años, y hay que mantener una zona de dunas para que siga siendo eficaz.

En aras de la simplicidad, se asume aquí que las medidas son correctamente supervisadas y mantenidas, y por lo tanto 100% efectivas.



Coste de las medidas.

El coste de inversión de las medidas es difícil de predecir con antelación, el área a proteger es de unos 500m, según (Zhu, 2010) el coste de un dique de protección está entre 0.4 y 27\$/km que para un dique completo puede costar entre 2 y 10 millones de euros. Además, la zona de dunas se extenderá a lo largo de 500 m con una anchura de unos diez metros su coste es equivalente al de la alimentación de una playa (Zhu, 2010). Este zona requiere aproximante 40 m³ de arena para esta zona de estudio suponen una inversión de 500000 €.

Por lo tanto, los costes de inversión son mucho más bajos para una zona de dunas. Sin embargo, la zona de dunas necesita una protección adicional, así como un mantenimiento regular y un seguimiento del proceso de sedimentación. Un dique vertical tiene una buena resistencia al paso del tiempo, por lo que en una escala temporal de varios años no está tan claro que la zona de dunas sea más rentable.

En cualquier caso, se observa que la inversión necesaria para estas medidas es mucho más inferior a los daños causados por una inundación costera con un periodo de retorno de 100 años.

El análisis coste-beneficio mide en primer lugar el beneficio material de la aplicación de una medida de adaptación. En segundo lugar, la elección entre las dos medidas no está clara debido a la incertidumbre sobre los costes de estas. Por lo tanto, es importante consultar a los profesionales y otras partes interesadas para tener una evaluación precisa. Sin embargo, la zona de dunas es igualmente eficaz y aporta más beneficios. Además, ya existe una zona de dunas, por lo que encajaría perfectamente en el paisaje y no se alteraría la calidad de los baños de Suances.

5.Conclusión

Para evitar que las consecuencias del cambio climático sean desastrosas e irreversibles, es necesario adaptarse rápidamente a las nuevas condiciones y aún más a las futuras. En particular en el litoral, donde la morfología cambiará significativamente en los próximos años. La adaptación es, como hemos visto, un proceso complejo. Así que nunca habrá demasiadas herramientas para facilitar y clarificar su proceso. El catálogo de medidas de adaptación en la costa, la presentación de las herramientas de evaluación y las herramientas de apoyo a la toma de decisiones que se presentan en esta tesis de máster tienen este propósito. Ofrecen un vínculo entre los marcos conceptuales elaborados por las grandes autoridades y los actores locales, que son los primeros en actuar. Hemos visto en el ejemplo de aplicación que es importante plantear las preguntas adecuadas para elegir el método de adaptación correcto para cada caso.

La categorización de las medidas permite hacer una selección aproximada muy rápidamente, lo que reduce el abanico de posibilidades y ofrece a menudo diferentes alternativas.

La evaluación de un proyecto suele estar asociada a sus costes y beneficios. Este enfoque, aunque sigue siendo útil en muchos casos, ya no es el único, y en el contexto de fuertes incertidumbres relacionadas con el cambio climático, las herramientas de seguimiento, la simulación de escenarios o la gestión adaptativa en el tiempo pueden ser igual de eficaces y completas.

La selección y aplicación de una medida no debe considerarse el final del proyecto. La adaptación no termina aquí. De hecho, en cualquier campo, queda mucho por aprender y el aprendizaje de la experiencia es esencial. Por lo tanto, el seguimiento y la evaluación de las medidas a posteriori son parte integrante del proceso de adaptación.

El catálogo y la metodología de evaluación y selección de las medidas de adaptación al cambio climático en la costa presentados en este estudio también tendrán que evolucionar cuando se apliquen las medidas. Además, no son exhaustivos, y algunas de las elecciones realizadas son cuestionables. Se pueden hacer varias críticas. En primer lugar, la categorización ayuda a clarificar las medidas de adaptación, pero las pone en competencia entre sí, separándolas, cuando muy a menudo las medidas deben llevarse a cabo en paralelo, especialmente entre las medidas que entran en el ámbito de las leyes y la gobernanza y las medidas más locales ancladas en la comunidad. En segundo lugar, la metodología de las secciones de la herramienta de evaluación podría completarse, ya que existen otras herramientas, y el árbol de decisiones presentado podría adoptar diferentes formas, en función de las cuestiones de enfoque. Para ello, las herramientas se documentaron de forma sintética en fichas. La metodología de estas herramientas de evaluación es también muy conceptual y debe ser adaptable a diferentes casos de campo. El objetivo era proporcionar guías de ejemplo concretas con las que los nuevos proyectos pudieran identificarse.

