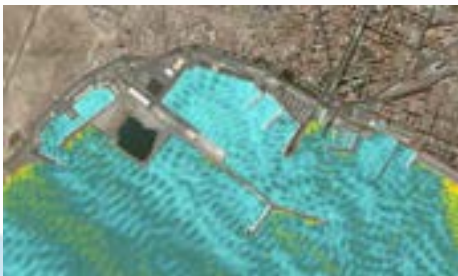


# Infraestructuras y Cambio Climático en España: Desde el análisis del riesgo al diseño en ingeniería

Iñigo J. Losada  
Instituto de Hidráulica Ambiental “IH Cantabria”  
Universidad de Cantabria-España



1. Introducción: Cambio climático
  2. Cambio climático e infraestructuras
  3. Metodología para la evaluación de riesgos
  4. Evaluación a macroescala y mesoescala
  5. Evaluación a escala local
- 
1. Conclusiones y recomendaciones

1. **Introducción: Cambio climático**
  2. Cambio climático e infraestructuras
  3. Metodología para la evaluación de riesgos
  4. Evaluación a macroescala y mesoescala
  5. Evaluación a escala local
- 
1. Conclusiones y recomendaciones

## Proyecciones:

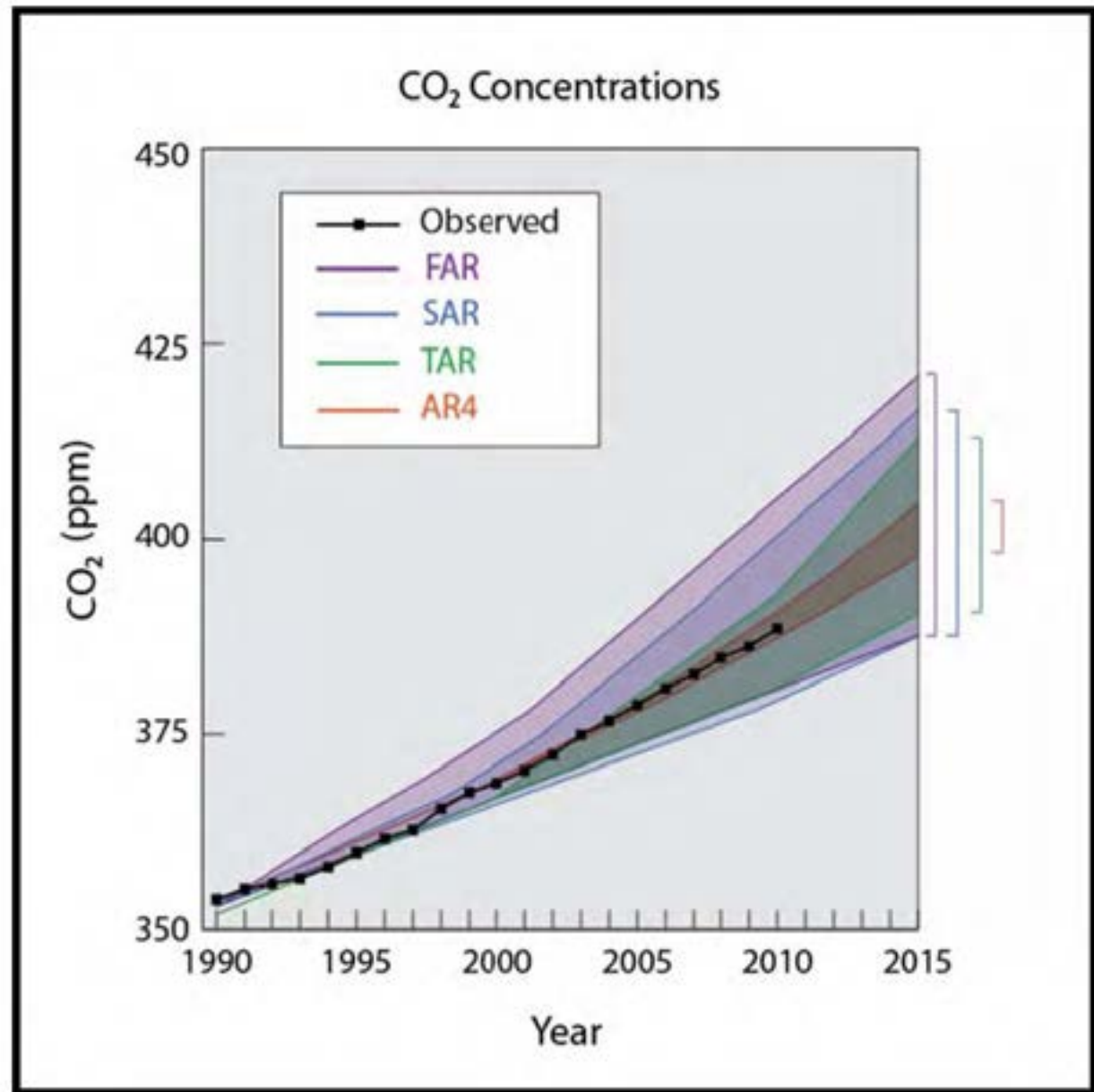
- Desde que comenzaron las evaluaciones del IPCC en 1990, se han presentado proyecciones de cambio climático cada vez con mayor complejidad y detalle a medida que han ido evolucionando los modelos.
- El tiempo transcurrido entre 1990 y las proyecciones del AR4 nos permiten comparar las primeras proyecciones con los cambios observados en este periodo, permitiendo analizar la fiabilidad de dichas proyecciones.

