



Puertos del Estado



Ports de Balears

Autoritat Portuària de Balears

PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LOS PUERTOS DE LA AUTORIDAD PORTUARIA DE BALEARES

RESULTADOS Y ADAPTACIÓN

2 de Noviembre 2022

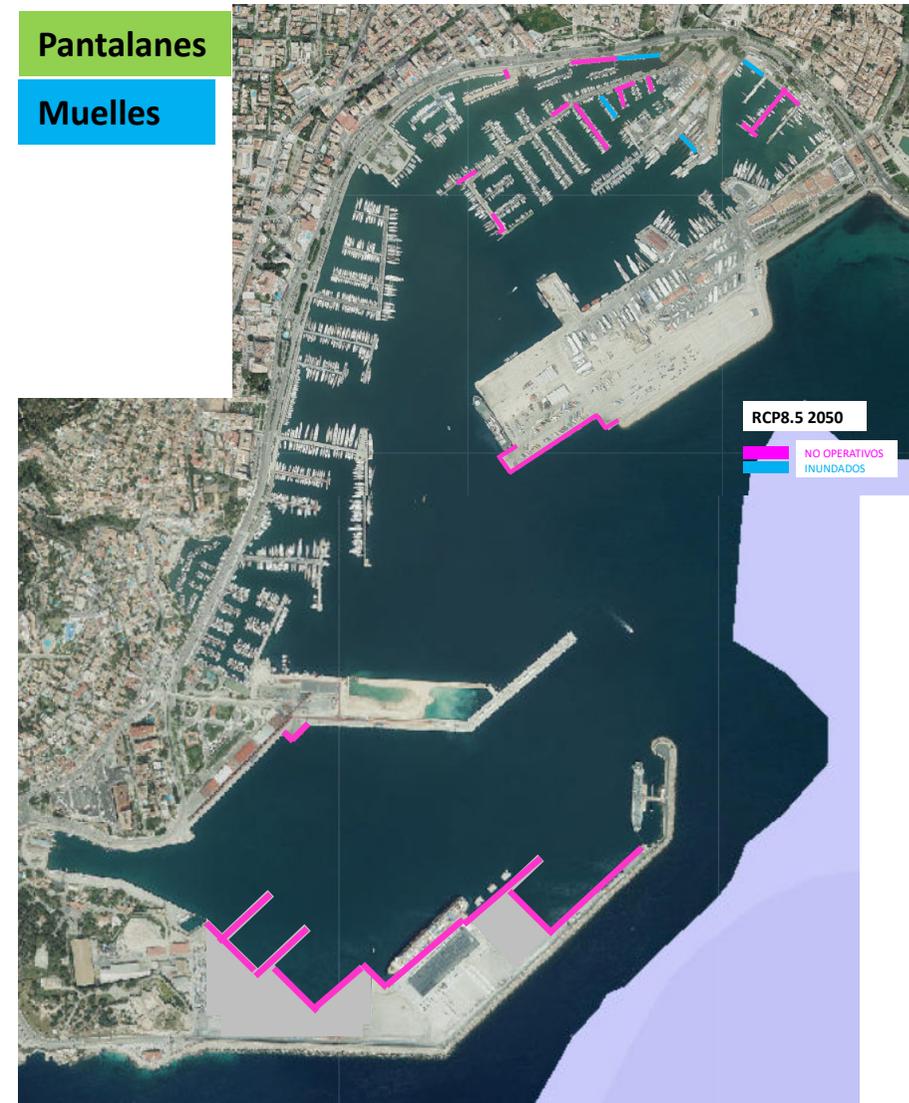
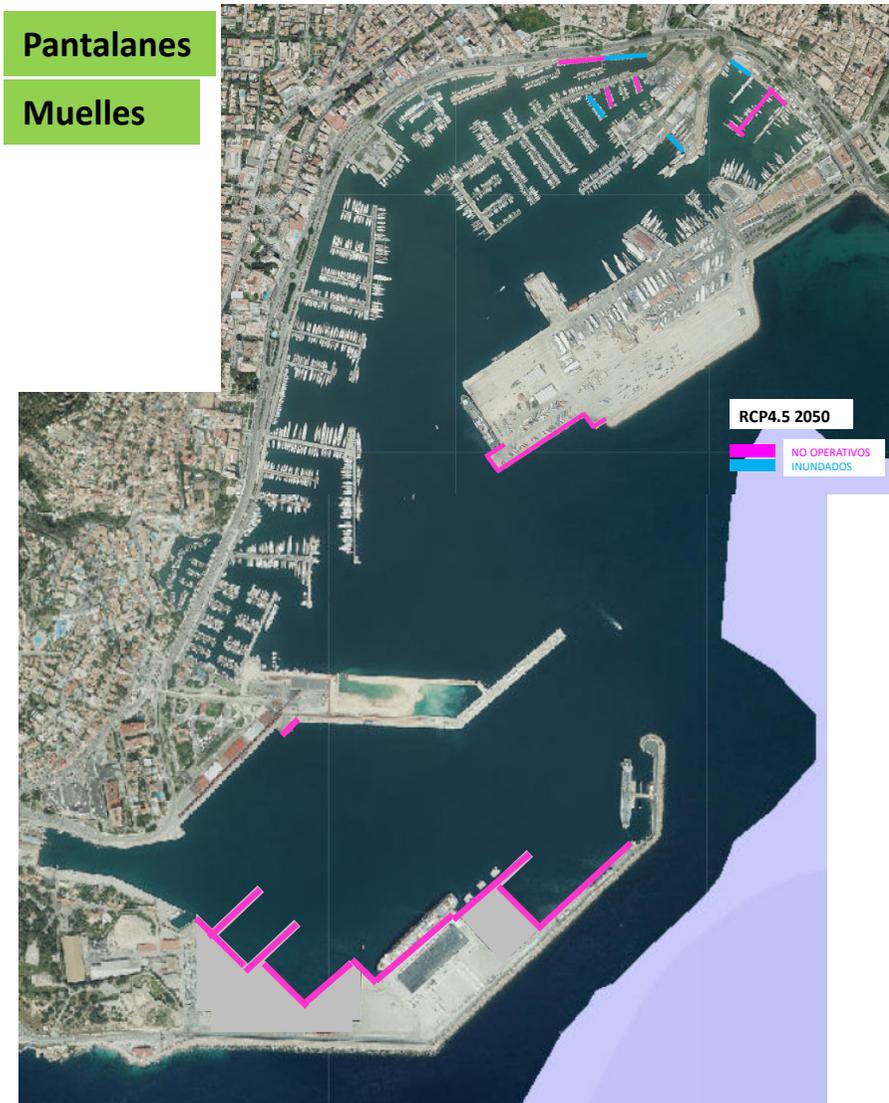


Laboratori d'Enginyeria Marítima
UPC - BARCELONATECH

1. Resultados
2. Mapas de riesgo
3. Medidas de adaptación
4. Rutas de adaptación
5. Conclusiones

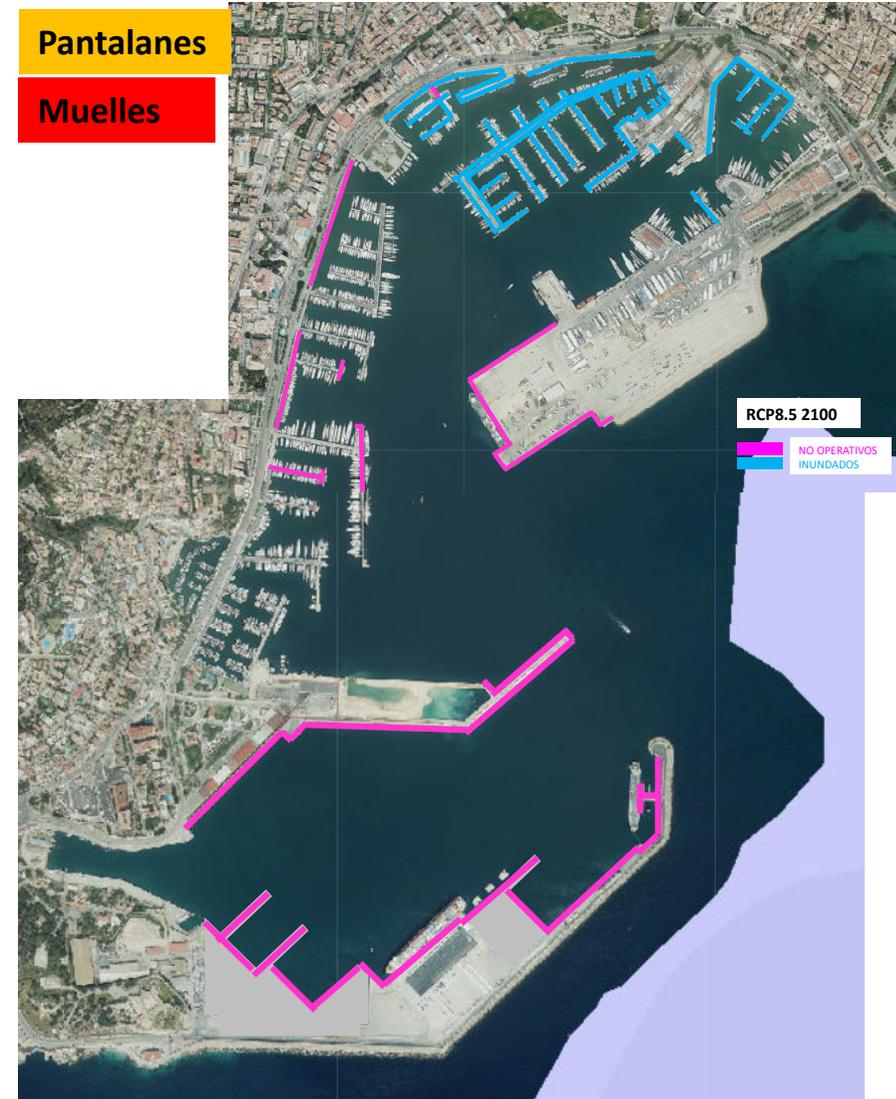
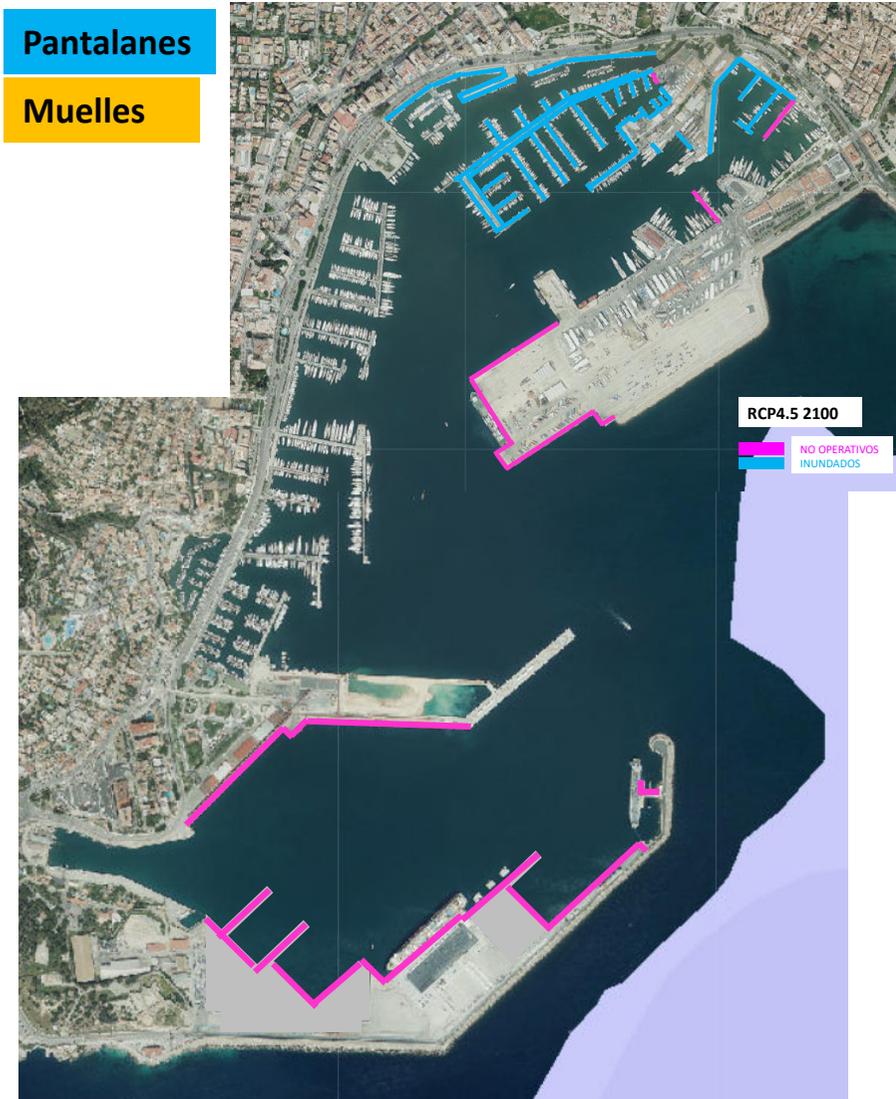
1. RESULTADOS. Puerto de Palma

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2050



1. RESULTADOS. Puerto de Palma

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2100



1. RESULTADOS. Puerto de Palma

Estabilidad de diques portuarios: 2050 → sin riesgo

Estabilidad de diques portuarios: 2100 → Sólo riesgo en RCP4.5



1. RESULTADOS. Puerto de Palma

Rebase de diques portuarios: Riesgo muy bajo en 1ª Alineación del Dique del Oeste (todos los escenarios) y Tramo Exterior de los Muelles Comerciales (sólo en 2100)



1. RESULTADOS. Puerto de Palma

Aterramiento → sin riesgo

Agitación portuaria → Sólo en Tramo Exterior de los Muelles Comerciales (riesgo bajo o muy bajo en todos los escenarios)