Bibliografía

- (2010). Obtenido de El diario Montanés: <https://www.eldiariomontanes.es/v/20101110/cantabria/otras-noticias/chiringuito-tuto-playa-locos-20101110.html>
- Bridges, T. S. (2021). International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Cent.
- Comisión Europea. (2017). Buenas prácticas de adaptación y mitigación con beneficios adicionales en América Latina y la Unión Europea. . . *Programa EUROCLIMA, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea. Bruselas, Bélgica. 206 p.*
- Duo, E. &. (2020). Semi-probabilistic coastal flood impact analysis: From deterministic hazards to multi-damage model impacts. . *Environment International. 143. 105884. 10.1016/j.envint.2020.105884.*
- Economics, F. (2013). The Economics of Climate Resilience: Appraising flood management initiatives – a case study.
- EEACC. (2016). ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA COSTA ESPAÑOLA . *DIRECCIÓN GENERAL DE SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA Y DEL MAR MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, Gobierno de España, .*
- Europea, C. (2017). Buenas prácticas de adaptación y mitigación con beneficios adicionales en América Latina y la Unión Europea. Programa EUROCLIMA. *Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea. Bruselas, Bélgica. 206 p.*
- Huizinga, J. D. (2017). Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines, EUR 28552 EN. *Publications Office of the European Union, Luxembourg., ISBN 978-92-79-67781-6, doi:10.2760/16510, JRC105688.*
- Ierland, K. d. (2017). Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives .
- Insee. (2020). Démographie et économie du littoral . *Observation du littoral .*
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, A. Okem, B. R. Cambridge University Press. *In Press.*
- J. DRONKERS, J. T. (1990). STRATEGIES FOR ADAPTION TO SEA LEVEL RISE. *REPORT OF THE IPCC COASTAL ZONE MANAGEMENT SUBGROUP: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. GENEVA: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.*



Judy Lawrence, R. B. (2018). A Hybrid Process to Address Uncertainty and Changing Climate Risk in Coastal Areas Using Dynamic Adaptive Pathways Planning, Multi-Criteria Decision Analysis & Real Options Analysis: A New Zealand Application.

Perú, M. d. (2021). Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, Dirección General de Cambio Climático y Desertificación, Catálogo de Medidas de Adaptación.

Royuela, M. G., Fernández, A. P., & Munguira, A. V. (2016). D.G. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. .

Anexo I: Fichas descriptivas de cada herramienta de evolución y la metodología asociada

Análisis coste-beneficios

Descripción

El ACB, es un herramientas que permite de medir la diferencia **cuantitativa** (en términos monetarios) entre los beneficios esperados de la medida (directo y indirectos) y los costes de su aplicación, gestión y seguimiento.

Ventajas

- Produce datos numéricos que permiten una clasificación sencilla de las medidas
- Fácil de entender para un público no experto

Inconveniente

- Dificultad de estudiar la relevancia económica de las medidas no estructurales.
- No tener en cuenta los daños inmateriales
- Beneficios indirecto difícil a considerar
- Carácter estática del análisis

Caso de uso

- Principalmente para medidas estructurales
- Probabilidad de sensibilidad climática baja
- Datos de calidad

Referencia

Feliu, E., García, G., Gutiérrez, L., Abajo, B., Mendizabal, M., Tapia, C., Alonso, A. 2015. Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 100 pag.

Beil ML, Hobbs BF, Elliott EM, Ellis H, Robinson Z (2001) An evaluation of multi-criteria methods in integrated assessment of climate policy. J Multi-Criteria Decis Anal 10:229–286

1 - Definir el alcance del análisis

¿Qué driver climático? ¿Qué medida? ¿Qué zona geográfica? ¿Duración del análisis? ¿Punto de interés? ¿Qué funciones de daño?

2 - Determinar el riesgo de la zona de estudio

- Modelización (peligro)
- Estudio de la exposición y de la vulnerabilidad
- Cruce de datos según los diferentes escenarios

Estado sin medida

↓

Daño medio anual (DMA)

Estado con medida

↓

Daño medio anual (DMA)

3 - Evaluar los beneficios

DMA sin medida
- DMA con medida
= **Daño medio anual evitado (DMAE)**

4 - Evaluar el coste de la medida

- Evaluación de los costes iniciales de la medida
- Evaluación de los costes de gestión y mantenimiento

5 - Calcular los indicadores del ACB

Revaluación (según el horizonte temporal)

Indicadores:

- Valor anual neto (VAN)
- relación beneficio/coste (B/C)

6 - Analizar la sensibilidad

Destacar el impacto de la incertidumbre de los datos de entrada y de las hipótesis sobre la variación de los indicadores (VAN, relación B/C)

Análisis multicriterio (AMC)

Descripción

El AMC es una herramienta socioeconómica que evalúa la eficacia y la rentabilidad de una medida sobre la base de criterios monetarios o no y que incluye, además de los aspectos económicos (herramientas de ACB), los aspectos sociales relacionados con la salud, el patrimonio, el medio ambiente, etc.

