



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

Estudio de las medidas de adaptación al cambio climático de los Puertos de Interés General de la Comunidad Valenciana

ANEJO 3

Evaluación de Riesgos

Autor: Alejandro Folch Ruiz
Tutora: M. Esther Gómez Martín
Cotutor: Jorge Molines Llodrá

Valencia, septiembre de 2022

ÍNDICE

1. OBJETIVO DEL ANEJO.....	3
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. CAMBIOS FUTUROS	4
2.2. CONCEPTOS	4
2.2.1. Factores del cambio climático	4
2.2.2. Detección y atribución (<i>detection and attribution</i>)	4
3. DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD (P)	4
4. DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS (C)	5
5. EVALUACIÓN DEL RIESGO	6
5.1. TEMPERATURA ATMOSFÉRICA.....	7
5.1.1. PELIGROS.....	7
5.1.2. RIESGOS.....	8
5.1.3. EVALUACIÓN.....	8
5.2. PRECIPITACIÓN	9
5.2.1. PELIGROS.....	9
5.2.2. RIESGOS.....	10
5.2.3. EVALUACIÓN.....	11
5.3. VIENTO.....	12
5.3.1. PELIGROS.....	12
5.3.2. RIESGOS.....	13
5.3.3. EVALUACIÓN.....	14
5.4. NIVEL DEL MAR.....	15
5.4.1. PELIGROS.....	15
5.4.2. RIESGOS.....	15
5.4.3. EVALUACIÓN.....	15
5.5. OLEAJE	16
5.5.1. PELIGROS.....	16
5.5.2. RIESGOS.....	16
5.5.3. EVALUACIÓN.....	18
5.6. TORMENTAS.....	19
5.6.1. PELIGROS.....	19
5.6.2. RIESGOS.....	19
5.6.3. EVALUACIÓN.....	20
6. RIESGOS INDIRECTOS.....	21
6.1. RECURSOS HÍDRICOS	22

6.2.	ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS.....	22
6.3.	INCENDIOS	22
6.4.	SALUD HUMANA.....	22
6.5.	SECTOR AGRARIO.....	22
6.6.	TURISMO	23
6.7.	RECURSOS COSTEROS.....	23
6.8.	ENERGÍA.....	23
6.9.	SOCIEDAD	23
6.10.	PATRIMONIO CULTURAL	24
7.	BIBLIOGRAFÍA	24

1. OBJETIVO DEL ANEJO

La finalidad de este anejo es identificar los peligros presentes y futuros en los puertos de interés general de la Comunidad Valenciana y realizar una evaluación de los riesgos que entrañan.

En ese aspecto, este anejo reúne la información sobre los puertos recogida en *Anejo 1. Contexto y Objetivos*, y la comprensión de los cambios proyectados en los parámetros y procesos climáticos a los que los activos y operaciones son susceptibles, para identificar y evaluar los riesgos potenciales asociados al cambio climático.

Con el fin de tomar decisiones adecuadas sobre las opciones de adaptación, los siguientes pasos implican entender cómo el cambio climático puede afectar a los riesgos existentes o introducir otros nuevos. Por lo tanto, se pretende identificar, cuantificar y comparar los riesgos climáticos (es decir, los cambios proyectados que tienen el potencial de causar daños, interrupciones en la operativa portuaria o efectos negativos similares) con la situación de referencia, destacando a su vez los futuros cambios en la vulnerabilidad de los activos, operaciones o sistemas críticos.

La evaluación de la vulnerabilidad puede ser un ejercicio en sí mismo o puede utilizarse para determinar el alcance de un análisis de riesgos más específico. Un análisis de riesgos del cambio climático explora la **probabilidad** relativa (posibilidad o probabilidad) de que se produzca el **peligro** climático y la naturaleza y la aceptabilidad relativa de las **consecuencias** asociadas (impactos).

2. INTRODUCCIÓN

La **ubicación** de los puertos en las costas y ríos supone una alta exposición a una gran variedad de peligros. Además, su vida útil de larga duración los convierte en altamente sensibles a los cambios en las condiciones climáticas.

El conjunto de peligros que genera el **cambio climático** tiene un **gran impacto** potencial en **los puertos** y compromete su actuación futura causando retrasos e interrupciones en la operativa portuaria o daños en las infraestructuras y activos. Como consecuencia, la economía regional, las cadenas de suministro y la población costera podrían verse especialmente afectadas.

Con la firma del Acuerdo de París por parte de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC) en 2015, se fomentaba la mitigación y adaptación al cambio climático. El esfuerzo de las *Naciones Unidas* y la creciente preocupación en el sector portuario se refleja en iniciativas como el *Programa de Acción Climática de los Puertos del Mundo* (*World Ports Climate Action Program*, WPCAP), que está integrado por puertos como el de Valencia (*World Port Sustainability Program*, 2021). Este tipo de iniciativas mejoran la resiliencia a los cambios en el clima a través de estrategias de adaptación, aunque se encuentren todavía en la etapa de planificación en la mayoría de los puertos.

Con respecto a la **adaptación**, el primer paso necesario es analizar los **riesgos** del cambio climático para obtener información acerca de la resiliencia de un determinado puerto y la necesidad de inversiones en las próximas décadas. Actualmente, pocos estudios han abordado este tema.

Por un lado, a escala de muchos puertos, los esfuerzos han estado centrados en indicadores de exposición, indicadores de vulnerabilidad y riesgos percibidos. Por otro lado, otros estudios que estiman pérdidas económicas regionales en los puertos se centran en las

consecuencias que tienen las interrupciones en las operaciones portuarias. Sin embargo, los efectos de los riesgos ocasionados por los múltiples peligros del cambio climático en las operaciones portuarias permanecen inciertos.

En definitiva, los resultados proporcionan conocimiento sobre las tendencias de un determinado puerto que pueden informar a los inversores sobre consideraciones financieras, sociales y medioambientales, y a los transportistas sobre la fiabilidad potencial de los puertos. Por último, también informan a los operadores portuarios y proyectistas respecto a infraestructura y equipamiento, normalmente diseñado para 20 o 50 años (Izaguirre et al., 2021).

2.1. CAMBIOS FUTUROS

A continuación, se presenta un **resumen** de los principales cambios futuros que se prevén en el contexto de la Comunidad Valenciana, recogidos en el *Anejo 2. Cambio Climático en la Comunidad Valenciana*.

FACTOR CLIMÁTICO	CAMBIOS FUTUROS (PELIGROS)
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de las temperaturas mínimas y máximas - Mayor número de días cálidos - Aumento de la duración de las olas de calor
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución moderada de la precipitación media - Aumento de las precipitaciones intensas
Viento	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución ligera en la velocidad media del viento - Aumento de las tormentas de viento
Nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del nivel del mar
Oleaje	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilidad con ligera disminución en la altura de ola media
Tormentas	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la frecuencia y severidad

Tabla 1. Cambios futuros relacionados con el clima de la Comunidad Valenciana. Fuente: elaboración propia.

2.2. CONCEPTOS

2.2.1. Factores del cambio climático

Los **factores** o **impulsores de impacto climático** se definen como condiciones físicas del sistema climático (por ejemplo, medios, eventos, extremos) que afectan a un elemento de la sociedad o de los ecosistemas. Dependiendo de la tolerancia del sistema, los factores climáticos y sus cambios pueden ser perjudiciales, beneficiosos, neutros o una mezcla de cada uno de ellos en los elementos del sistema y las regiones que interactúan.

2.2.2. Detección y atribución (*detection and attribution*)

La **detección** de cambios se define como el proceso de demostrar que el clima o un sistema afectado por el clima han cambiado en un sentido estadístico definido, sin indicar las razones del cambio. Un cambio identificado se detecta en las observaciones si la probabilidad de que ocurra casualmente debido únicamente a la variabilidad interna es baja, por ejemplo, menor del 10 %.

La **atribución** se define como el proceso de evaluación de las contribuciones relativas de varios factores causales a un cambio o evento con una evaluación formal de la confianza (IPCC, 2018).

3. DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD (P)

Hay muchas **incertidumbres** inherentes a la ciencia del clima, incluso en la proyección de **futuros cambios** en las emisiones de GEI y en la escala a la que se modelan los cambios. Por lo tanto, no es posible tener la certeza de que un determinado escenario de cambio climático se vaya a realizar.

En los casos en los que se ha identificado el potencial de un cambio en la vulnerabilidad bajo un determinado escenario, es por tanto necesario determinar la probabilidad relativa de que se produzca el peligro o se supere el umbral. La tabla siguiente ilustra cómo puede describirse y calificarse la probabilidad en términos cualitativos, cuantificarse utilizando una escala simple de 1 a 5 y presentarse utilizando un código de colores tras un análisis inicial.

DESCRIPCIÓN DE LA PROBABILIDAD	CALIFICACIÓN	
Se espera que la amenaza climática se produzca, que se supere el umbral o que haya otro impacto significativo dentro del horizonte de planificación de la adaptación en todos los escenarios de cambio climático investigados.	Casi seguro	5
Es probable que se produzca la amenaza climática, que se supere el umbral o que se produzca otro impacto significativo dentro del horizonte de planificación de la adaptación en algunos de los escenarios de cambio climático investigados.	Probable	4
Es posible que se produzca la amenaza climática, que se supere el umbral o que se produzca otro impacto significativo dentro del horizonte de planificación de la adaptación en algunos de los escenarios de cambio climático investigados.	Posible	3
El peligro climático podría producirse, o podría superarse el umbral o podría haber otro impacto dentro del horizonte de planificación de la adaptación en uno o más de los escenarios de cambio climático investigados.	Improbable	2
No se espera que el peligro climático (o la superación del umbral o la manifestación de un impacto) se produzca, salvo en circunstancias excepcionales, dentro del horizonte de planificación de la adaptación en la mayoría de los escenarios de cambio climático investigados.	Raro	1

Tabla 2. Determinación de la probabilidad. Fuente: (PIANC, 2020).

4. DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS (C)

Los peligros climáticos son fuentes de daño que pueden afectar a los activos, las operaciones y los sistemas de los puertos de muchas maneras diferentes. Los riesgos se pueden clasificar en cuatro grupos:

- **Riesgos físicos** (para la integridad de los activos, el estado, el riesgo físico)
- **Riesgos operativos** (para la seguridad, la protección, los retrasos, los cierres)
- **Riesgos empresariales** (para la continuidad, la reputación, la eficiencia, las finanzas)
- **Riesgos medioambientales** (contaminación, peligros, servicios del ecosistema)

La consecuencia global de un peligro de cambio climático para un activo, operación o sistema crítico es una función de la naturaleza del impacto o impactos, su magnitud y gravedad. Estas características pueden derivarse y describirse utilizando diferentes enfoques que van desde la opinión de los expertos o los métodos estadísticos simples hasta la modelización y la evaluación detalladas.

Las partes interesadas deben participar en la identificación y evaluación de los posibles impactos del cambio climático y sus consecuencias. Aunque los intereses y prioridades de las partes interesadas pueden ser diferentes de los de la Autoridad Portuaria, es esencial que se reconozcan para que se puedan reconocer y explorar posibles medidas de adaptación que beneficien a todos.

Al determinar la consecuencia potencial de un peligro identificado, siempre es importante tener en cuenta que:

- Un cambio de pequeña magnitud no siempre es de baja gravedad. Por ejemplo, un activo puede estar ya funcionando, o un sistema puede estar ya funcionando, muy cerca de un umbral crítico.

- Un cambio de gran magnitud no tiene por qué ser de gran gravedad. Por ejemplo, puede haber una redundancia significativa o una capacidad de adaptación disponible, lo que significa que incluso un cambio grande puede ser acomodado.

La tabla siguiente ilustra cómo se deriva la calificación de las consecuencias **de la materialización de un determinado riesgo**, sobre la base de una descripción genérica y cualitativa. Estos criterios se emplearán en el desarrollo de este estudio.

DESCRIPCIÓN DE LAS CONSECUENCIAS	CALIFICACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> - Afectar de forma irremplazable o permanente a activos, operaciones o sistemas críticos y, por tanto, amenazar la viabilidad del puerto con posibles implicaciones para la economía regional o nacional. - Provocar potencialmente la pérdida de vidas. - Causar una contaminación significativa e irreversible con sustancias peligrosas. - Impedir la importación o distribución de ayuda tras la catástrofe. - Tener implicaciones similares potencialmente catastróficas. 	Catastrófico	5
<ul style="list-style-type: none"> - Tener un efecto significativo y negativo a largo plazo en los activos, operaciones o sistemas críticos y, por tanto, comprometer la continuidad de la actividad del puerto. - Provocar potencialmente lesiones graves. - Provocar impactos medioambientales significativos o irreversibles. - Comprometer la importación o distribución de ayuda tras la catástrofe. - Tener implicaciones similares potencialmente importantes. 	Grave	4
<ul style="list-style-type: none"> - Tener un efecto negativo, localmente significativo y/o a corto o medio plazo en los activos, operaciones o sistemas críticos con implicaciones para la continuidad de la actividad en las partes afectadas del puerto. - Provocar potencialmente lesiones menores. - Causar impactos medioambientales moderadamente significativos. - Afectar a la capacidad de la instalación para importar o distribuir eficazmente la ayuda tras la catástrofe. - Tener implicaciones similares moderadamente significativas. 	Moderado	3
<ul style="list-style-type: none"> - Afectar temporalmente a la eficiencia o eficacia de activos, operaciones o sistemas críticos o a aspectos de los mismos, pero sin implicaciones significativas para la continuidad de la actividad en general. - Causar impactos medioambientales de poca importancia. - Interrumpir aspectos de la importación o distribución de ayuda tras la catástrofe. - Tener implicaciones similares de poca importancia. 	Leve	2
<ul style="list-style-type: none"> - Tener implicaciones insignificantes para los activos, operaciones o sistemas críticos y, por tanto, para la continuidad de la actividad. - Afectar de forma insignificante al medio ambiente o a la importación y distribución de ayuda tras la catástrofe. 	Insignificante	1

Tabla 3. Determinación de las consecuencias. Fuente: (PIANC, 2020).

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Combinando la **probabilidad** de la amenaza climática y las calificaciones de las **consecuencias** se puede elaborar una matriz de riesgo. A continuación, se muestra el formato típico para presentar los resultados del análisis de riesgos utilizando un enfoque de "semáforo" ampliamente aplicado. En este ejemplo, las puntuaciones de riesgo se muestran mediante colores y/o valores numéricos.

Para obtener el nivel de riesgo, simplemente se multiplicará el valor de la probabilidad (1-5) y el valor de las consecuencias (1-5), de manera que se obtendrá un valor entre 1 y 25, asociado con un nivel del riesgo determinado.

RIESGO		↓ Probabilidad ↓				
		Raro (1)	Improbable (2)	Posible (3)	Probable (4)	Casi seguro (5)
Impacto →	Catastrófico (5)	5	10	15	20	25
	Grave (4)	4	8	12	16	20
	Moderado (3)	3	6	9	12	15
	Leve (2)	2	4	6	8	10
	Insignificante (1)	1	2	3	4	5

Tabla 4. Clasificación del riesgo (1). Fuente: (PIANC, 2020).

Cada nivel de riesgo requiere aplicar un tipo de medida, que van desde las menos prioritarias a las más prioritarias, según se establece en la tabla siguiente.

NIVEL DE RIESGO	ACCIÓN DE ADAPTACIÓN REQUERIDA
Muy alto (20-25)	Se requiere una acción de adaptación inmediata
Alto (10-19)	Se requiere una acción de adaptación de alta prioridad
Moderado (5-9)	Las acciones de adaptación se llevarán a cabo mediante la gestión diaria (prioridad media)
Bajo (0-4)	Los riesgos se gestionarán mediante procedimientos internos rutinarios (prioridad baja)

Tabla 5. Clasificación del riesgo (2). Fuente: (PIANC, 2020).