1. RESULTADOS. Puerto de Alcúdia

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2050



Pantalanes

Muelles



Pantalanes

Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de Alcúdia

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2100



Pantalanés

Muelles



Pantalanés

Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de Alcúdia

Estabilidad de diques portuarios: Sin riesgo en ningún escenario

Rebase de diques portuarios: Sin riesgo en ningún escenario

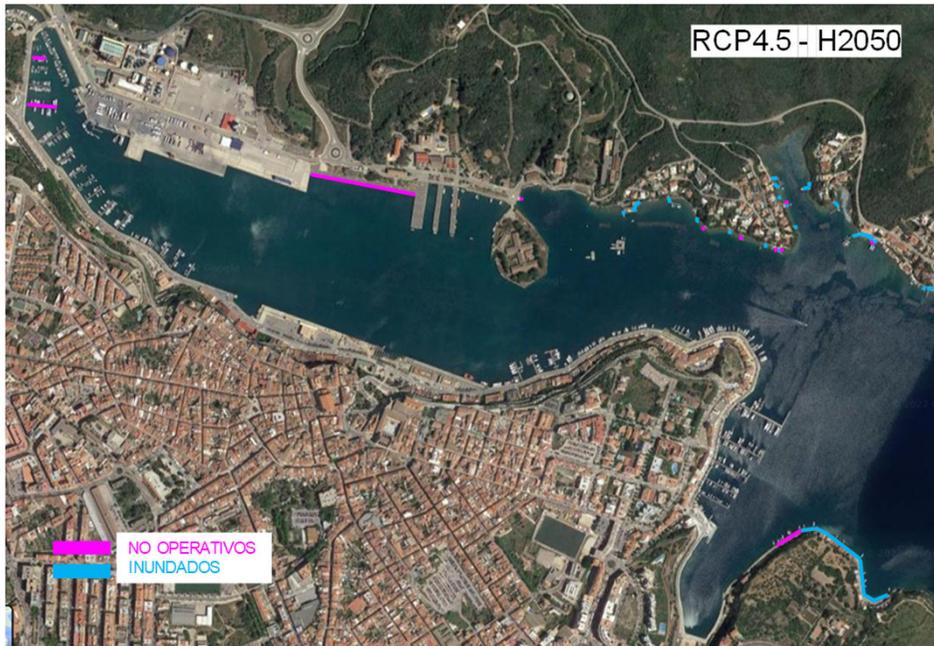
Agitación: Sin riesgo en ningún escenario

Aterramiento: Acumulación de sedimentos en el fondo. Riesgo medio (2050) y bajo (2100) por SLR.



1. RESULTADOS. Puerto de Maó

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2050



Pantalanes

Muelles

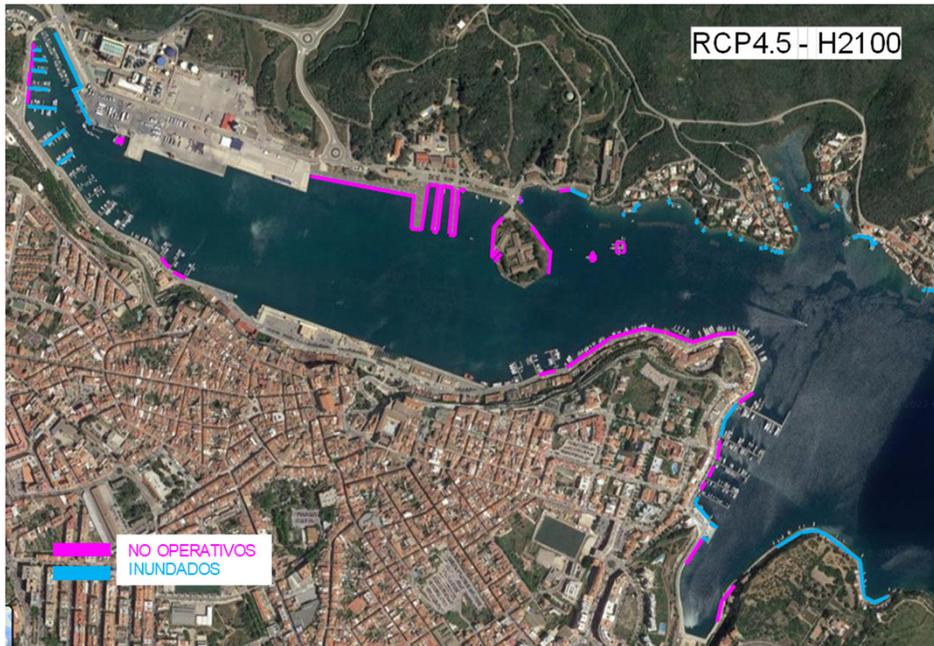


Pantalanes

Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de Maó

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2100



Pantalanes

Muelles



Pantalanes

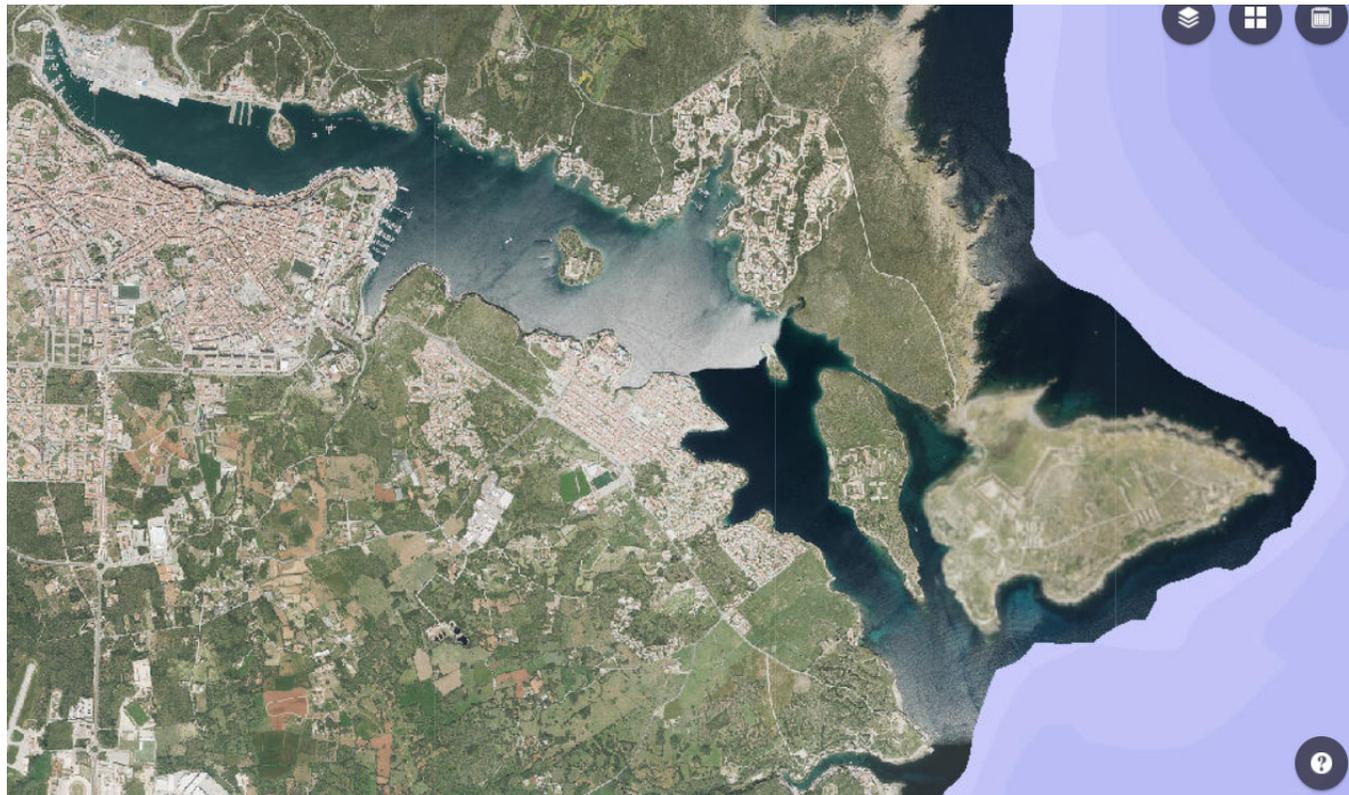
Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de Maó

Estabilidad y rebase de diques portuarios: No existen

Agitación: Sin riesgo en ningún escenario (no se ha estudiado el oleaje local)