Ventajas

- Resultado visible de las debilidades y fortalezas de cada medida
- Conjunción con otros métodos
- Transparente y accesible
- Participación directa de los interesados

Inconveniente

- Dificultad de estudiar la relevancia económica de las medidas no estructurales.
- Carácter estática del análisis
- Estandarización (perdida de informaciones)
- Mucho datos costosos

Caso de uso

- Múltiples objetivos y datos cualitativos
- Múltiples agentes implicados
- Datos de calidad

Referencia

Feliu, E., García, G., Gutiérrez, L., Abajo, B., Mendizabal, M., Tapia, C., Alonso, A. 2015. Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 100 pag.

1. Identificar posibles opciones de adaptación

2. Acordar los criterios de decisión

3. Puntuar cada opción de adaptación frente a cada uno de los criterios

4. Normalizar las puntuaciones

5. Asignación de un peso a los criterios respondiendo a las prioridades

6. Clasificar y ordenar las opciones.

39

Toma de decisiones Robusta (RDM)

Descripción

La toma de decisiones robusta (RDM) es una herramienta que identifica la medida más robusta bajo una alta incertidumbre, es decir, la medida que será la más adecuada para un gran número de posibles escenarios futuros.

Ventajas

- Imagen clara de una medida óptima en diferentes escenarios.
- Ninguna situación sin resolver
- Datos digitales

Inconveniente

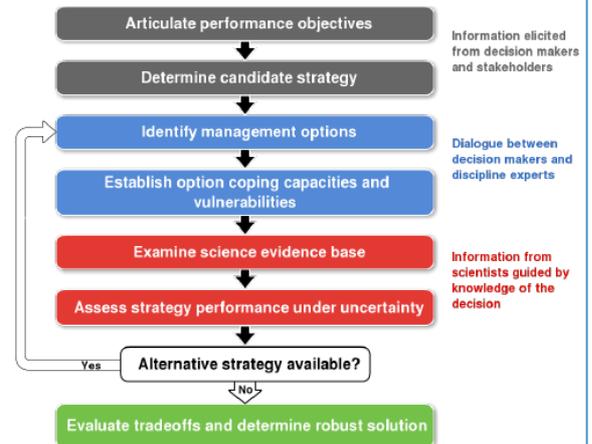
- Resultados difíciles de interpretar, poco accesibles para los no expertos
- Pesado desde el punto de vista computacional

Caso de uso

- Contexto de alta incertidumbre
- Hay un gran número de opciones de decisión posibles
- El espacio de decisión es lo suficientemente complejo para justificar el uso de modelos de simulación.

Referencia

- Lempert R.J., Groves D.C., Popper S.W. and Bankes S.C., 2006. A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios. *Management Science*, 52(4), pp. 514-528.
- Daron, Joseph. (2014). Challenges in using a Robust Decision Making approach to guide climate change adaptation in South Africa. *Climatic Change*. 132. 10.1007/s10584-014-1242-9.



Gestión adaptativa (GA)

Descripción

El objetivo de la gestión adaptativa es diseñar vías de adaptación flexibles y dinámicas basadas en el concepto de puntos de inflexión. Son los puntos en los que una determinada medida de adaptación ya no es suficiente para contrarrestar un riesgo climático específico y debe ser sustituida o complementada por otras.

Ventajas

- Permite ganar tiempo para planificar y reduce la presión de tomar decisiones ahora.
- Reduce la incertidumbre al utilizar los acontecimientos y no el tiempo como puntos de decisión
- Su flexibilidad permite que el plan refleje las circunstancias locales
- Mantiene las opciones abiertas hasta que haya más información, financiación o apoyo a las opciones
- Permite aprender a lo largo del proceso de adaptación.

Inconveniente

- Requiere de sistemas ambiciosos de monitorización basados en indicadores
- Requiere un seguimiento exhaustivo
- requiere una inversión flexible (presupuesto difícil de definir)

Caso de uso

- Contexto de alta incertidumbre
- Proyecto a gran escala, gran área de estudio, múltiples problemas

Referencia

- Marjolijn Haasnoot, Jan H. Kwakkel, Warren E. Walker, Judith ter Maat, Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world, *Global Environmental Change*, Volume 23, Issue 2, 2013, Pages 485-498, ISSN 0959-3780
- Mendizabal, M.; Peña, N.; Hooyberghs, H.; Lambrechts, G.; Sepulveda, J.; Zorita, S. Lessons Learned from Applying Adaptation Pathways in Heatwave Risk Management in Antwerp and Key Challenges for Further Development. *Sustainability* 2021, 13, 11481.