Posteriormente se realizará una evaluación de los riesgos asociados a cada una de las variables o factores climáticos que se han estudiado hasta el momento.

Es importante destacar que esta evaluación ofrece **resultados generales** de cada uno de los riesgos, considerando como horizonte temporal el año 2050. **El nivel de riesgo es una forma de evaluar el impacto que podría tener el desarrollo de un fenómeno en un momento determinado**, de manera que una adaptación previa ayudaría a disminuir el impacto del riesgo. El nivel de riesgo puede variar en función de la época del año y de la coyuntura del tiempo en cada momento.

5.1. TEMPERATURA ATMOSFÉRICA

En primer lugar, se muestra una tabla con las tendencias de los cambios que se producirán en el futuro, según las indicaciones de la literatura del IPCC y el IPCC WGI Interactive Atlas.

Factor climático	Cambio Futuro	Tendencia
Temperatura media de la superficie	(↑) Alta confianza en el aumento	Tendencia al alza sin atribución
Calor extremo	(↑) Confianza alta de aumento	Tendencia al alza con alta confianza de atribución

Tabla 6. Cambios futuros relacionados con la temperatura. Fuente: (IPCC AR6-WGI Atlas, 2022).

Seguidamente se describirán los peligros y los riesgos asociados a la temperatura atmosférica y sus cambios futuros.

5.1.1. PELIGROS

5.1.1.1. Aumento de la temperatura media

Desde la década de 1980, el calentamiento atmosférico del Mediterráneo ha superado las tasas medias mundiales (confianza alta). Se prevé que las futuras tasas de calentamiento anual y de verano sean un 20% y un 50% mayores que la media anual global, respectivamente.

Por lo tanto, considerando los indicadores del IPCC, este fenómeno se considera **casi seguro (5)**.

5.1.1.2. Aumento de la duración de las olas de calor

Las temperaturas extremas y las olas de calor han aumentado en intensidad, número y duración durante las últimas décadas, sobre todo en verano, y se prevé que sigan aumentando (confianza alta).

Los episodios de calor extremo vinculados a olas de calor serán cada vez más frecuentes y tendrán una mayor duración. Se espera que en el futuro haya menos olas de calor porque las que ocurran abarcarán una mayor cantidad de días.

El aumento de la duración de las olas de calor es un fenómeno **casi seguro (5)**.

5.1.2. RIESGOS

5.1.2.1. Empeoramiento de las condiciones de trabajo en el exterior

Los estibadores que trabaja en el exterior de las terminales portuarias podrán estar sujetos a condiciones de trabajo, en la temporada de verano, que puedan producirles golpes de calor.

5.1.2.2. Aumento de la demanda energética

Se prevé que el calentamiento futuro conduzca a la superación de los umbrales del *índice de grados-día de refrigeración*, Esto es la unidad de medida del grado de rigor climático de un lugar, en la temporada cálida, ya que relaciona la temperatura media con una cierta temperatura de confort para refrigeración.

De esta manera, se prevé un aumento potencial de la demanda de energía para la refrigeración en el sur de Europa, con incrementos que probablemente superen el 40% en algunas zonas para el año 2050 bajo RCP8.5, con alta confianza (IPCC WGI, 2021).

5.1.3. EVALUACIÓN

Puerto	Peligro	Riesgo	Categoría	P	C	Nivel de riesgo	
Todos	Aumento de la temperatura media Aumento de la duración de las olas de calor	TP1 - Empeoramiento de las condiciones de trabajo en el exterior	Operativo	5	4	20	Muy alto
		TP2 - Aumento en el mantenimiento de las instalaciones y equipos	Empresarial	4	2	8	Moderado
Valencia	Aumento de la temperatura media Aumento de la duración de las olas de calor	TP3 - Aumento de la demanda energética (contenedores frigoríficos)	Empresarial	5	3	15	Alto

Tabla 7. Evaluación de riesgos relacionados con la temperatura. Fuente: elaboración propia.

- **TP1 - Empeoramiento de las condiciones de trabajo en el exterior**

El aumento de las temperaturas y la duración de las olas de calor, sobre todo en verano, es algo casi seguro (5) y las consecuencias pueden ser graves (4) en relación con las condiciones de trabajo. Este riesgo se cataloga como **muy alto** debido a que puede ocasionar en última instancia la muerte de un trabajador por un golpe de calor si no se cumplen unas determinadas condiciones de trabajo compatibles con la salud. Se trata de un riesgo que requiere acción de adaptación inmediata.

- **TP2 - Aumento en el mantenimiento de las instalaciones y equipos**

Toda la maquinaria e instalaciones puede verse sometida a un calor intenso que deteriore con más rapidez sus componentes, de manera que tanto el mantenimiento preventivo como correctivo se realicen con una mayor frecuencia. A pesar de que la probabilidad es alta (4), las consecuencias son de carácter leve (2), sin llegar a tener grandes implicaciones, más

allá de un mayor gasto en mantenimiento. Se trata de un nivel de riesgo **moderado** que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **TP3 - Aumento de la demanda energética (contenedores frigoríficos)**

Los contenedores frigoríficos necesitan estar conectados a la red eléctrica para que su instalación funcione. Así se mantiene una determinada temperatura en su interior para conservar en buen estado las mercancías. Este aspecto tiene especial importancia en el **Puerto de Valencia**, donde hay casi 3.000 conexiones para contenedores frigoríficos. Se trata de un riesgo nivel de riesgo **alto** que requiere adaptación de alta prioridad.

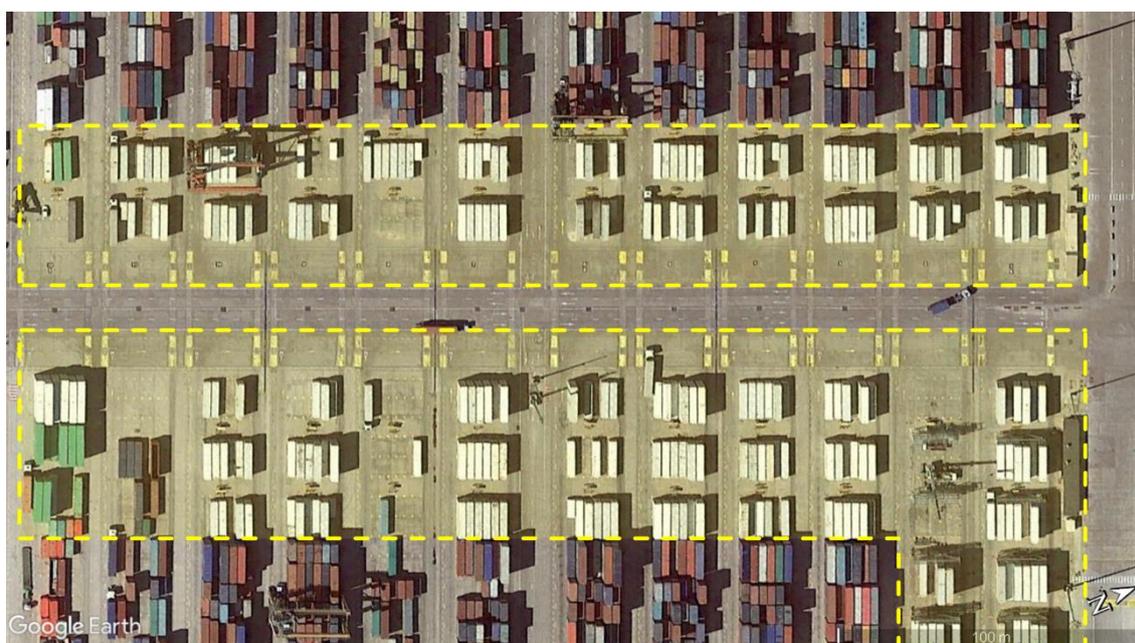


Figura 1. Espacio para contenedores frigoríficos en la terminal gestionada por CSP en el Puerto de Valencia. Fuente: Google Earth.