Estimación de la concentración media anual observada globalmente de dióxido de carbono en partes por millón (ppm) desde 1990 en comparación con los valores proyectados en evaluaciones anteriores del IPCC

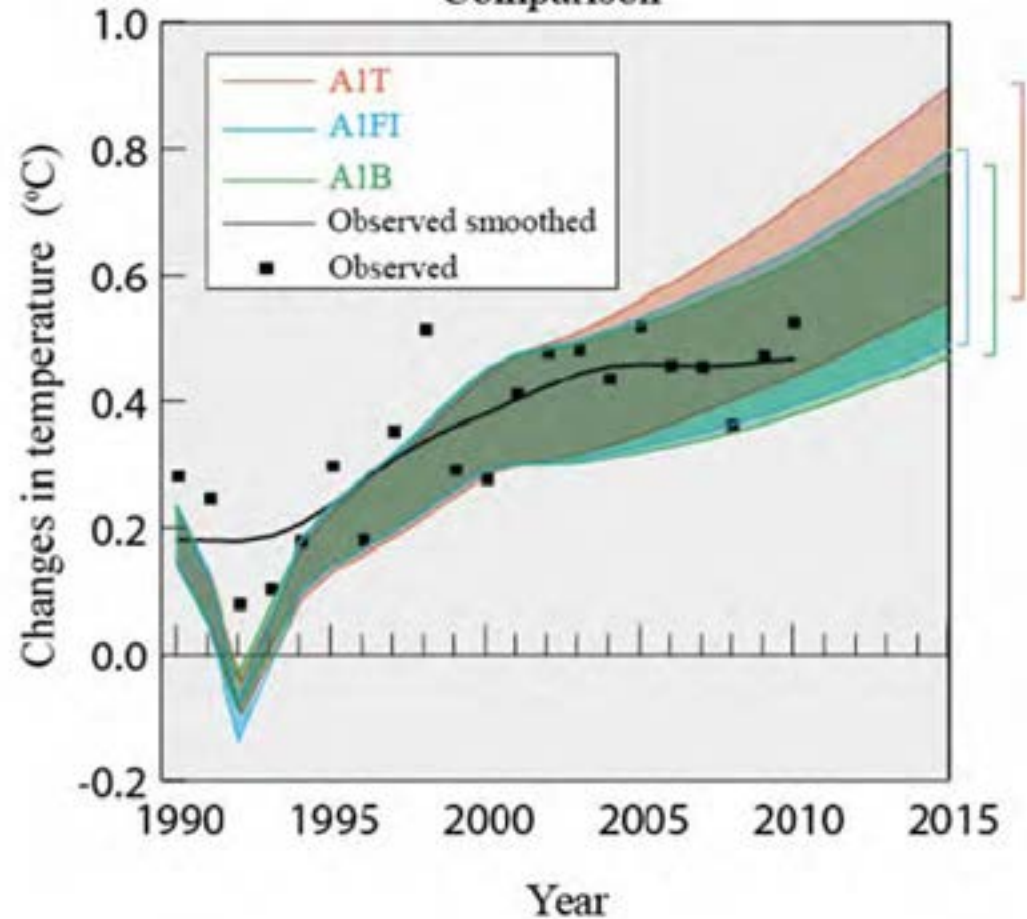
Valores observados estimados en negro.

El sombreado muestra el mayor rango de concentración anual global de CO<sub>2</sub> proyectado por los modelos desde 1990 a 2015 y proveniente del FAR, SAR, TAR, and AR4.

No se muestran las incertidumbre en las observaciones.



## Globally and Annually Averaged Temperature Anomaly SRES Comparison



Variaciones de la temperatura media anual global.