Aterramiento: Sin riesgo en ningún escenario



1. RESULTADOS. Puerto de Eivissa

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2050



Pantalanes

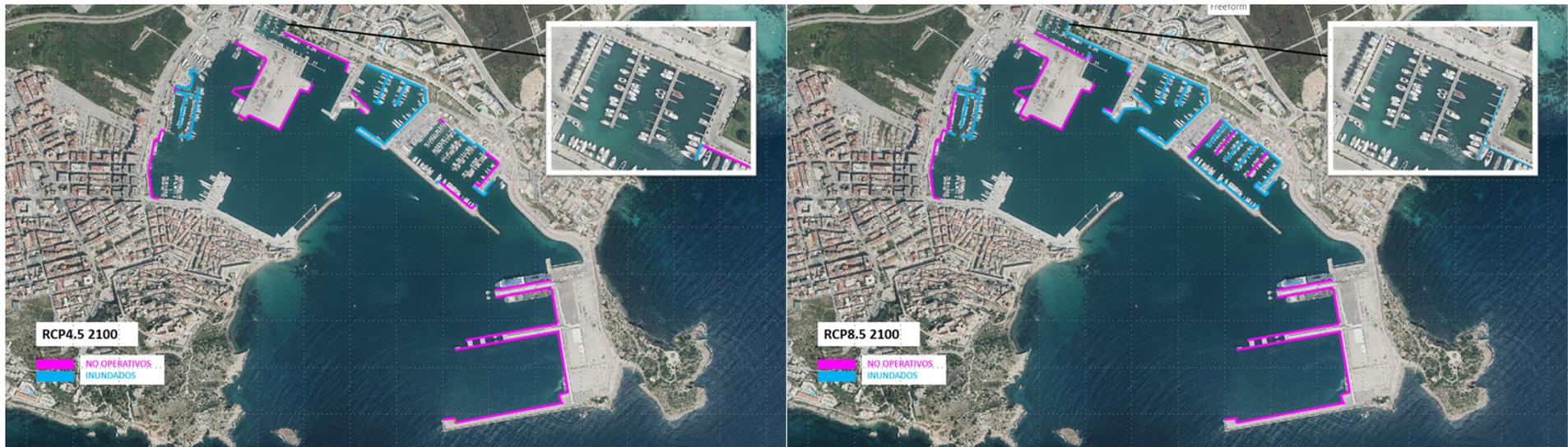
Muelles

Pantalanes

Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de Eivissa

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2100



Pantalanes

Muelles

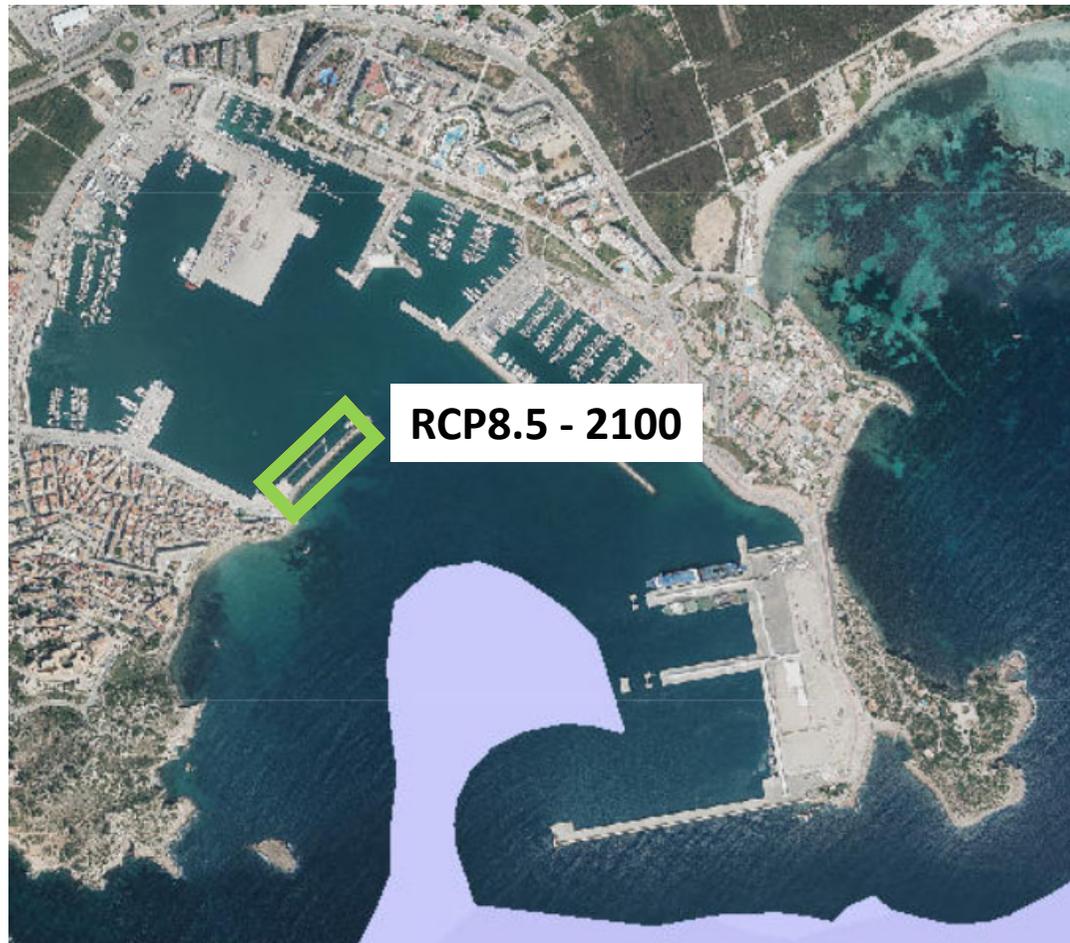
Pantalanes

Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de Eivissa

Rebase de diques portuarios: Sin riesgo en ningún escenario

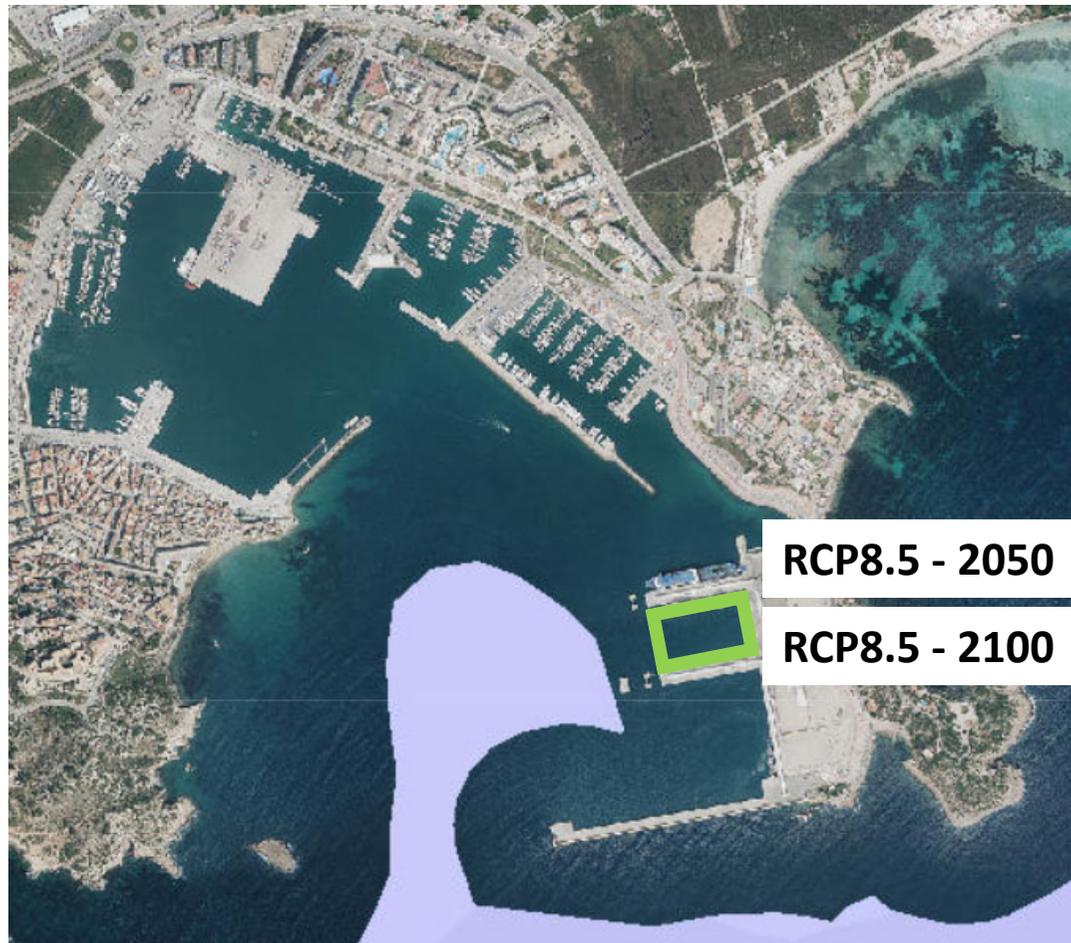
Estabilidad de diques portuarios: Sólo riesgo en Dique de Abrigo (excepto en RCP4.5 – 2100)



1. RESULTADOS. Puerto de Eivissa

Aterramiento → sin riesgo

Agitación portuaria → Riesgo muy bajo (exceso de pocas horas) en el área entre el Pantalán Norte y el Sur del Botafoc (3 escenarios) y en el atraque 4 del pantalán Sur del Botafoc (1 escenario)



1. RESULTADOS. Puerto de La Savina

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2050



Pantalanes

Muelles

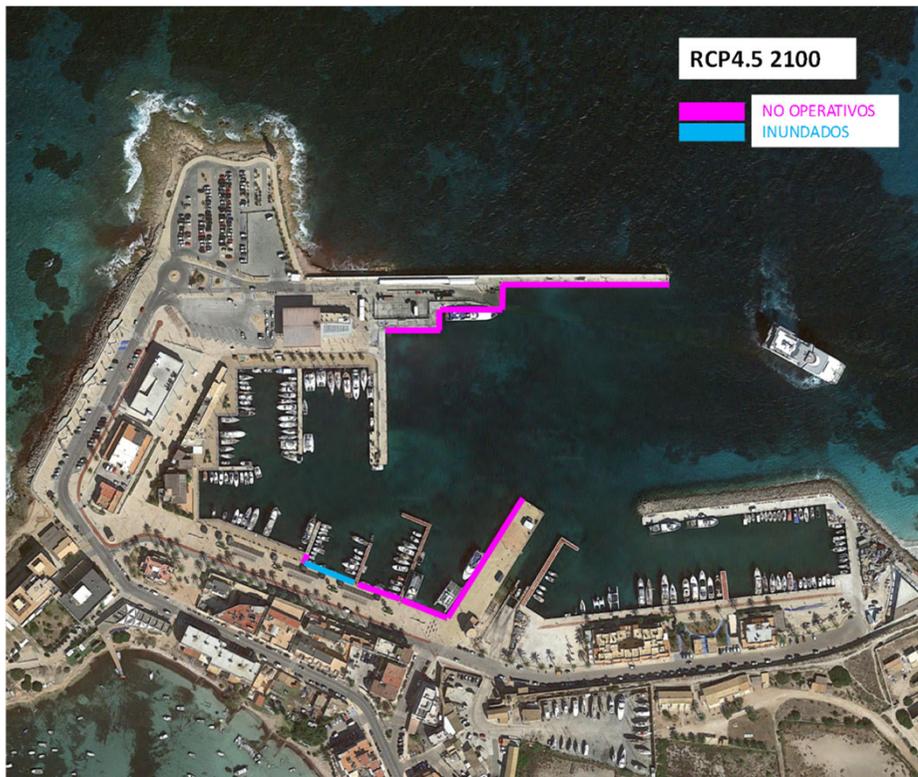


Pantalanes

Muelles

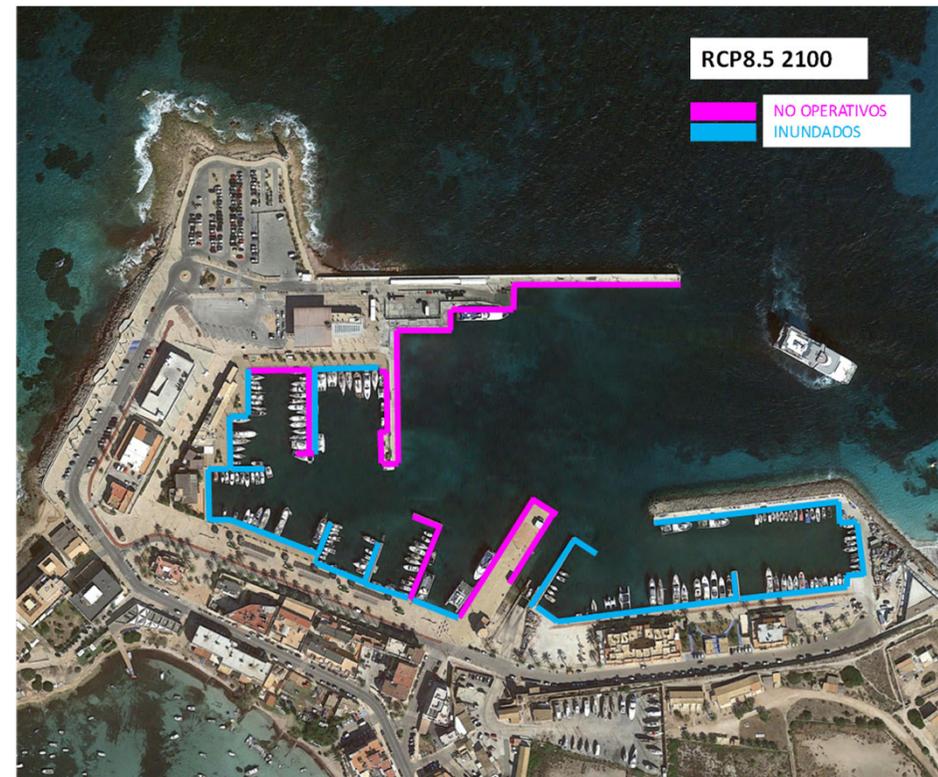
1. RESULTADOS. Puerto de La Savina

Inoperatividad de muelles y pantalanes: 2100



Pantalanes

Muelles



Pantalanes

Muelles

1. RESULTADOS. Puerto de La Savina

Estabilidad de diques portuarios: 2050 → Sólo riesgo en contradique en RCP8.5

Estabilidad de diques portuarios: 2100 → Sin riesgo



1. RESULTADOS. Puerto de La Savina

Rebase de diques portuarios: Riesgo muy bajo en el Dique de Abrigo en todos los escenarios



1. RESULTADOS. Puerto de La Savina

Agitación: Sin riesgo en ningún escenario

Aterramiento: Riesgo muy bajo en 2050 y nulo en 2100



1. RESULTADOS. P.D. Portixol

Inoperatividad de muelles y pantalanes

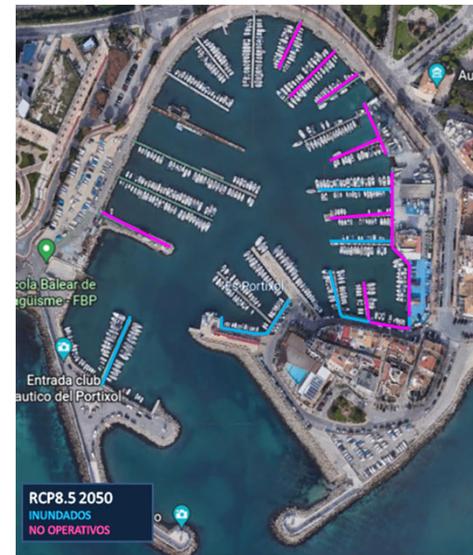
Pantalanes

Muelles



Pantalanes

Muelles



Pantalanes

Muelles



Pantalanes

Muelles



1. RESULTADOS. P.D. Portixol

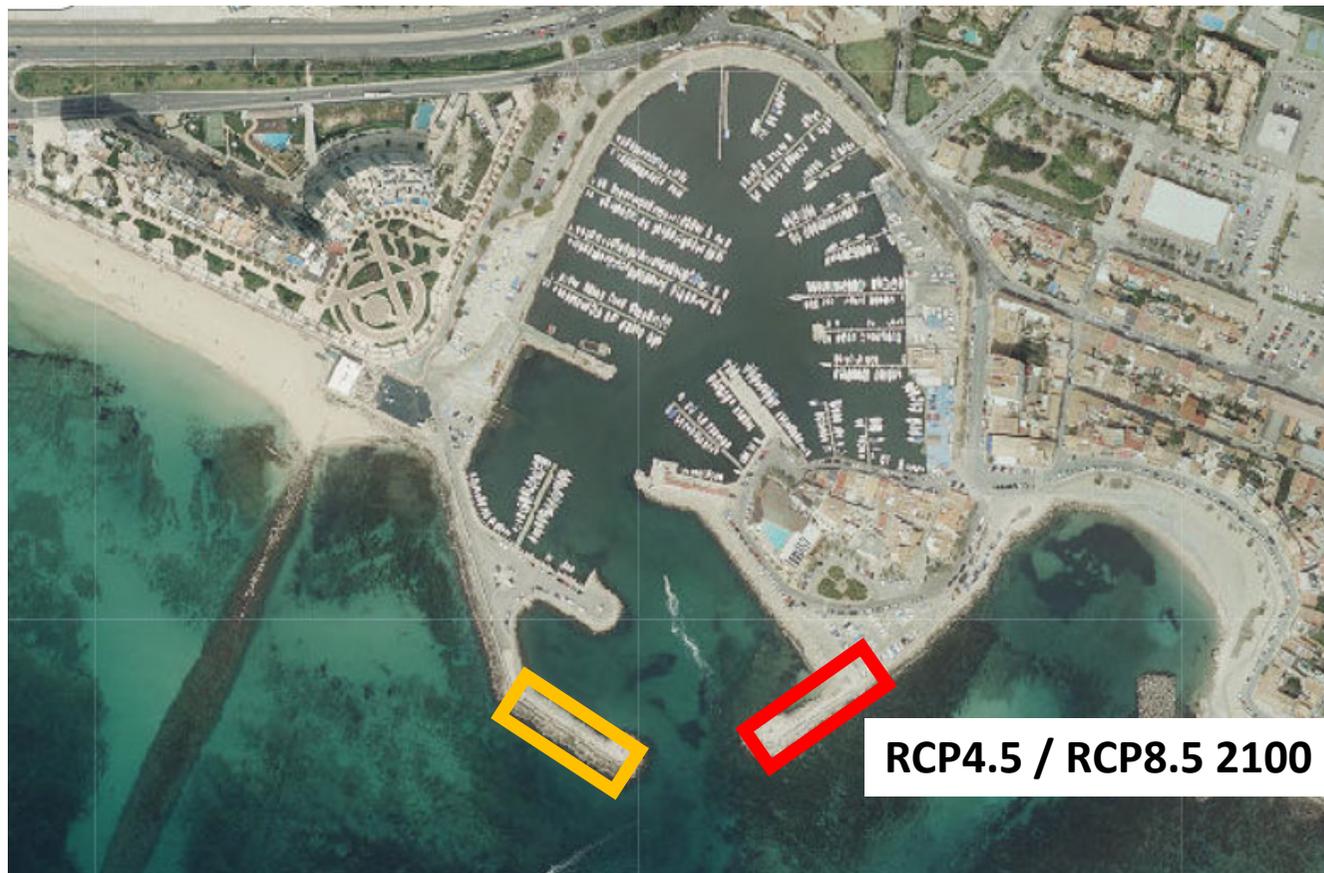
Estabilidad de diques portuarios: 2050 → sin riesgo