5.2. PRECIPITACIÓN

En primer lugar, se muestra una tabla con las tendencias de los cambios que se producirán en el futuro, según las indicaciones de la literatura del IPCC y el *IPCC WGI Interactive Atlas*.

Factor climático	Cambio Futuro	Tendencia
Precipitación media	(↓) Confianza alta de disminución	-
Fuertes precipitaciones e inundaciones pluviales	(↑) Confianza media de aumento	-

Tabla 8. Cambios futuros relacionados con la precipitación. Fuente: (IPCC AR6-WGI Atlas, 2022).

Seguidamente se describirán los peligros y los riesgos asociados a la precipitación y sus cambios futuros.

5.2.1. PELIGROS

5.2.1.1. Disminución moderada de la precipitación media

Se prevé que las precipitaciones disminuyan (confianza alta para niveles de calentamiento global superiores a 2 °C) en aproximadamente un 4% por cada 1 °C de calentamiento global, para todas las estaciones (IPCC WGII, 2022).

Así pues, las precipitaciones disminuirán de forma generalmente moderada. Este fenómeno se considera **casi seguro (5)**.

5.2.1.2. Aumento de las precipitaciones intensas

Las proyecciones basadas en múltiples líneas de evidencia, desde las escalas de modelos globales hasta las convectivas, muestran una confianza alta en el aumento de las precipitaciones extremas en las regiones del norte, centro y este de Europa y en la zona alpina. Se proyectan aumentos con una confianza media para la cuenca mediterránea (con un gradiente negativo hacia el sur) para mediados y finales de siglo bajo RCP4.5, RCP8.5 y SSP5-8.5 y para un nivel de calentamiento global de 2°C y superior (IPCC WGI, 2021).

Se considera un fenómeno **probable (4)**.

5.2.2. RIESGOS

Los puertos mediterráneos son especialmente sensibles a los fenómenos de la **gota fría**, que se producen típicamente a finales de verano e inicio del otoño.

5.2.2.1. Reducción de visibilidad

Como consecuencia de las precipitaciones extremas, algunos puertos pueden tener problemas de **visibilidad** para la maniobrabilidad de los buques, así como padecer **inundaciones** en viales interiores y terminales e incluso en los accesos al puerto.

5.2.2.2. Interrupción de la operativa

En caso de precipitaciones muy intensas, es necesario paralizar las **operaciones** de carga/descarga de gráneles sólidos, o limitar algunas operaciones en otras terminales. También puede darse algún fallo eléctrico como consecuencia de la intrusión de agua.

En el **Puerto de Valencia** las precipitaciones extremas pueden obligar a liberar el atraque frente a la desembocadura del río Turia para facilitar la evacuación de las aguas.



Figura 2. Desembocadura del antiguo cauce del río Turia. Fuente: elaboración propia.

5.2.2.3. Vertidos

Como consecuencia de las lluvias intensas, se producen también **vertidos** en las dársenas interiores del puerto por rebose de la red de saneamiento de la ciudad, con la afección consiguiente a la calidad del agua.

5.2.3. EVALUACIÓN

Puerto	Peligro	Riesgo	Categoría	P	C	Nivel de riesgo	
Todos	Aumento de las precipitaciones intensas	PR1 - Reducción de visibilidad	Operativo	4	2	8	Moderado
		PR2 - Inundaciones	Operativo	4	2	8	Moderado
		PR3 - Interrupción de la operativa (carga/descarga)	Operativo Empresarial	4	3	12	Alto
		PR4 - Fallo eléctrico en equipos	Operativo Físico	3	1	3	Bajo
		PR5 - Vertidos	Medioambiental	4	2	8	Moderado

Tabla 9. Evaluación de riesgos relacionados con la precipitación. Fuente: elaboración propia.

- **PR1 - Reducción de visibilidad**

La reducción de visibilidad es especialmente peligrosa y tiene como impacto asociado la paralización de la operativa. Sus consecuencias se consideran generalmente leves, con afectaciones de carácter temporal. Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **PR2 - Inundaciones**

Las fuertes precipitaciones pueden agotar la capacidad de drenaje de las instalaciones portuarias y producir inundaciones que dejen zonas impracticables. Además, si es el caso de una terminal de graneles sólidos a la intemperie, como en el **Puerto de Castellón** y el **Puerto de Alicante**, pueden llegar a producirse escorrentías que arrastren el material a las dársenas. Este riesgo tiene los siguientes impactos asociados:

- Alteración de la calidad de las aguas y posibles incumplimientos normativos.
- Reducción de calados y necesidad de dragados de mantenimiento.
- Contaminación de sedimentos e incremento del coste de dragado.
- Daños a otras actividades por alteración de la calidad del agua.
- Aumento de riesgo de eutrofización y de generación de malos olores.



Figura 3. Terminal de graneles sólidos en la zona norte del Puerto de Castellón. Fuente: Google Earth.

Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere una gestión diaria.

- **PR3 - Interrupción de la operativa (carga/descarga)**

Este riesgo es habitual si se produce una fuerte precipitación. En ese caso las terminales no pueden operar con normalidad, llegándose a producir el cierre total del puerto, ocasionando retrasos y pérdidas económicas. Se trata de un riesgo **alto** que requiere adaptación de alta prioridad.

- **PR4 - Fallo eléctrico en equipos**

Las filtraciones de agua en la maquinaria pueden dar lugar a un fallo eléctrico, aunque se espera que los equipos estén preparados para este tipo de ocurrencias. Se trata de un riesgo **bajo**, que requiere ser incluido en la gestión rutinaria.

- **PR5 - Vertidos**

Este riesgo está muy vinculado al riesgo de inundación porque tiene los mismos impactos. Las escorrentías generadas por las precipitaciones arrastran el material a las dársenas, en forma de vertidos con el siguiente impacto:

- Alteración de la calidad de las aguas y posibles incumplimientos normativos.
- Reducción de calados y necesidad de dragados de mantenimiento.
- Contaminación de sedimentos e incremento del coste de dragado.
- Daños a otras actividades por alteración de la calidad del agua.
- Aumento de riesgo de eutrofización y de generación de malos olores.

Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere una gestión diaria.

5.3. VIENTO

En primer lugar, se muestra una tabla con las tendencias de los cambios que se producirán en el futuro, según las indicaciones de la literatura del IPCC y el *IPCC WGI Interactive Atlas*.

Factor climático	Cambio Futuro	Tendencia
Velocidad media del viento	(↓) Confianza alta de disminución	Tendencia a la baja sin atribución
Tormenta de viento severa	(↑) Confianza media de aumento	-

Tabla 10. Cambios futuros relacionados con el viento. Fuente: (IPCC AR6-WGI Atlas, 2022).

A continuación, se describirán los peligros y los riesgos asociados al viento y sus cambios futuros.

5.3.1. PELIGROS

5.3.1.1. Disminución moderada de la velocidad del viento

Debido a los cambios en los patrones de velocidad media del viento en superficie y al desplazamiento hacia el polo de la salida de la corriente en chorro del Atlántico Norte, se prevé que las velocidades medias del viento en superficie disminuyan en las zonas mediterráneas bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a mediados de siglo y más allá, o para un calentamiento global de 2°C y superiores (confianza alta), con la consiguiente disminución del potencial eólico (confianza media) (IPCC WGI, 2021).

Este fenómeno se considera como **probable (4)**.

5.3.1.2. Aumento de la intensidad de los vientos extremos

Se prevé que la frecuencia de los ciclones tropicales en el Mediterráneo disminuya (confianza media), pero que su intensidad aumente a mediados de siglo y más allá y para niveles de calentamiento global de 2°C o más (IPCC WGI, 2021).

Este fenómeno se considera como **posible (3)**.