Estabilidad de diques portuarios: 2100 → Riesgo bajo o muy bajo



1. RESULTADOS. P.D. Portixol

Rebase de diques portuarios: Riesgo bajo (2050) y alto o muy alto (2100)



1. RESULTADOS. P.D. Portixol

Aterramiento → riesgo muy bajo en 2050 (temporales) y nulo en 2100

Agitación portuaria → Sólo en dársena más exterior en 2100 (riesgo muy alto)



RCP4.5 / RCP8.5 2100

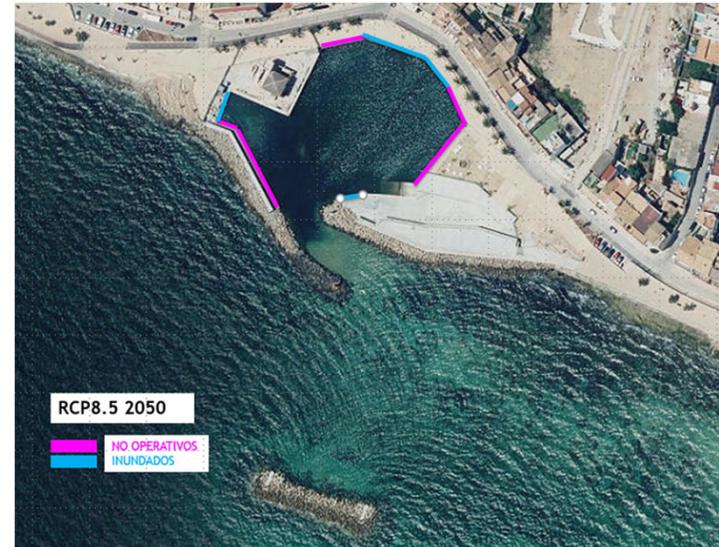
1. RESULTADOS. P.D. Es Molinar

Inoperatividad de muelles

Muelles



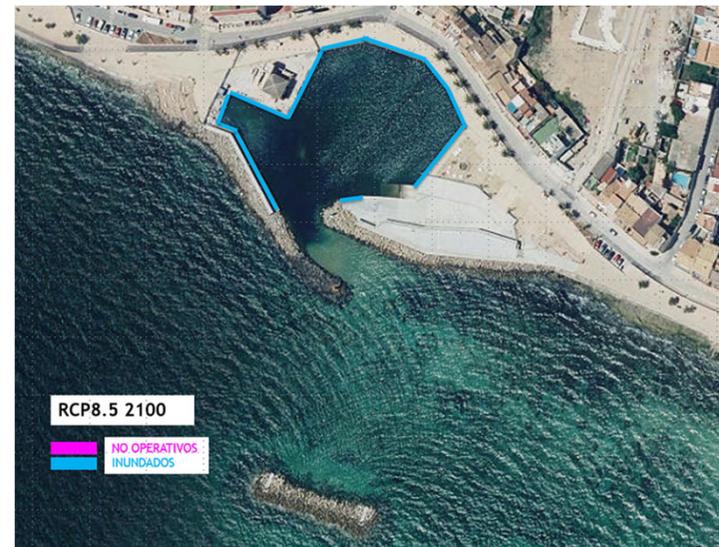
Muelles



Muelles

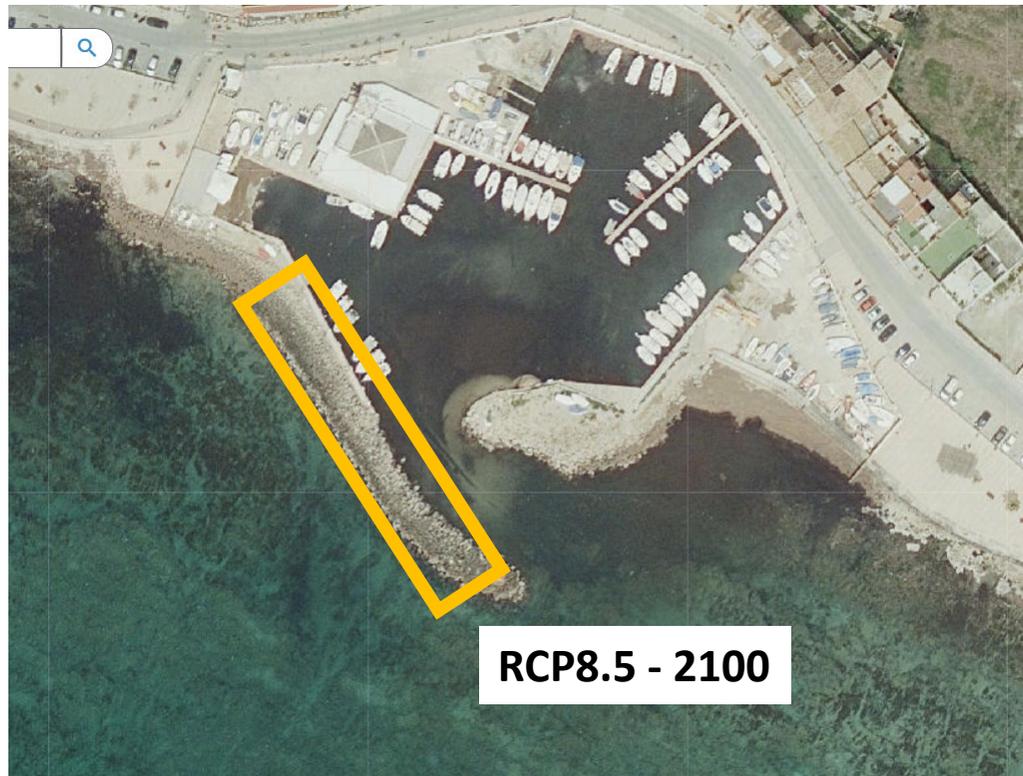


Muelles



1. RESULTADOS. P.D. Es Molinar

Estabilidad de diques portuarios: riesgo muy bajo (2050) y alto o muy alto (2100)