5.3.2. RIESGOS

5.3.2.1. Limitación de acceso y maniobrabilidad de buques

Los vientos extremos limitan ocasionalmente el **acceso** de determinados tipos de buques al puerto y sus **maniobras** de atraque y desatraque en pantalanes. Excepcionalmente, pueden llegar a poner en riesgo la **permanencia** segura de los buques amarrados y/o fondeados.

El 28 de septiembre de 2012, dos buques quedaron varados en la playa de El Saler (**Valencia**) después de garrar cuando estaban en el fondeadero de Valencia. La causa fue el fuerte viento del NE (60 nudos) del temporal marítimo.



Figura 4. Dos buques varados en la playa de El Saler (Valencia) el 28 de septiembre de 2012. Fuente: (Puertos del Estado & Ministerio de Fomento, 2016).

5.3.2.2. Rotura de amarras

Cuando en el interior de los puertos los esfuerzos sobre los cabos de las amarras son muy altos, puede ser necesario reforzarlos e incluso utilizar un remolcador de apoyo en caso de buques grandes con mucha superficie expuesta al viento.

5.3.2.3. Interrupción de la operativa

Los vientos extremos también dificultan la operativa de **carga** y **descarga** de determinadas mercancías. En el caso de contenedores, pueden obligar a paralizar el servicio de grúas portuarias o a limitar la altura de su apilamiento, debido a que se superan determinados umbrales en la velocidad del viento.

5.3.2.4. Daños en edificaciones

Las fuertes rachas de vientos fuertes también ocasionan daños en edificaciones e instalaciones del recinto portuario.

5.3.2.5. Reducción de la calidad del aire

Con todo, los problemas más frecuentes en el sistema portuario español provienen de la incidencia que tiene la manipulación de **gráneles pulverulentos** (cereales, haba de soja, etc.) en el aumento de partículas sólidas en **suspensión** y en el empeoramiento de la calidad del aire, que afectan a operadores portuarios adyacentes y a áreas urbanas próximas.

Esta afección puede conllevar la paralización de las operaciones en caso de superación de límites legales, riesgo de dispersión de alérgenos e incluso en situaciones de especial sensibilización de la población afectada.

5.3.3. EVALUACIÓN

Puerto	Peligro	Riesgo	Categoría	P	C	Nivel de riesgo	
Todos	Aumento de la intensidad de los vientos extremos (tormentas de viento)	V1 - Limitación de acceso y maniobrabilidad de buques	Operativo	3	3	9	Moderado
		V2 - Rotura de amarras	Operativo Físico	3	3	9	Moderado
		V3 - Interrupción operativa (carga/descarga)	Operativo Empresarial	4	3	12	Alto
		V4 - Daños en edificaciones	Físico Empresarial	3	1	3	Bajo
Castellón Alicante	Aumento de la intensidad de los vientos extremos (tormentas de viento)	V5 - Reducción de la calidad del aire (graneles pulverulentos en suspensión)	Medioambiental	3	2	6	Moderado

Figura 5. Evaluación de riesgos relacionados con el viento. Fuente: elaboración propia.

- **V1 - Limitación de acceso y maniobrabilidad de buques**

Un temporal con fuerte viento es motivo de cierre del acceso de buques al puerto. Es preferible esperar antes que realizar una maniobra arriesgada tanto para el propio buque como para los prácticos. Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **V2 - Rotura de amarras**

La rotura de amarras de un buque puede llegar a producirse desencadenando una actuación rápida por parte de los remolcadores, que incluso puede ser peligrosa si el estado del clima crea oleaje considerable en las dársenas del puerto. Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **V3 - Interrupción operativa (carga/descarga)**

Este riesgo es habitual si se produce una tormenta con fuertes vientos. En ese caso las terminales no pueden operar con normalidad porque se superan los umbrales de velocidad del viento, llegándose a producir el cierre total del puerto, ocasionando retrasos y pérdidas económicas. Se trata de un riesgo **alto** que requiere adaptación de alta prioridad.

- **V4 - Daños en edificaciones**

Los daños en edificaciones tienen impactos físicos y financieros. Se trata de un riesgo **bajo**, que requiere ser incluido en la gestión rutinaria.

- **V5 - Reducción de la calidad del aire**

El viento se convierte en un agente de transporte de los graneles sólidos, especialmente si se trata de fuerte viento que actúa sobre almacenamiento de graneles sólidos a la intemperie, como ocurre en el **Puerto de Castellón** y el **Puerto de Alicante**. Este riesgo tiene los siguientes impactos asociados:

- Contaminación del aire y posibles incumplimientos normativos.
- Contaminación del agua por deposición de partículas.
- Problemas de seguridad por deterioro de la visibilidad.
- Daños a otras actividades o mercancías por deposición de polvo y contaminación cruzada.
- Incremento del coste de mantenimiento y limpieza de maquinaria y de instalaciones.
- Incremento de los riesgos de salud laboral.

Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

5.4. NIVEL DEL MAR

En primer lugar, se muestra una tabla con las tendencias de los cambios que se producirán en el futuro, según las indicaciones de la literatura del IPCC y el *IPCC WGI Interactive Atlas*.

Impulsores del impacto climático	Cambio Futuro	Tendencia
Nivel del mar relativo	(↑) Confianza alta de aumento	Tendencia al alza sin atribución
Inundación costera	(↑) Confianza alta de aumento	-
Erosión costera	(↑) Confianza alta de aumento	-

Tabla 11. Cambios futuros relacionados con el nivel del mar. Fuente: (IPCC AR6-WGI Atlas, 2022).

A continuación, se describirán los peligros y los riesgos asociados al nivel del mar y sus cambios futuros.

5.4.1. PELIGROS

5.4.1.1. Aumento del nivel del mar

El nivel medio del mar en el Mediterráneo ha subido $1,4 \pm 0,2$ mm al año durante el siglo XX y se aceleró $2,4 \pm 0,5$ mm anuales para el período 1993-2012 y $3,4$ mm anuales para el período 1990-2009 en el noroeste (confianza media). La tendencia de aceleración es robusta, aunque diferentes métodos y horizontes temporales arrojan tasas de cambio ligeramente diferentes.

Para 2150, es probable que el nivel del mar alcance los $0,52$ m [$0,32-0,81$] para el escenario SSP1-1,9, y los $1,22$ m [$0,91-1,78$] para el escenario SSP5-8,5 en relación con 1996-2014 (confianza media). Los procesos de deshielo en Groenlandia y la Antártida podrían dar lugar a niveles incluso más elevados (confianza baja).

El aumento del nivel del mar es un fenómeno **casi seguro (5)**.

5.4.2. RIESGOS

5.4.2.1. Inundaciones

Las inundaciones por efecto de la subida del nivel del mar se dan excepcionalmente y en un número muy reducido de muelles portuarios. Los problemas ocasionados por las oscilaciones del nivel del mar de alta frecuencia (las denominadas *rissagas* o *meteotsunamis*) en ciertas áreas del Mediterráneo son también excepcionales, sin llegar a paralizar la actividad portuaria en ninguno de los puertos de ámbito estatal.

5.4.2.2. Interrupción de la operativa

Los problemas de operativa portuaria causados por fenómenos de ondas largas producidas por oleaje se dan en alrededor de un tercio de los puertos, aunque en general con escasa frecuencia y con una limitada incidencia. Entre sus afecciones se citan el movimiento de buques atracados en dársenas interiores, la rotura de amarras o daños en pantalanes y alguna estructura.

5.4.3. EVALUACIÓN

Puerto	Peligro	Riesgo	Categoría	P	C	Nivel de riesgo	
Todos	Aumento del nivel del mar (influencia del cambio climático)	NM1 - Inundaciones	Operativo Físico	2	2	4	Bajo
		NM2 - Interrupción operativa	Operativo	2	2	4	Bajo

Figura 6. Evaluación de riesgos relacionados con el nivel del mar.