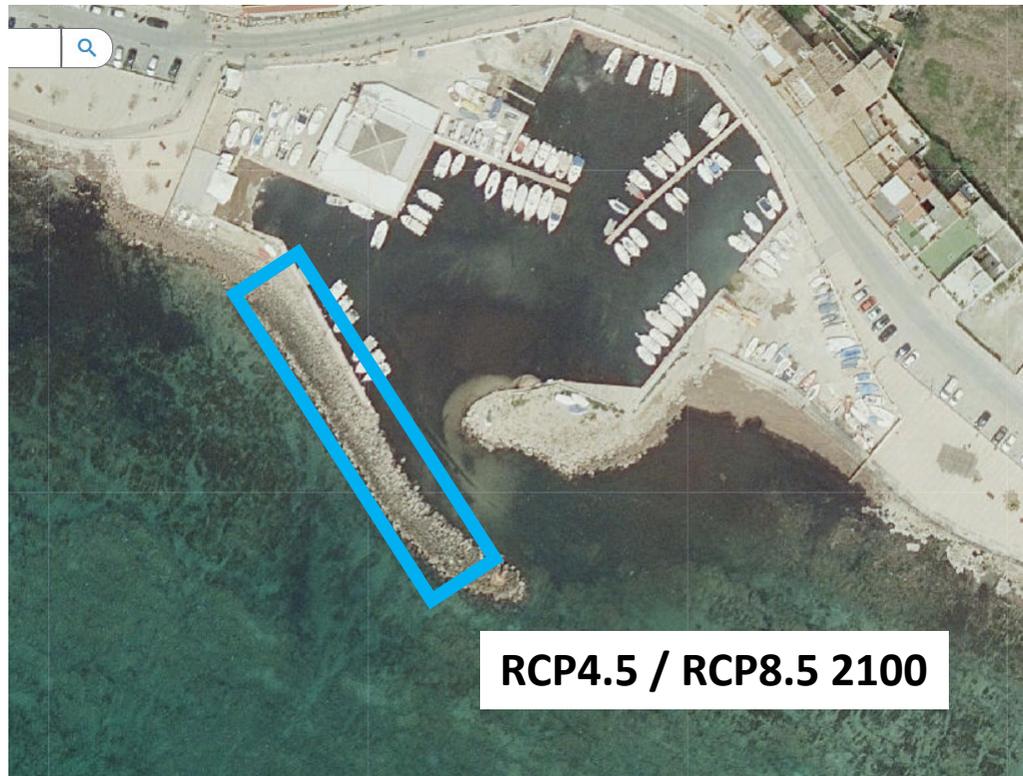


RCP8.5 - 2100

1. RESULTADOS. P.D. Es Molinar

Rebase de diques portuarios: 2050 → Riesgo muy bajo

Rebase de diques portuarios: 2100 → Riesgo bajo



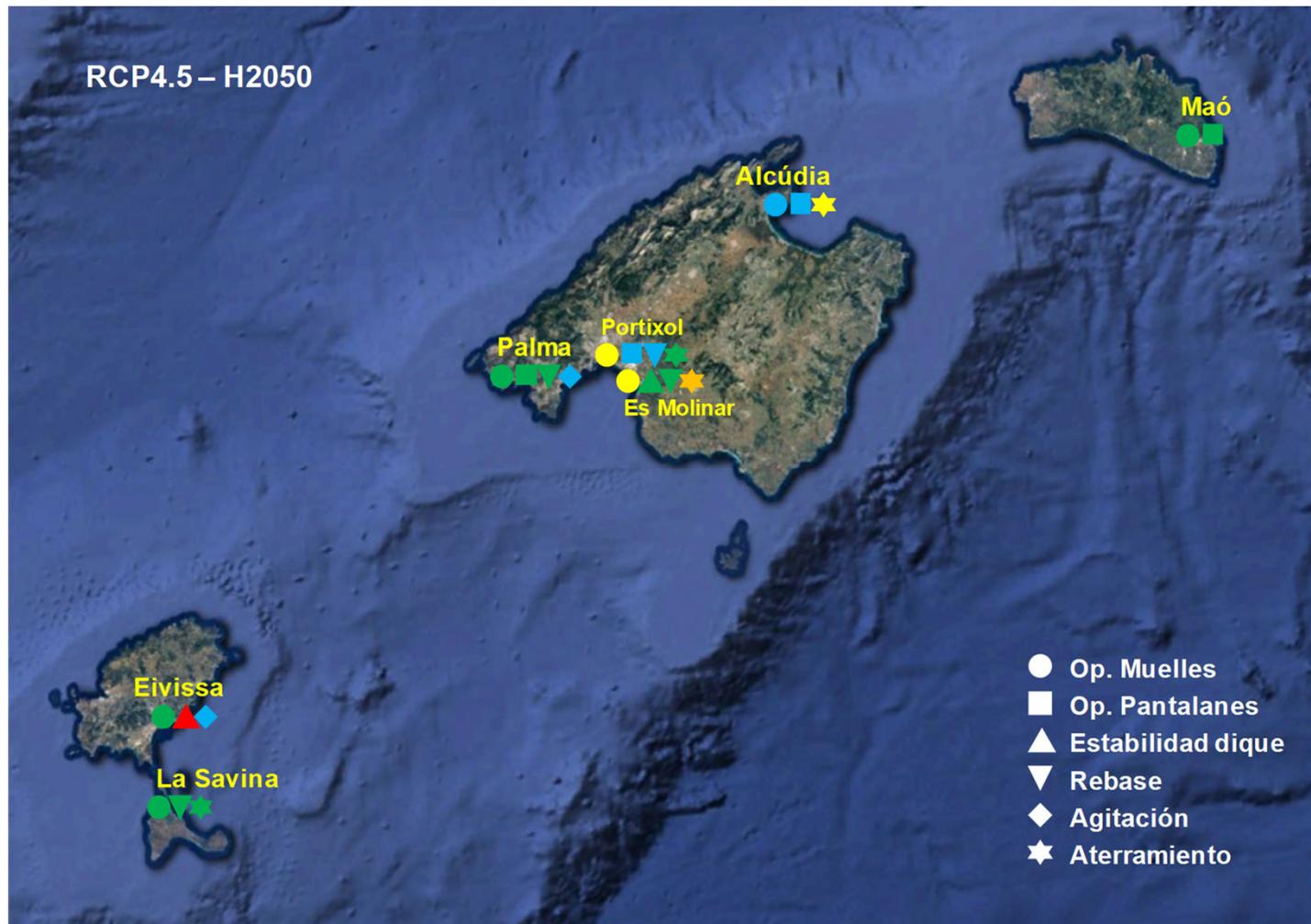
1. RESULTADOS. P.D. Es Molinar

Agitación portuaria → Sin riesgo

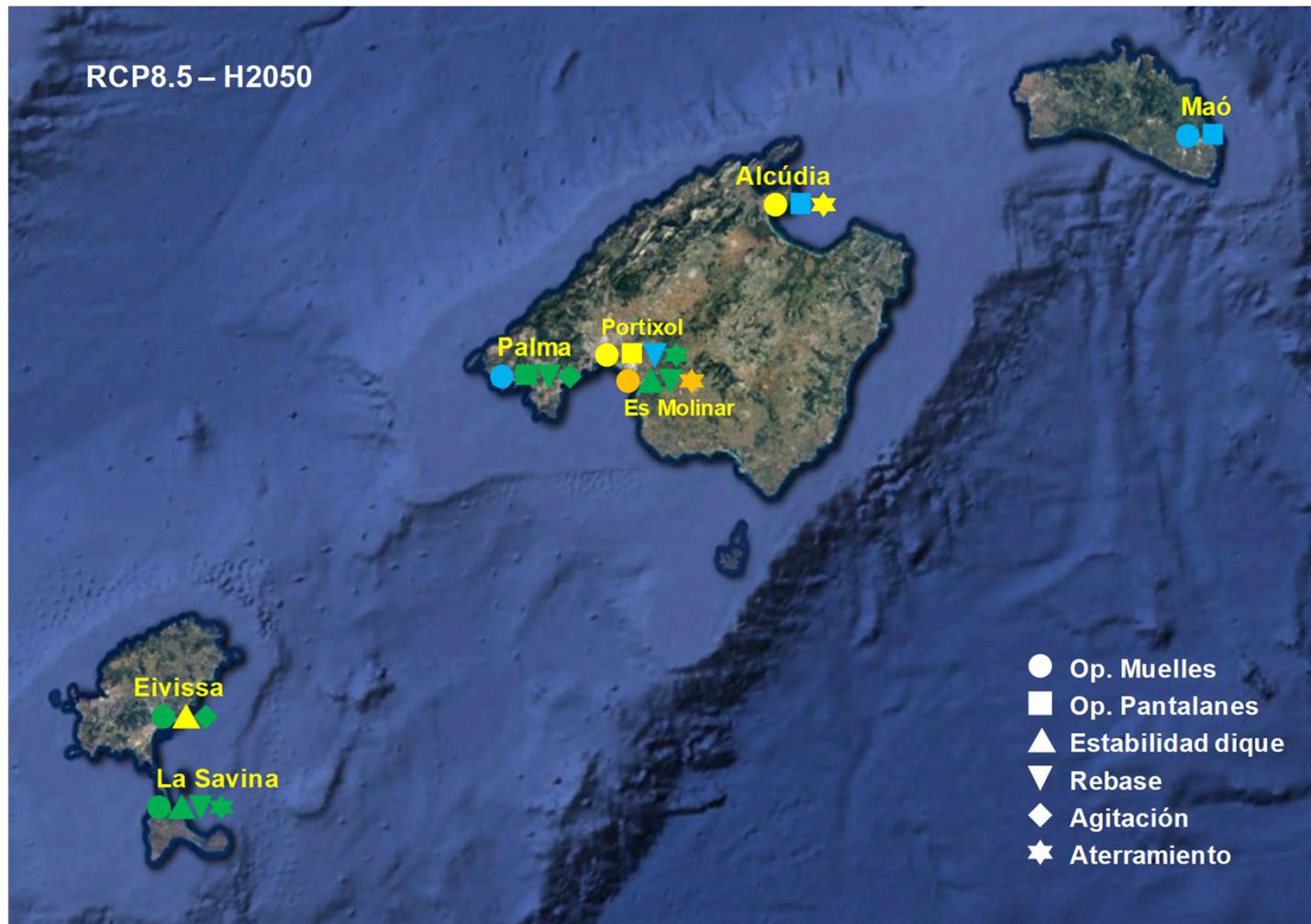
Aterramiento → riesgo alto en 2050 y medio (SLR) en 2100



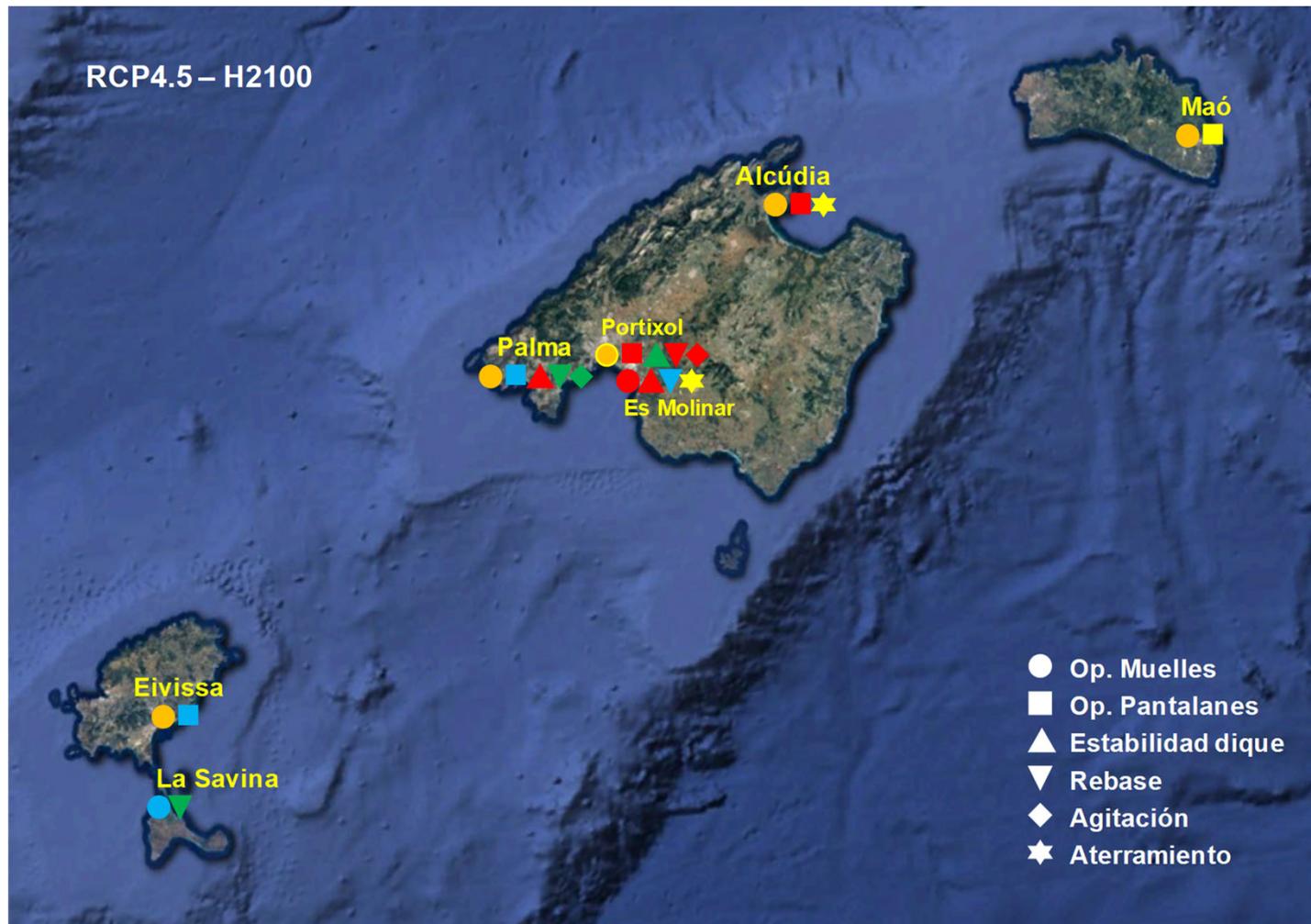
2. MAPAS DE RIESGO



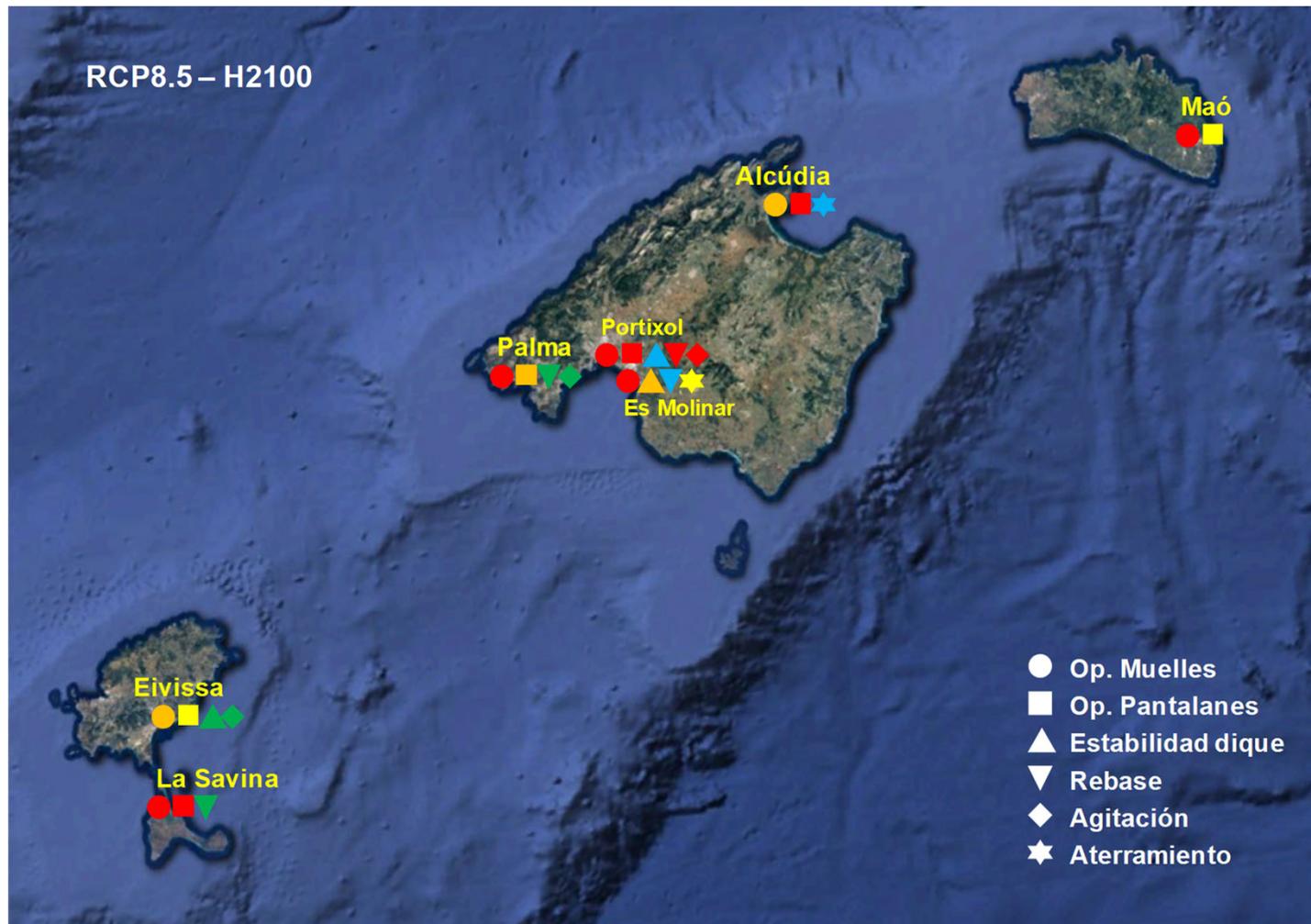
2. MAPAS DE RIESGO



2. MAPAS DE RIESGO



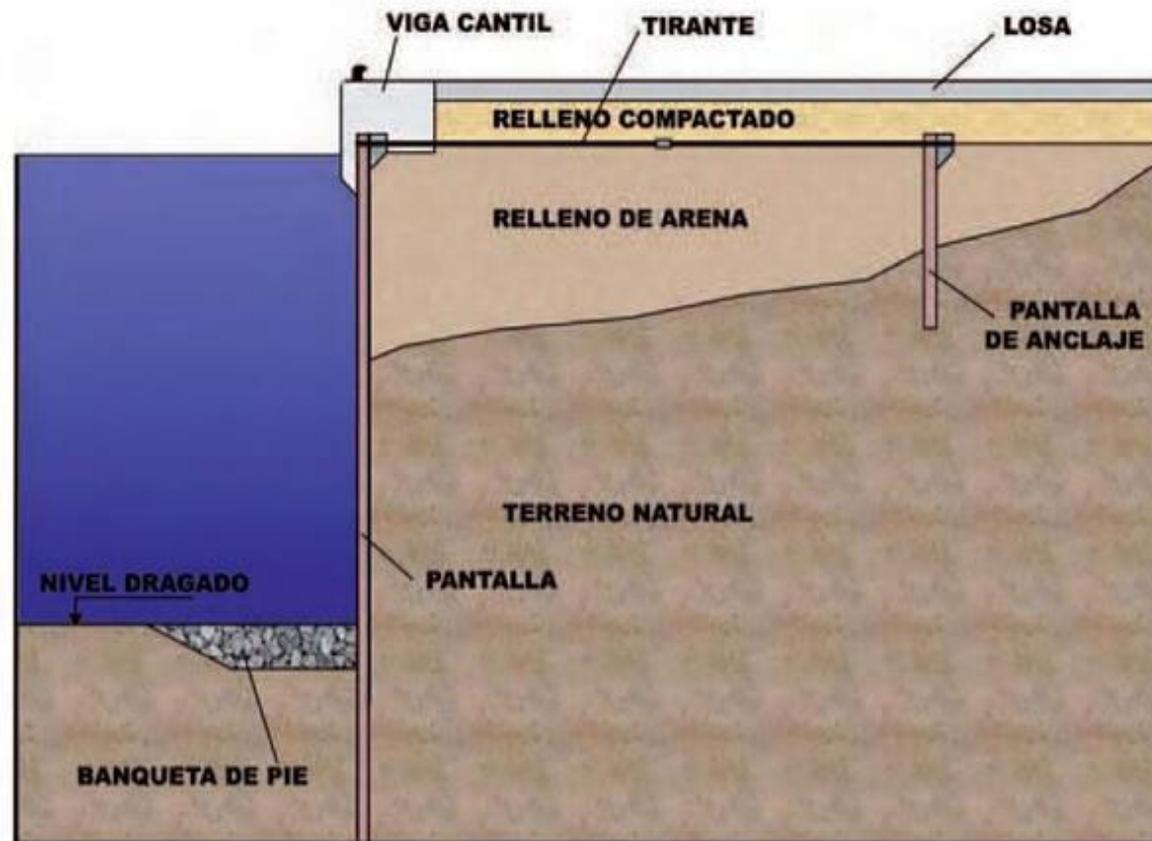
2. MAPAS DE RIESGO



3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Inoperatividad de muelles por FB insuficiente:

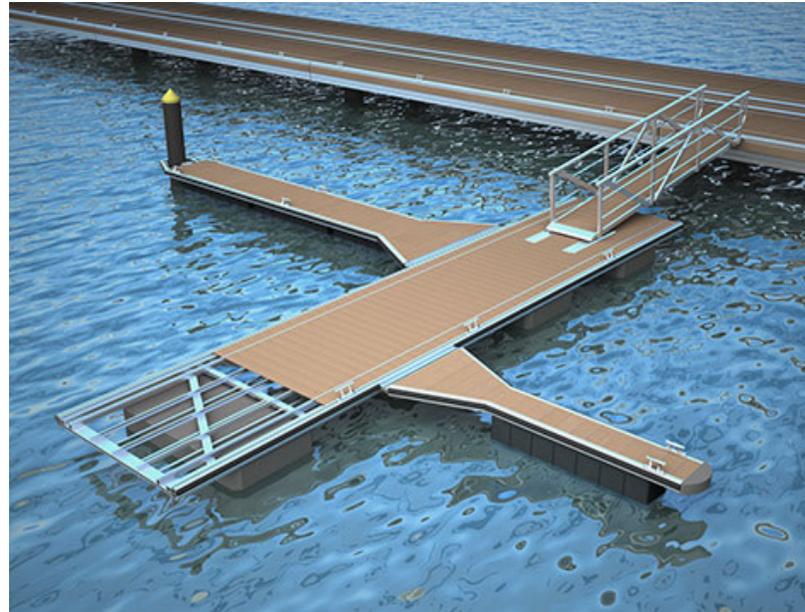
- Medida más efectiva: elevar la cota del muelle



3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Inoperatividad de pantalanes por FB insuficiente:

- Medida más sostenible: sustituir pantalanes fijos por flotantes (atraques deportivos o de pesca)

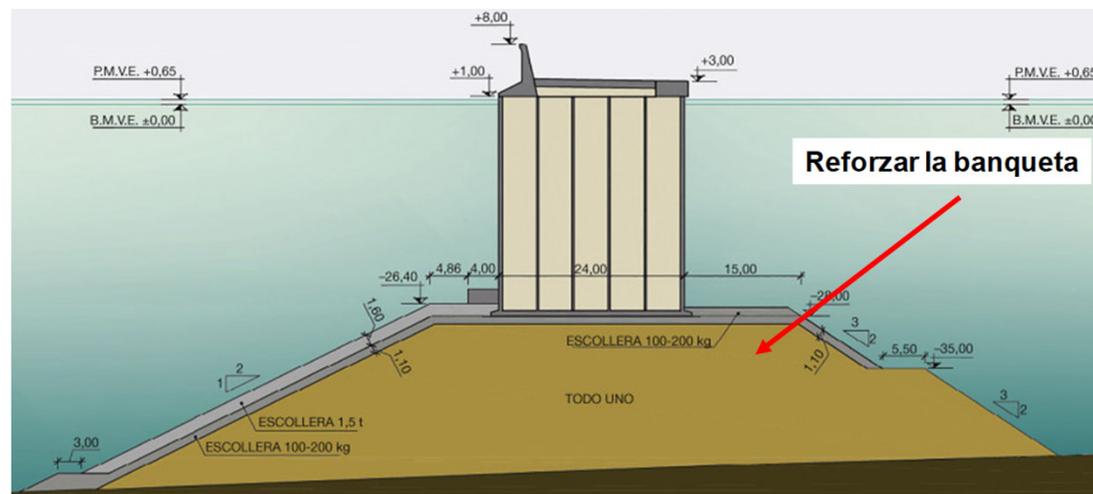
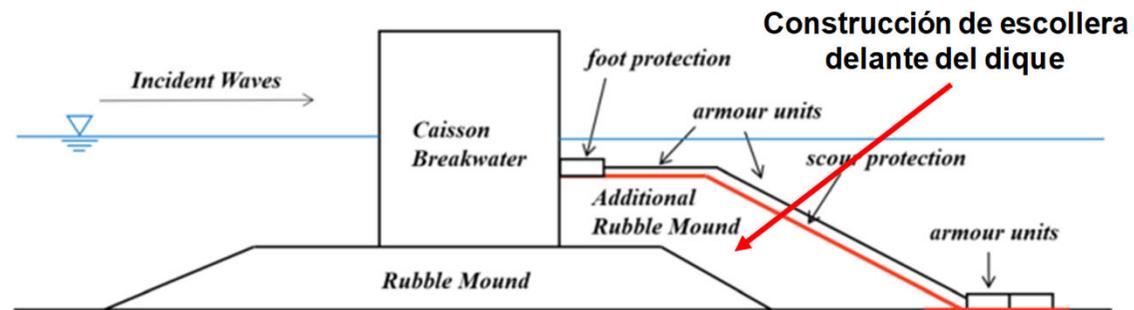


- Terminales de graneles: puede ser necesario sustituir la estructura por otra similar con mayor cota

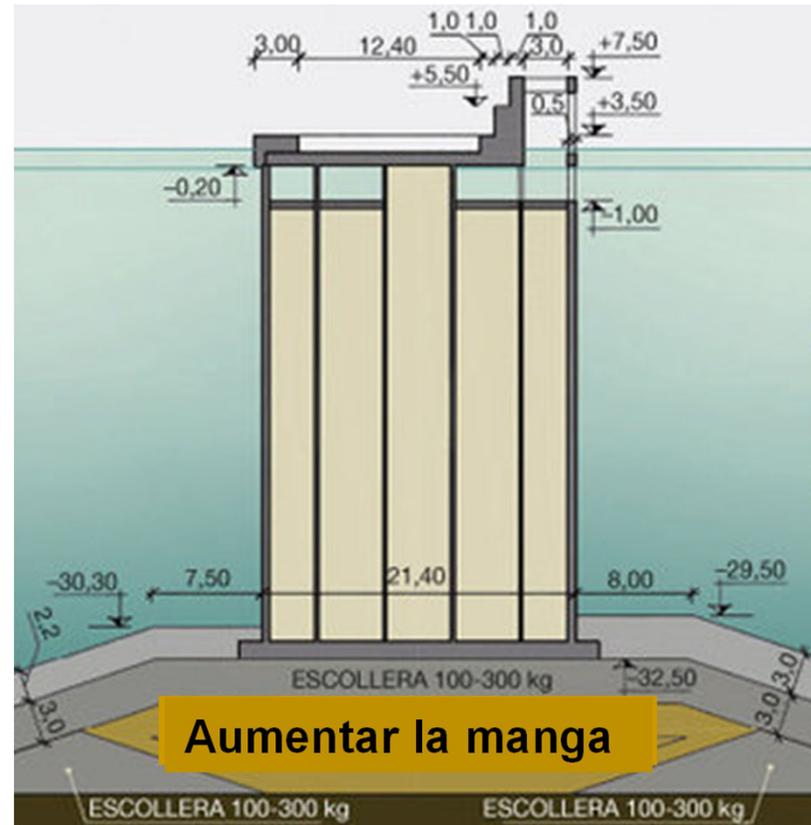
3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Inestabilidad de un dique de abrigo: → depende del tipo de dique

- Diques verticales:



3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN



Combinación de las anteriores

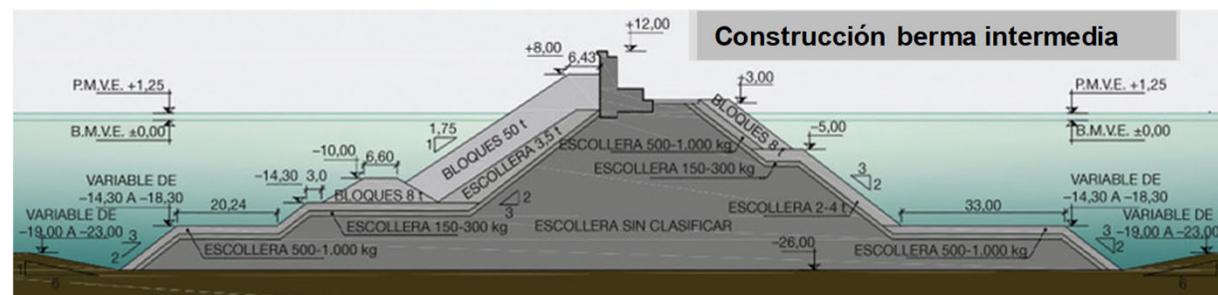
3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Inestabilidad de un dique de abrigo:

- Diques en talud:



Aumentar el peso de los bloques del dique

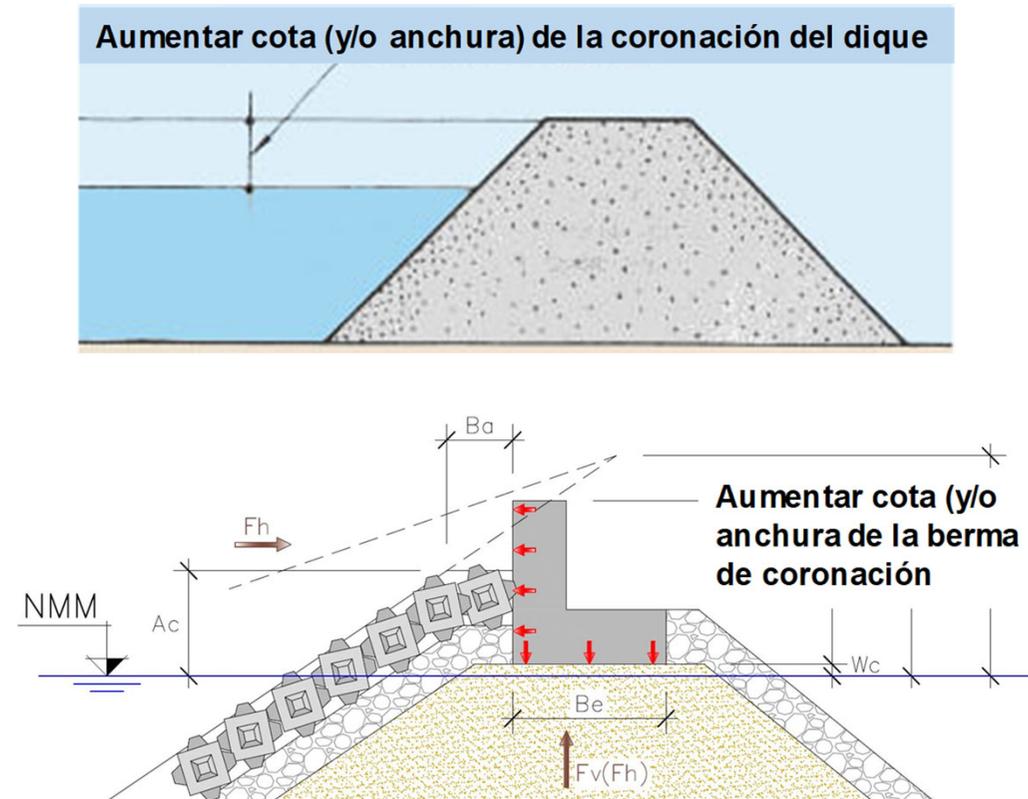


Combinación de las anteriores

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

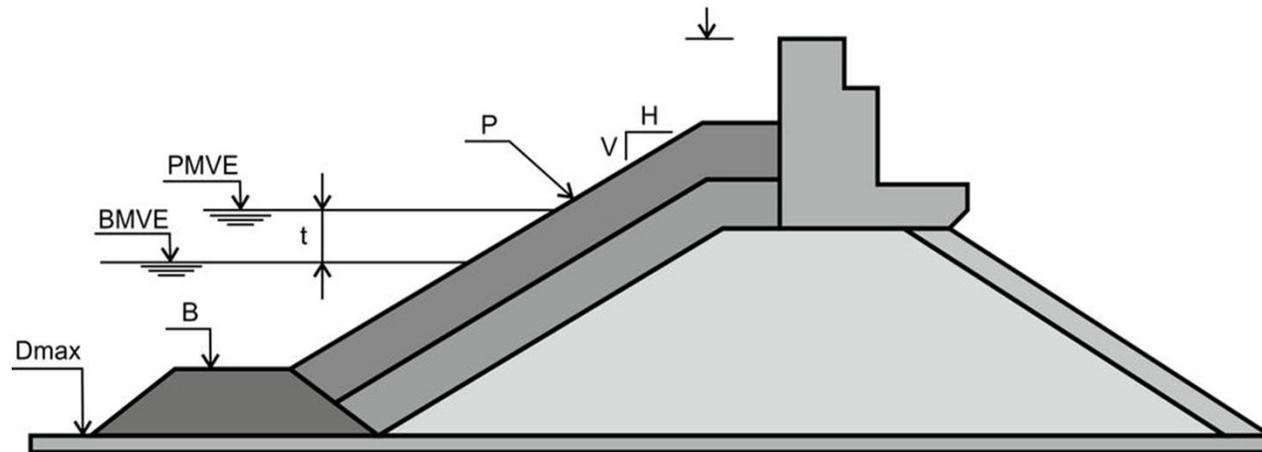
Rebase de un dique de abrigo: → depende de si el dique se puede recrecer o no

- **Recrecimiento es posible:**



3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

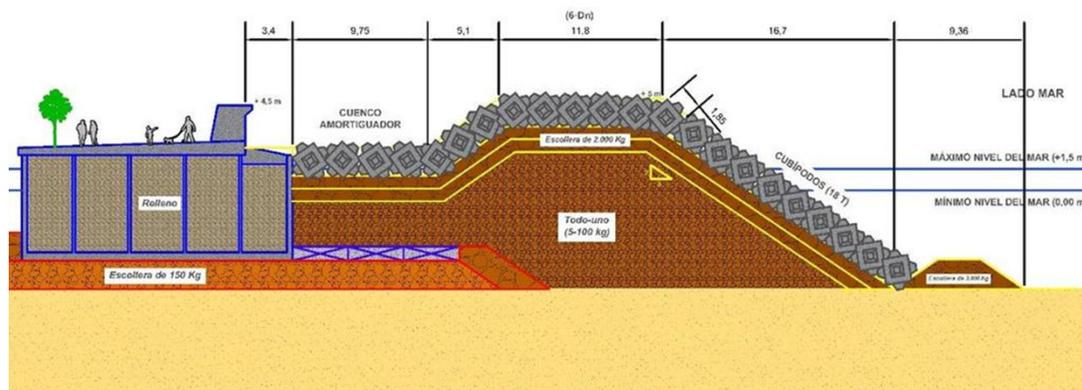
Aumentar cota del espaldón (o construir si no existe)



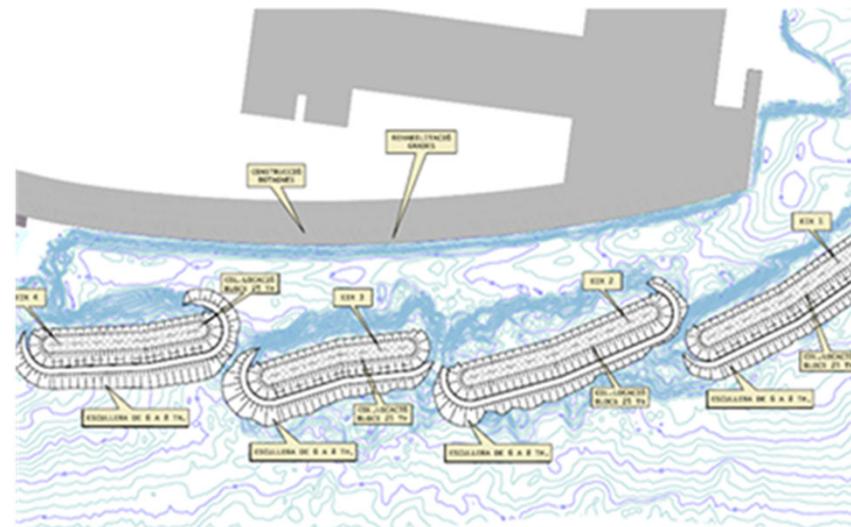
Combinación de las anteriores

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Construcción de un cuenco amortiguador



Construcción diques sumergidos delante del dique de abrigo



Combinación de las anteriores

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Exceso de agitación portuaria: → cambios en la planta del puerto:

- Distribución de muelles y dársenas
- Prolongación del dique de abrigo



- Prolongación de contradiques
- Construcción de estructuras adicionales de protección en la bocana (martillos, diques exentos, elementos disipadores...)