- **NM1 - Inundaciones**

Por una parte, la probabilidad de que se produzca una inundación debida a la subida del nivel del mar por la influencia del cambio climático es muy baja (2). Es más probable que esa subida facilite la aparición de inundaciones provocada principalmente por otros fenómenos como la marejada ciclónica. Por otra parte, las consecuencias serían leves (2). Se trata, por tanto, de un nivel de riesgo **bajo**, que demanda ser incluido en la gestión rutinaria.

- **NM2 - Interrupción operativa**

De la misma manera, la probabilidad de que se produzca interrupción en la operativa debida a la subida del nivel del mar por la influencia del cambio climático es muy baja. Es un nivel riesgo bajo, que sería suficiente con ser incluido en la gestión rutinaria.

5.5. OLEAJE

5.5.1. PELIGROS

5.5.1.1. Aumento en la altura de ola significativa

El aumento de la altura de ola significativa es un peligro que puede provocar consecuencias notables a largo plazo. Sin embargo, es un evento que está catalogado como improbable.

5.5.1.2. Cambio en la dirección del oleaje

En el mediterráneo la dirección media del oleaje tiende a aumentar o disminuir de forma local, aunque siempre estos cambios se esperan que sean inferiores al 10% (Ramírez Pérez et al., 2019).

5.5.2. RIESGOS

El oleaje puede condicionar la operativa de los puertos de muchas maneras, tanto en la Zona I como en la Zona II.

5.5.2.1. Limitación de la maniobrabilidad de los buques

Un oleaje excesivo en la bocana puede dificultar la maniobrabilidad de los buques y suponer una limitación para su entrada y salida. También puede limitar la toma de remolque o condicionar su operación.

5.5.2.2. Limitación del embarque/desembarque de practicaje

En bastantes puertos, el fuerte oleaje puede llegar a impedir el embarque/desembarque de **practicaje**, sea parcialmente o totalmente, lo que se traduce en la suspensión del servicio y la consiguiente paralización del puerto.

El canal de navegación de entrada al **Puerto de Castellón** tiene tres alineaciones debido a la existencia de la isla pantalán de la petrolera BP, por lo que en la bocana los buques están expuestos lateralmente al efecto de los temporales y los prácticos no siempre están dispuestos a embarcar en el exterior, teniéndose que cerrar el puerto por este motivo.

5.5.2.3. Limitación en el fondeo

Un oleaje excesivo en el exterior del puerto puede además imposibilitar el fondeo de buques o hacer **inoperativos** algunos **muelles** exteriores.

5.5.2.4. Rebase

El rebase causa problemas esporádicos en la operación portuaria en alrededor la mitad de los puertos españoles. En buena parte de las ocasiones suele ser suficiente interrumpir el paso de **vehículos** y de **personas** en las zonas más expuestas con objeto de evitar daños. En un menor número de casos, el rebase puede reducir la actividad portuaria en determinados muelles, al afectar a instalaciones portuarias, provocar el cierre operativo de algunos atraques o impedir la movilidad por los viales de dique y contradique.



Figura 7. Rebase en el Puerto Olímpico de Barcelona. Fuente: (Diario Público, 2020).

El hecho de que un dique sea rebasado con cierta frecuencia no implica necesariamente que sea un problema, siempre que se haya tenido en cuenta en su diseño.

5.5.2.5. Agitación interior

La agitación interior también incide en un número considerable de puertos. Según sea su magnitud, la agitación interior puede:

- Dificultar la **navegación** en el acceso a muelles (en mayor medida a las embarcaciones menores).
- Complicar el **amarre** de ciertas embarcaciones, por ejemplo, la experiencia operativa de estos últimos años ha demostrado que, con ocasión de temporales duros, se ven afectadas las descargas de gráneles sólidos, siendo necesario el uso de remolcadores que empujen al buque contra las defensas para evitar la rotura de amarras).
- Dificultar la **operativa** en atraques de taludes interiores, como en el caso de la operación de buques ro-ro en el muelle 13 del puerto de Alicante con dirección de oleaje sur, o del embarque en buques de pasaje conectados con pasarelas mecánicas.
- Entorpecer las operaciones de **carga y descarga** en pantalanes interiores.

5.5.2.6. Fallo en diques de abrigo

Como consecuencia de la exposición continuada a eventos de oleaje extremo, algunos tramos de los diques de abrigo pueden manifestar los siguientes fallos:

- Rotura del **espaldón**
- Extracción piezas del **manto**



Figura 8. Rotura del espaldón en varios tramos del dique de abrigo del puerto deportivo “Port Fòrum” en Barcelona, como consecuencia de un temporal. Fuente: (elperiodico, 2017).

5.5.3. EVALUACIÓN

Puerto	Peligro	Riesgo	Categoría	P	C	Nivel de riesgo	
Todos	Aumento en la altura de ola significativa	OL1 - Limitación de la maniobrabilidad de los buques	Operativo	2	2	4	Bajo
		OL2 - Limitación del embarque/desembarque de practicaje	Operativo	2	2	4	Bajo
		OL3 - Limitación en el fondeo	Operativo	2	2	4	Bajo
	Aumento en la altura de ola significativa Cambio en la dirección del oleaje	OL4 - Agitación interior	Operativo	2	2	4	Bajo
	Aumento en la altura de ola significativa Aumento del nivel del mar Temporales marítimos con mayor severidad	OL5 - Rebase (daños en instalaciones)	Operativo Físico	4	4	16	Alto
		OL6 - Rebase (daños en personas)	Operativo	4	5	20	Muy alto
		OL7 - Modo de fallo dique (rotura del espaldón)	Operativo Físico	1	5	5	Moderado
		OL8 - Modo de fallo dique (extracción piezas del manto)	Operativo Físico	2	4	8	Moderado

Figura 9. Evaluación de riesgos relacionados con el oleaje. Fuente: elaboración propia.

- **OL1 - Limitación de la maniobrabilidad de los buques**

Un temporal con fuerte oleaje es motivo de cierre del acceso de buques al puerto. Es preferible esperar antes que realizar una maniobra arriesgada tanto para el propio buque como para los prácticos. Se trata de un nivel de riesgo **bajo**, que requiere ser incluido en la gestión rutinaria.

- **OL2 - Limitación del embarque/desembarque de practicaje**

En relación con el riesgo anterior, un oleaje con mayor altura de ola significativa puede llegar a impedir también el embarque/desembarque de practicaje, de forma que el puerto debe

quedar cerrado al tráfico marítimo. Se trata de un nivel de riesgo **bajo**, que requiere ser incluido en la gestión rutinaria.

- **OL3 - Limitación en el fondeo**

La limitación en el fondeo puede darse en casos excepcionales, donde incluso se compromete la estabilidad del buque fondeado. Si se reúnen esas condiciones, es posible que el resto de los riesgos asociados al oleaje se estén produciendo. Es poco probable que ocurra y se trata de un nivel de riesgo **bajo**, que requiere ser incluido en la gestión rutinaria.

- **OL4 - Agitación interior**

La agitación interior puede verse incrementada por cambios en la dirección del oleaje o el aumento en la altura de ola significativa. Sin embargo, no entraña graves consecuencias y el nivel del riesgo es **bajo**. Bastaría con incluir el riesgo en la gestión rutinaria.

- **OL5 - Rebase (daños en instalaciones)**

El rebase se produce como consecuencia de fenómenos extremos de oleaje vinculados a temporales. Es uno de los fenómenos que puede tener más impacto si se agrupa con el aumento del nivel del mar. Así pues, el caudal de agua que rebasa el dique afectará en mayor o menor medida a los activos que se encuentren tras el espaldón, causando daños físicos y la necesidad de realizar inversiones para reparar los desperfectos.

La probabilidad de que se produzcan temporales que causen rebase es alta (4) y las consecuencias son graves (4). Por lo tanto, el nivel de riesgo es **alto**, cuando se produce un temporal, habrá rebase.

- **OL6 - Rebase (daños en personas)**

Cuando se superan ciertos caudales de agua, la integridad física de las personas está en peligro. Parece evidente pensar que en una situación de temporal nadie estará transitando por el trasdós del dique, pero si eso ocurriera podrían ocurrir una situación catastrófica (5), con pérdida de vidas humanas. El nivel de riesgo se considera **muy alto**.