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Aterramiento portuario: → Medidas dependen de su intensidad y celeridad:

- Aterramiento lento → podría ser suficiente un dragado periódico



3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Frecuente necesidad de dragados: → buscar medidas más duraderas

- Trampas de sedimentos
- By-pass o back-pass de sedimentos
- Construcción de espigones de retención
- Estabilización de la playa fuente de los sedimentos



3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Para cada puerto, escenario y horizonte: → Elaboración con las posibles medidas de adaptación

- Deben ser objeto del correspondiente proyecto y estudio de impacto ambiental

Proceso	Riesgo	Medidas de adaptación
Operatividad Muelles	2	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, recrecer un mínimo de entre 10 cm y 40 cm la cota de hasta 3055 m de muelles.
Operatividad Pantalanes	1	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, sustituir hasta 1135 m de pantalanes fijos por pantalanes flotantes.
Estabilidad diques	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Rebase diques	1	Llevar a cabo un seguimiento del rebase de la 1ª alineación del Dique del Oeste. En caso de daños o molestias excesivos, redactar un proyecto de reforma de dicho tramo del dique, adoptando alguna de las medidas descritas en el apartado 6.1.4.
Agitación	1	Efectuar un seguimiento de la agitación en los atraques del 1 ^{er} Tramo Exterior de los Muelles Comerciales. En caso de ser excesiva y generar molestias, redactar el proyecto de una obra que proteja dichos atraques.
Aterramiento	0	No son necesarias medidas de adaptación.

Ej. Palma, RCP8.5 - 2050

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Proceso	Riesgo	Medidas de adaptación
Operatividad Muelles	5	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, recrecer un mínimo de entre 50 cm y 150 cm la cota de hasta 2820 m de muelles.
Operatividad Pantalanes	5	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser excesivo, sustituir hasta 1025 m de pantalanes fijos por pantalanes flotantes.
Estabilidad diques	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Rebase diques	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Agitación	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Aterramiento	2	Realizar un seguimiento del aterramiento de la zona de la bocana del puerto y ver si son necesarios dragados. En caso de ser necesarios y frecuentes, estudiar la realización de algún tipo de medida de las reseñadas en el apartado 6.1.6 que evite dichos aterramientos.

Alcúdia, RCP8.5 - 2100

Proceso	Riesgo	Medidas de adaptación
Operatividad Muelles	4	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, recrecer un mínimo de entre 20 cm y 110 cm la cota de hasta 4860 m de muelles.
Operatividad Pantalanes	3	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, sustituir hasta 2320 m de pantalanes fijos por pantalanes flotantes.
Estabilidad diques	N/A	No son necesarias medidas de adaptación.
Rebase diques	N/A	No son necesarias medidas de adaptación.
Agitación	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Aterramiento	0	No son necesarias medidas de adaptación.

Maó, RCP4.5 - 2100

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Proceso	Riesgo	Medidas de adaptación
Operatividad Muelles	4	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, recrecer un mínimo de entre 20 cm y 125 cm la cota de hasta 5070 m de muelles.
Operatividad Pantalanes	2	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser demasiado, sustituir hasta 685 m de pantalanes fijos por pantalanes flotantes.
Estabilidad diques	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Rebase diques	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Agitación	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Aterramiento	0	No son necesarias medidas de adaptación.

Eivissa, RCP4.5 - 2100

Proceso	Riesgo	Medidas de adaptación
Operatividad Muelles	5	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser excesivo, recrecer un mínimo de entre 15 cm y 45 cm la cota de hasta 1430 m de muelles.
Operatividad Pantalanes	5	Efectuar un seguimiento del tiempo real de inoperatividad. En caso de ser inasumible, sustituir hasta 435 m de pantalanes fijos por pantalanes flotantes.
Estabilidad diques	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Rebase diques	1	Realizar un seguimiento del rebase del Dique de Abrigo. En caso de daños o molestias excesivos, redactar un proyecto de reforma de dicho dique, adoptando alguna de las medidas expuestas en el apartado 6.1.4.
Agitación	0	No son necesarias medidas de adaptación.
Aterramiento	0	No son necesarias medidas de adaptación.

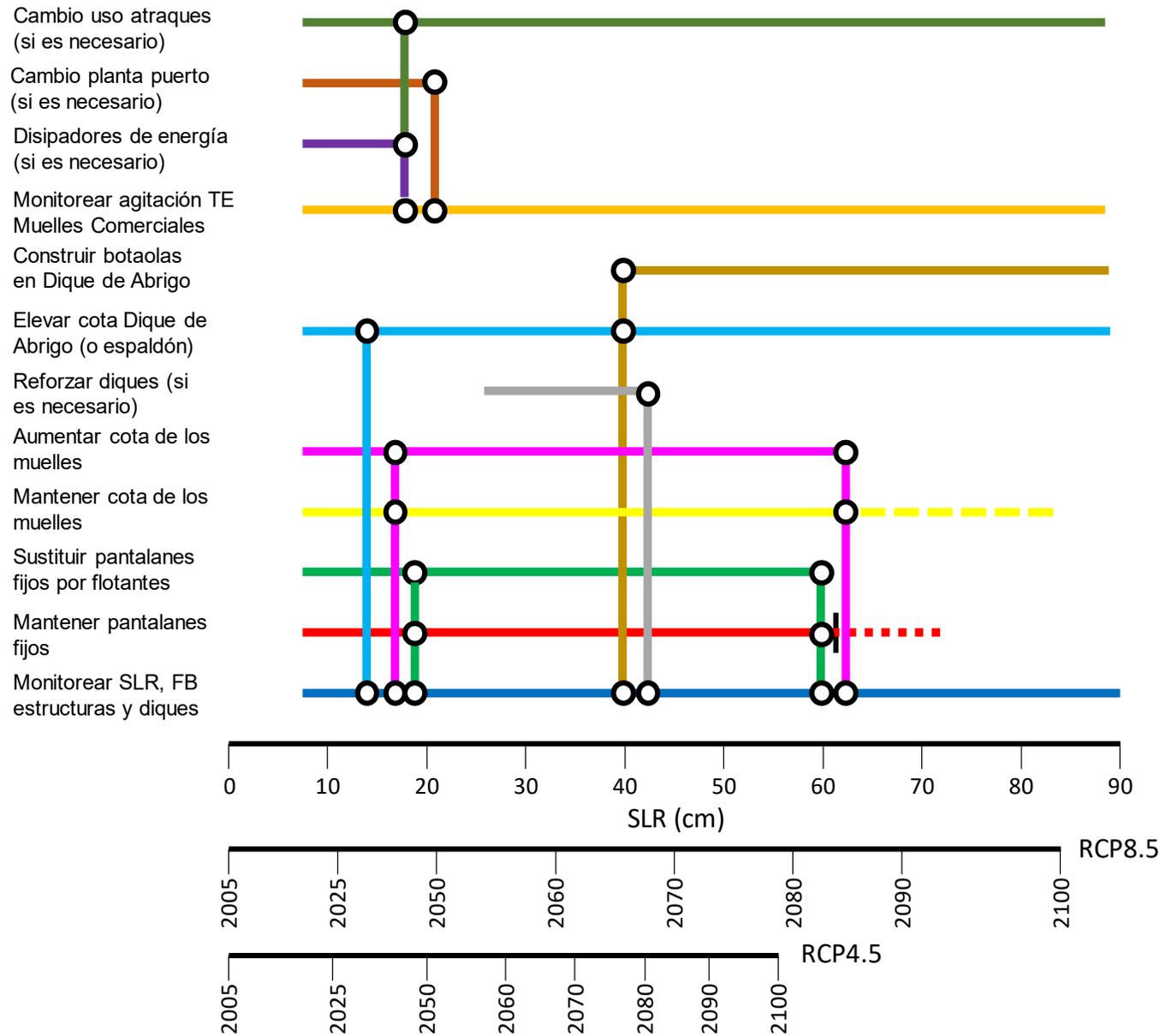
La Savina, RCP4.5 - 2100

4. RUTAS DE ADAPTACIÓN

Para cada puerto → Ruta de adaptación

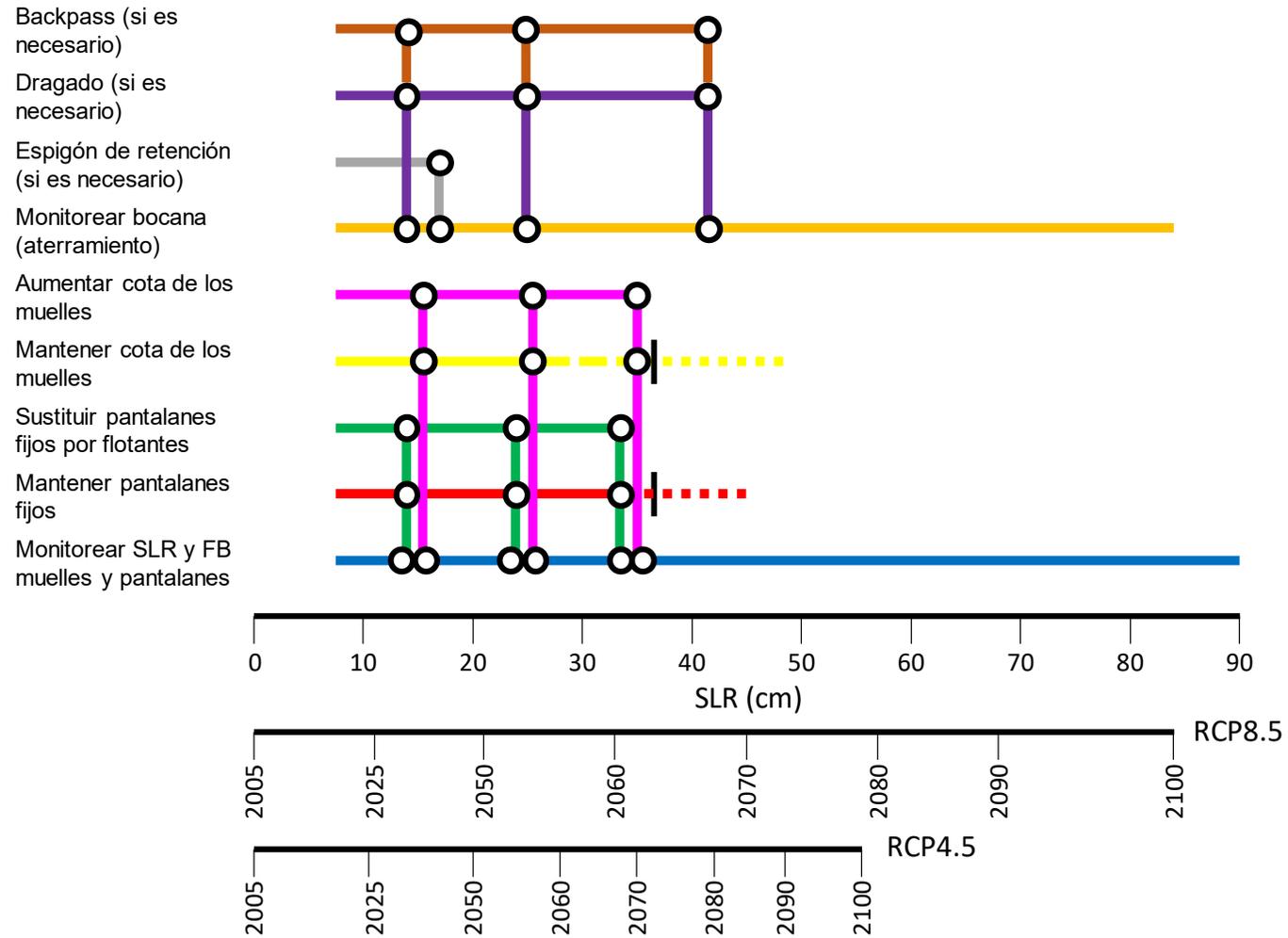
- Secuencia de acciones que pueden ser implementadas progresivamente en función de como evolucionan los forzamientos climáticos
- Importantes los *tipping points* o puntos críticos, que son umbrales que, de ser sobrepasados, conducen a cambios irreversibles (señales de alarma)
- Dada la incertidumbre asociada a los datos utilizados, antes de proceder a realizar actuaciones concretas se recomienda monitorizar los diferentes parámetros que pueden dar lugar a riesgos en los puertos:
 - Reducción del FB de estructuras de atraque
 - Agitación en dársenas
 - Aterramiento
 - Inestabilidad o rebase de diques