- **OL7 - Modo de fallo dique (rotura del espaldón)**

La rotura del espaldón del dique se produciría por la acción continuada de oleajes intensos. Es raro (1) que se materialice este riesgo, pero las consecuencias serían catastróficas (5), con la necesidad de realizar grandes inversiones. El nivel de riesgo es **moderado**.

- **OL8 - Modo de fallo dique (extracción piezas del manto)**

La extracción de piezas del manto también se produciría por la acción continuada de oleajes intensos sobre diques en talud, especialmente a más profundidad, donde el oleaje rompe contra el propio dique. Es improbable (2) que se materialice este riesgo, pero las consecuencias serían graves (4), con la necesidad de realizar grandes inversiones. El nivel de riesgo es **moderado**.

5.6. TORMENTAS

5.6.1. PELIGROS

Los peligros asociados a una fuerte tormenta responden a la gran mayoría de peligros que se han presentado anteriormente relacionados con las variables: precipitación, viento, nivel del mar y oleaje.

5.6.2. RIESGOS

Los riesgos asociados a fuertes tormentas (DANAs, temporales, marejadas ciclónicas, *medicanes*) incluyen los que están asociados a las variables precipitación, viento, nivel del mar y oleaje, es decir, los riesgos se presentan en conjunto. Por lo tanto, en la

correspondiente evaluación se mencionarán los más relevantes cuando se produce un fenómeno de estas características.

5.6.3. EVALUACIÓN

Puerto	Peligro	Riesgo	Categoría	P	C	Nivel de riesgo	
						Valor	Descripción
Todos	Tormenta <i>Precipitación intensa</i> <i>Viento extremo</i> <i>Aumento del nivel del mar</i> <i>Oleaje extremo</i>	T1 - Reducción de visibilidad	Operativo	4	2	8	Moderado
		T2 - Interrupción operativa	Operativo Empresarial	4	3	12	Alto
		T3 - Limitación en la maniobrabilidad de los buques	Operativo	3	3	9	Moderado
		T4 - Rebase (daños en instalaciones)	Operativo Físico	4	4	16	Alto
		T5 - Rebase (daños en personas)	Operativo	4	5	20	Muy alto
		T6 - Cierre del puerto al tráfico marítimo	Operativo Empresarial	4	3	12	Alto
Castellón Alicante	Tormenta <i>Precipitación intensa</i> <i>Viento extremo</i> <i>Aumento del nivel del mar</i> <i>Oleaje extremo</i>	T7 - Vertidos	Medioambiental	4	2	8	Moderado
		T8 - Reducción de la calidad del aire	Medioambiental	3	2	6	Moderado

Figura 10. Evaluación de riesgos asociados a los fenómenos extremos. Fuente: elaboración propia.

- **T1 - Reducción de visibilidad**

La reducción de visibilidad es especialmente peligrosa y tiene como impacto asociado la paralización de la operativa. Sus consecuencias se consideran generalmente leves (2), con afectaciones de carácter temporal. Se trata de un **riesgo moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **T2 - Interrupción operativa**

Este riesgo es habitual si se produce una fuerte precipitación. En ese caso las terminales no pueden operar con normalidad, llegándose a producir el cierre total del puerto, ocasionando retrasos y pérdidas económicas, es decir, consecuencias moderadas (3). Se trata de un **riesgo alto** que requiere adaptación de alta prioridad.

- **T3 - Limitación en la maniobrabilidad de los buques**

Un temporal con fuerte viento es motivo de cierre del acceso de buques al puerto. Es preferible esperar antes que realizar una maniobra arriesgada tanto para el propio buque como para los prácticos. Se trata de un **riesgo moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **T4 - Rebase (daños en instalaciones)**

El rebase se produce como consecuencia de fenómenos extremos de oleaje vinculados a temporales. Es uno de los fenómenos que puede tener más impacto si se agrupa con el aumento del nivel del mar. Así pues, el caudal de agua que rebasa el dique afectará en mayor o menor medida a los activos que se encuentren tras el espaldón, causando daños físicos y la necesidad de realizar inversiones para reparar los desperfectos.

La probabilidad de que se produzcan temporales que causen rebase es alta (4) y las consecuencias son graves (4). Por lo tanto, el nivel de **riesgo es alto**, cuando se produce un temporal, habrá rebase.

- **T5 - Rebase (daños en personas)**

Cuando se superan ciertos caudales de agua, la integridad física de las personas está en peligro. Parece evidente pensar que en una situación de temporal nadie estará transitando por el trasdós del dique, pero si eso ocurriera podrían ocurrir una situación catastrófica (5), con pérdida de vidas humanas. El nivel de **riesgo se considera muy alto**.

- **T6 - Cierre del puerto al tráfico marítimo**

Es probable (4) que los temporales acaben ocasionando el cierre del puerto al tráfico marítimo, por lo que se esperarán retrasos, con sus correspondientes consecuencias económicas en la comunidad portuaria (3). Por lo tanto, se trata de un nivel de **riesgo alto**.

- **T7 - Vertidos**

Este riesgo está muy vinculado al riesgo de inundación porque tiene los mismos impactos. Las escorrentías generadas por las precipitaciones arrastran el material a las dársenas, en forma de vertidos con el siguiente impacto:

- Alteración de la calidad de las aguas y posibles incumplimientos normativos.
- Reducción de calados y necesidad de dragados de mantenimiento.
- Contaminación de sedimentos e incremento del coste de dragado.
- Daños a otras actividades por alteración de la calidad del agua.
- Aumento de riesgo de eutrofización y de generación de malos olores.

Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

- **T8 - Reducción de la calidad del aire**

El viento se convierte en un agente de transporte de los graneles sólidos, especialmente si se trata de fuerte viento que actúa sobre almacenamiento de graneles sólidos a la intemperie, como ocurre en el **Puerto de Castellón** y el **Puerto de Alicante**. Este riesgo tiene los siguientes impactos asociados:

- Contaminación del aire y posibles incumplimientos normativos.
- Contaminación del agua por deposición de partículas.
- Problemas de seguridad por deterioro de la visibilidad.
- Daños a otras actividades o mercancías por deposición de polvo y contaminación cruzada.
- Incremento del coste de mantenimiento y limpieza de maquinaria y de instalaciones.
- Incremento de los riesgos de salud laboral.

Se trata de un riesgo **moderado**, que requiere ser incluido en la gestión diaria.

6. RIESGOS INDIRECTOS

En este capítulo se tratarán de ofrecer una serie de riesgos que **no afectan directamente a los puertos** pero que pueden tener **influencia en el desarrollo de la actividad portuaria**.

Los peligros de cambio climático descritos anteriormente provocan una serie de riesgos en cascada sobre los sistemas ecológicos y sectores económicos españoles. Entre ellos, se destacan los siguientes:

6.1. RECURSOS HÍDRICOS

Los cambios en el ciclo natural del agua inciden en la **cantidad y calidad** de los recursos hídricos disponibles, con implicaciones para la agricultura y la ganadería, el abastecimiento urbano, la producción hidroeléctrica y los ecosistemas, afectando especialmente, en este último caso, a los procesos ecológicos, las especies y hábitats ligados a ecosistemas acuáticos.

6.2. ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

El cambio del clima también potencia la **colonización** de nuestro territorio por parte de especies exóticas invasoras o la ampliación del área de distribución de las que ya se encuentran en él. Estos cambios incluyen, por ejemplo, el incremento del área de distribución de especies que actúan como vectores de transmisión de enfermedades. Por otra parte, las especies exóticas pueden desplazar a las especies autóctonas, poniendo en peligro su estabilidad.

6.3. INCENDIOS

Aspectos como el incremento de la sequedad del suelo o las temperaturas elevadas incrementan, a su vez, el peligro de incendios forestales, haciendo más frecuentes las condiciones favorecedoras de grandes incendios.

6.4. SALUD HUMANA

El cambio climático afecta a la salud de la población española a través de sus efectos directos (olas de calor y otros eventos extremos, como inundaciones y sequías) pero también a través de efectos indirectos (aumento de la contaminación atmosférica y aeroalérgenos, cambio en la distribución de vectores transmisores de enfermedades, pérdida de la calidad del agua o de los alimentos).

A pesar de la tendencia al incremento de las temperaturas, la mortalidad atribuible a las olas de calor en España ha sufrido un retroceso significativo en el periodo 2004-2013 respecto a las dos décadas previas. El impacto de la ola de calor del verano de 2003 y la puesta en marcha, en el año siguiente, del *Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud*, podrían haber actuado como revulsivos para este cambio de tendencia.

Sin embargo, se calcula que este verano (2022) han muerto más de 4.600 personas por causas relacionadas con las altas temperaturas. Asimismo, aseguran expertos que en España podría haber hasta 13.000 muertes al año atribuidas al calor, en vez de las 1.300 de media anual que se produjeron en el periodo 2000-2009 (RTVE.es, 2022).

Por otra parte, la pandemia de COVID-19 ha incrementado la conciencia sobre las estrechas interrelaciones entre la transformación del medio ambiente y la emergencia de nuevas enfermedades. La Organización Mundial de la Salud viene advirtiendo desde hace tiempo que el cambio climático puede facilitar la aparición de nuevas enfermedades epidémicas o incrementar su transmisión, lo que evidencia la necesidad de contemplar amenazas a la salud humana aún no conocidas con precisión.

6.5. SECTOR AGRARIO

La agricultura, la ganadería y la silvicultura son sectores estrechamente dependientes del clima y del suelo. El impacto del cambio climático varía en función de factores como la localización geográfica y subsector (tipo de cultivo o ganadería). No obstante, en general, el aumento de temperatura incrementará el **estrés hídrico**, disminuyendo la producción de algunas cosechas.

Además, los cambios en la estacionalidad y la variabilidad del clima tendrán un efecto significativo en el rendimiento y, previsiblemente, también en la calidad de los productos agrícolas, ganaderos y silvícolas. La degradación de los suelos y la desertificación limitará el espacio potencialmente adecuado para determinados cultivos. Por otra parte, es previsible un mayor impacto potencial de los **fenómenos meteorológicos extremos**, que serán más frecuentes y virulentos. A esto se le une una mayor ocurrencia de fenómenos extremos y aparición de nuevas plagas y enfermedades, tanto en cultivos como animales.

El calor excesivo supone un impacto sobre el **bienestar animal**, con repercusiones negativas sobre la producción. En algunas zonas, la pérdida de productividad de los pastos es otro factor que puede incidir negativamente en el aprovechamiento ganadero.

Finalmente, hay que destacar que las alteraciones derivadas del cambio climático también afectan a los **recursos pesqueros, marisqueros y acuícolas**.

6.6. TURISMO

El cambio climático afecta al sector turístico a través de tres vías complementarias:

- Impacto sobre algunos **recursos clave** que sustentan el sector (elementos como la nieve o los arenales costeros constituyen recursos clave en el caso del turismo de nieve y de sol y playa, respectivamente)
- Impacto sobre las **infraestructuras turísticas** (por ejemplo, las situadas en el borde litoral, como los paseos marítimos)
- Impactos sobre la propia **demanda turística** (por ejemplo, el exceso de calor estival limita la demanda de turismo urbano en zonas sometidas a altas temperaturas en el verano).

Por otro lado, las mejores condiciones en los sitios de origen pueden conllevar reducciones en la demanda de destino, lo que es importante para España, que es uno de los grandes receptores de turismo internacional.

6.7. RECURSOS COSTEROS

El aumento del nivel del mar y el incremento del poder destructivo de los **temporales** marítimos producen impactos diversos en el litoral, incluyendo retrocesos en la línea de costa y cambios en el régimen sedimentario y erosivo, con efectos sobre los ecosistemas costeros, como arenales, deltas y estuarios, pero también sobre las infraestructuras y el medio construido.

6.8. ENERGÍA

El cambio climático y la variabilidad climática producen impactos sobre diferentes componentes del sistema energético, afectando a los recursos energéticos (por ejemplo, a través de los cambios en la disponibilidad de viento, de sol o de agua), pero también en la generación, el transporte, distribución y almacenamiento de la energía, así como los patrones de consumo. En este último campo, los cambios incluyen una reducción del consumo asociado a la calefacción, pero también un incremento del asociado a la refrigeración, estimándose un aumento del 14% de los grados-día de refrigeración por década en el periodo 2010- 2049.

6.9. SOCIEDAD

El cambio climático impacta sobre los rasgos específicos de los sistemas sociales, tanto por las implicaciones de sus impactos directos como por las consecuencias de las medidas de adaptación que se apliquen para afrontarlos. Estos impactos están relacionados con

aspectos como la **economía** y el **trabajo**, la **cultura**, el **patrimonio** y los valores identitarios, la gobernanza, la distribución de población en el territorio, la cohesión social, la conflictividad asociada al aprovechamiento de los recursos naturales, la desigualdad social, incluida la desigualdad de género, y otros aspectos de naturaleza social.

6.10. PATRIMONIO CULTURAL

Algunos de los efectos del cambio climático en el patrimonio cultural son ya visibles: muchos bienes inmuebles ubicados cerca de la costa se ven afectados por la subida del nivel del mar (baterías de costa, recintos fortificados, conjuntos industriales pesqueros); las fluctuaciones del nivel freático afectan a la estabilidad estructural de edificios con interés histórico-cultural y el aumento de temperatura sumado a los efectos de la contaminación atmosférica provocan un incremento en los procesos de erosión física, química y mecánica.

Por otra parte, entendiendo los bienes culturales en todas sus dimensiones, no se pueden olvidar las alteraciones en los paisajes culturales, en las prácticas, conocimientos y rituales asociados a las actividades económicas agrícolas y modos de vida tradicionales provocados por el aumento de la desertificación, inundaciones y eventos extremos.

De cara al futuro, de forma general, los impactos potenciales del cambio climático serán más graves en los escenarios de mayores emisiones y a medida que avance el siglo XXI.

7. BIBLIOGRAFÍA

elperiodico. (2017, enero 24). *Los daños causados por el temporal en el puerto del Fòrum se elevan a un millón de euros.* elperiodico.

<https://www.elperiodico.com/es/barcelona/20170124/barcelona-sale-airoso-del-temporal-5762050>

IPCC. (2018). *Glosario*.

IPCC AR6-WGI Atlas. (2022). <https://interactive-atlas.ipcc.ch/atlas>

IPCC WGI. (2021). *Chapter 12: Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment*. 160.

IPCC WGII. (2022). *Cross Chapter 4: Mediterranean Region*. 40.

Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L., & Stenek, V. (2021). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change*, 11(1), 14-20. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z>

PIANC. (2020). *Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways* (<https://www.pianc.org/>). PIANC. <https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178>

Puertos del Estado & Ministerio de Fomento. (2016). *Vulnerabilidad de los Puertos Españoles ante el Cambio Climático*.

- Ramírez Pérez, M., Menéndez García, M., Camus Braña, P., & Losada Rodríguez, Í. J. (2019). *PROYECCIONES DE ALTA RESOLUCIÓN DE VARIABLES MARINAS EN LA COSTA ESPAÑOLA* (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Ed.). Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/tarea_2_informe_pima_adapta_mapama_tcm30-498855.pdf
- RTVE.es. (2022, agosto 31). *Expertos alertan de que podrían aumentar las muertes por calor*. RTVE.es. <https://www.rtve.es/noticias/20220831/expertos-alertan-espana-podria-haber-hasta-13000-muertes-ano-olas-calor/2399421.shtml>
- World Port Sustainability Program. (2021). *World Ports Climate Action Program*. <https://sustainableworldports.org/wpcap/>