4. RUTAS DE ADAPTACIÓN



Palma

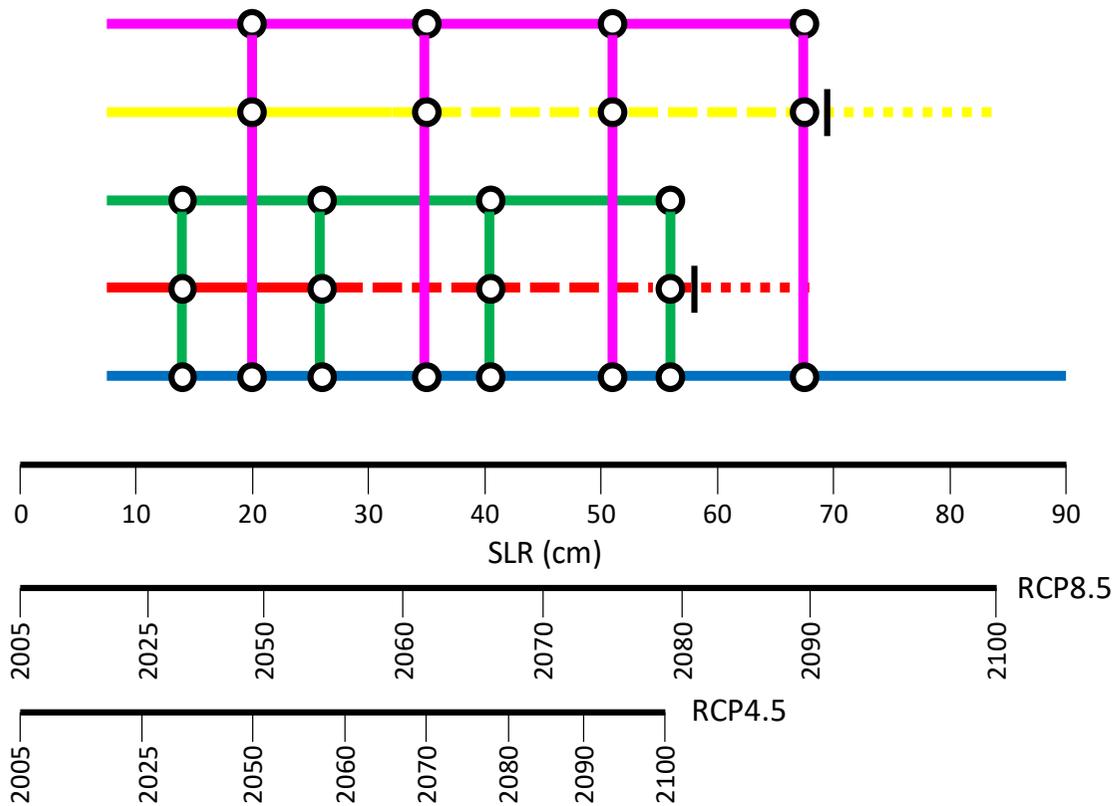
4. RUTAS DE ADAPTACIÓN



Alcúdia

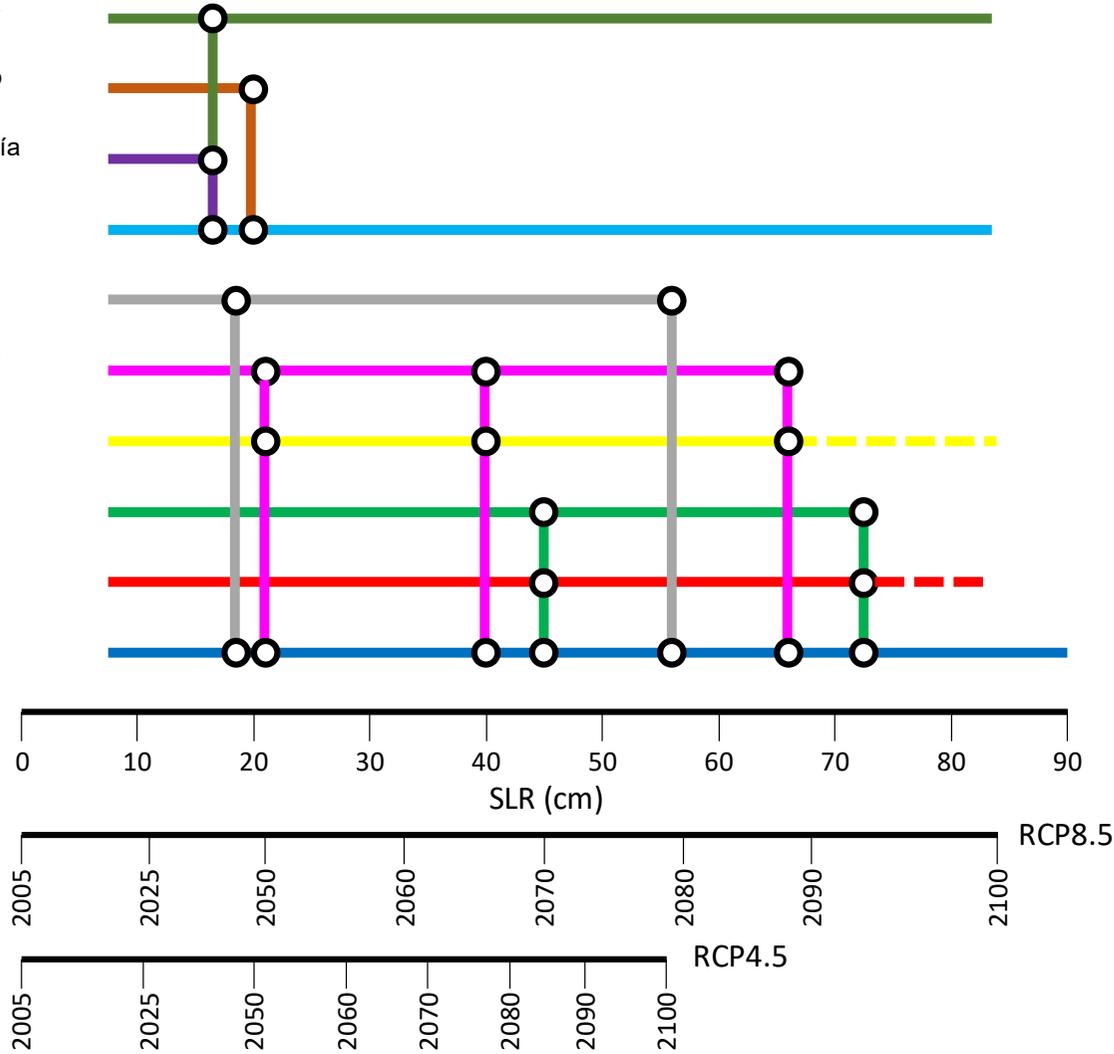
4. RUTAS DE ADAPTACIÓN

- Aumentar cota de los muelles
- Mantener cota de los muelles
- Sustituir pantalanes fijos por flotantes
- Mantener pantalanes fijos
- Monitorear SLR y FB muelles y pantalanes



4. RUTAS DE ADAPTACIÓN

- Cambio uso atraques (si es necesario)
- Cambio planta puerto (si es necesario)
- Disipadores de energía (si es necesario)
- Monitorear agitación zona Botafoc
- Reforzar contradique (si es necesario)
- Aumentar cota de los muelles
- Mantener cota de los muelles
- Sustituir pantalanes fijos por flotantes
- Mantener pantalanes fijos
- Monitorear SLR, FB estructuras y diques



Eivissa

4. RUTAS DE ADAPTACIÓN

Dragado (si es necesario)

Monitorar bocana (aterramiento)

Construir botaolas en Dique de Abrigo

Elevar cota Dique de Abrigo (o del espaldón)

Reforzar contradique (si es necesario)

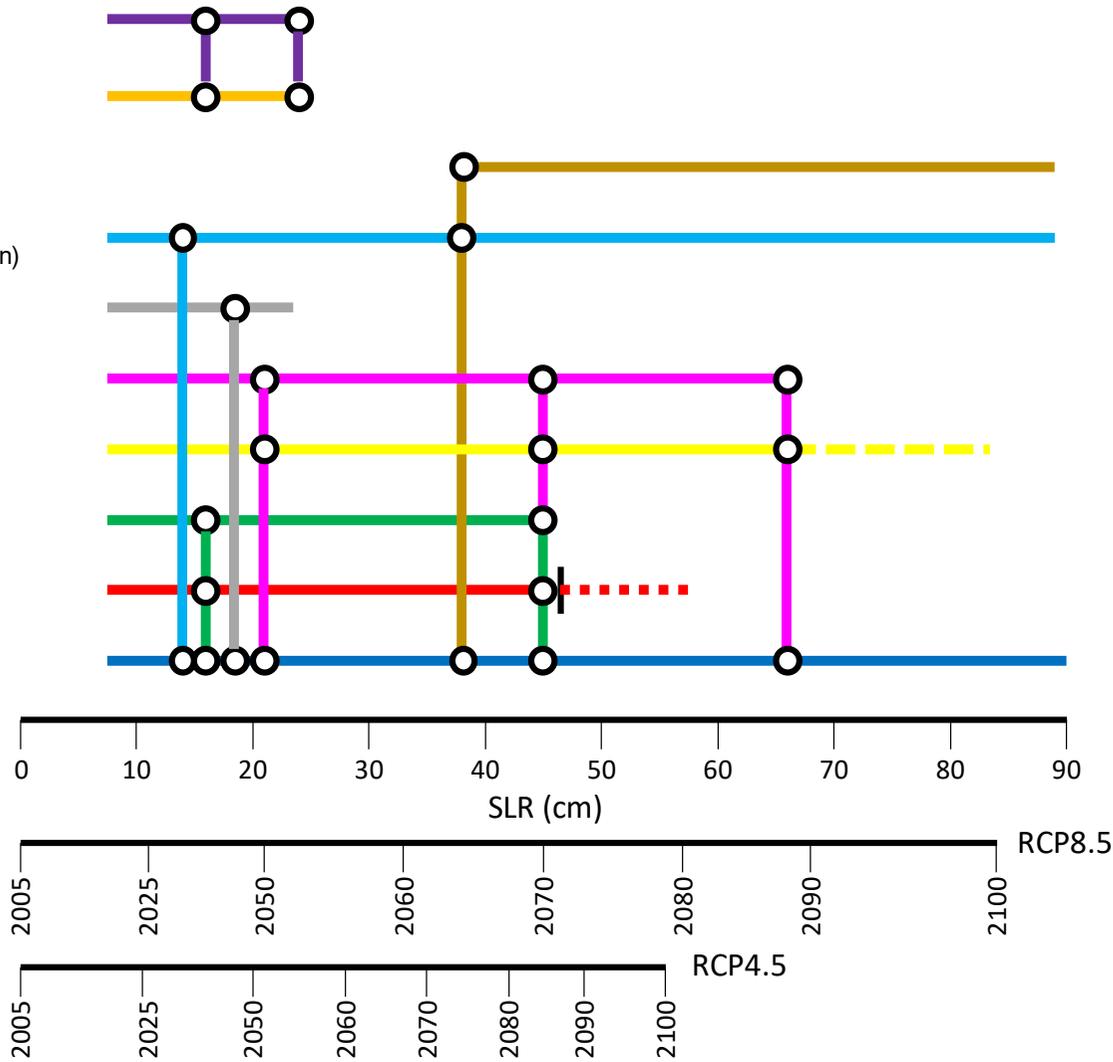
Aumentar cota de los muelles

Mantener cota de los muelles

Sustituir pantalanes fijos por flotantes

Mantener pantalanes fijos

Monitorar SLR, FB estructuras y diques



La Savina

5. CONCLUSIONES

- El mayor riesgo para los puertos es la pérdida de operatividad de muelles y pantalanes (algo menos) por la SLR.
- En los puertos de la APB dicho riesgo es menor en 2050 (riesgo medio o inferior en casi todos los casos).
- En 2100, en la mayoría de puertos dicho riesgo será alto o muy alto.
- Los demás riesgos sólo afectan parcialmente a algunos de los puertos, con resultados muy variables en función de los escenarios climáticos y los horizontes temporales.
- En el caso del rebase de los diques de abrigo por el oleaje, todos los puertos tienen un riesgo bajo o muy bajo, excepto el P.D. de Portixol en 2100.
- Respecto al aterramiento, el riesgo se mantendrá similar en los escenarios futuros o disminuirá ligeramente (sobre todo en 2100) debido al incremento de calados asociados a la SLR.

5. CONCLUSIONES

- El único puerto con un riesgo muy alto de agitación es el P.D. de Portixol (en 2100), aunque circunscrito a la dársena más cercana a la bocana. En Palma y Eivissa, hay alguna dársena con riesgo bajo o muy bajo según el escenario.
- Resultados obtenidos muy condicionados por datos utilizados y, por tanto, conclusiones están basadas en escenarios climáticos futuros y proyecciones futuras de datos meteoceanográficos.
- El estudio puede detectar tendencias y que zonas son más susceptibles a determinados riesgos.
- Como primera medida de adaptación se propone monitorizar en cada puerto las zonas y procesos en los que se han detectado un potencial impacto del CC.
- Se ha realizado una propuesta de medidas de adaptación a nivel general, así como unas rutas de adaptación, que delimitan el horizonte temporal idóneo de la implementación de dichas medidas.
- Para la implementación de las medidas será necesaria la realización de proyectos específicos con los correspondientes estudios de EIA.
- Ya existen los medios técnicos para llevar a cabo las medidas de adaptación necesarias, ya que todas ellas entran dentro de la práctica común de la Ingeniería Portuaria.