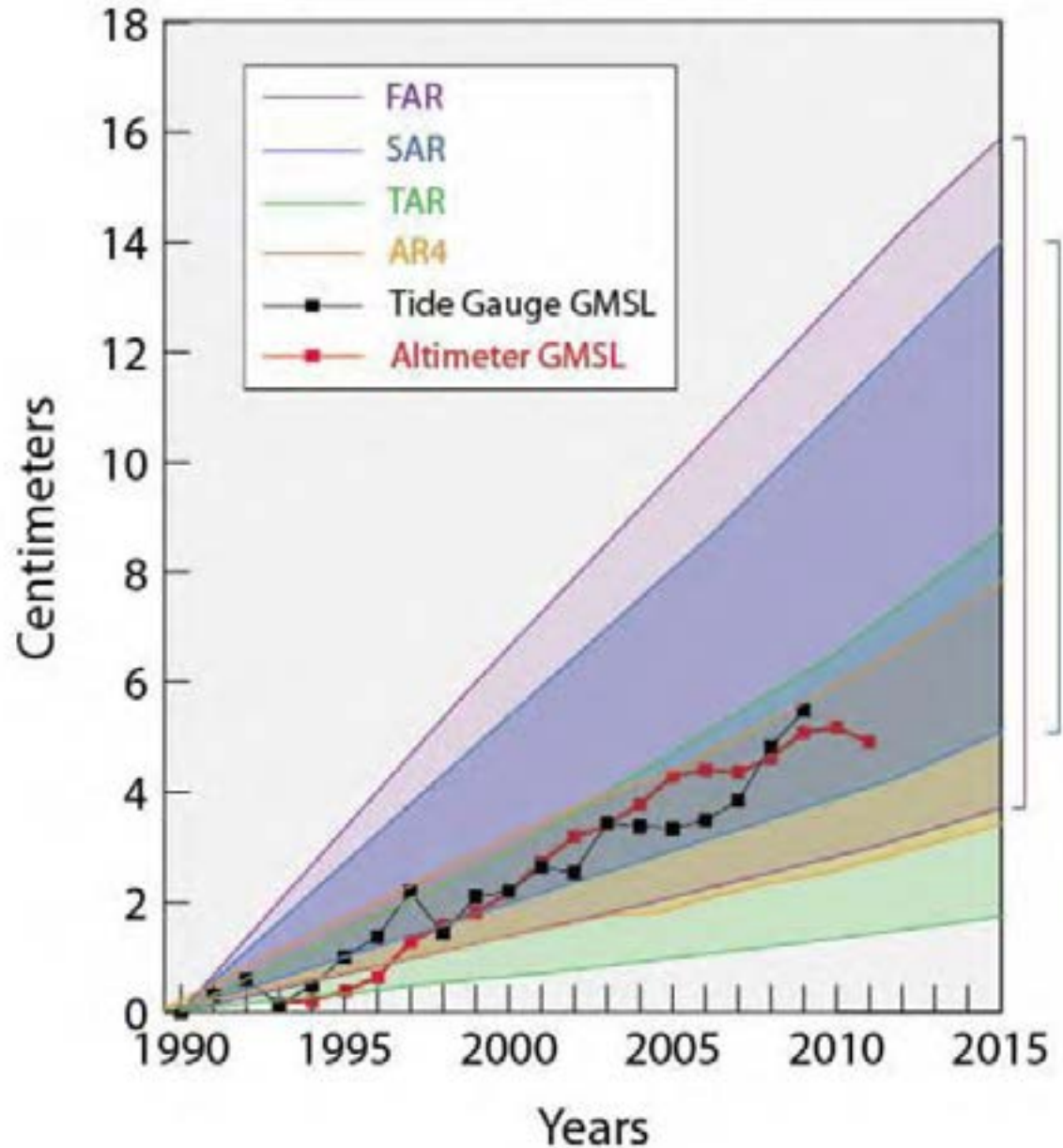
Proyecciones del AR4.

El sombreado muestra escenarios SRES del AR4 de alto, medio y bajo nivel de emisiones bajo para los años 1990-2015.

No se muestran las incertidumbre asociadas a las medidas



## Global Average Sea Level Rise



Valor estimado de los cambio en el nivel del mar anual global desde 1990 basado en valores medios anuales de las misiones TOPEX y Jason (negro).

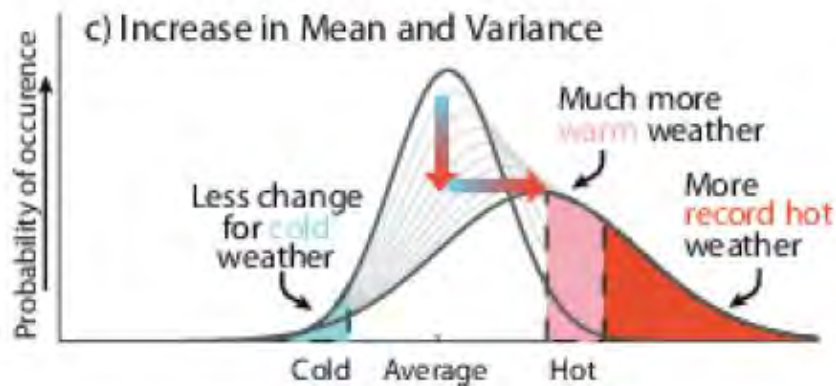
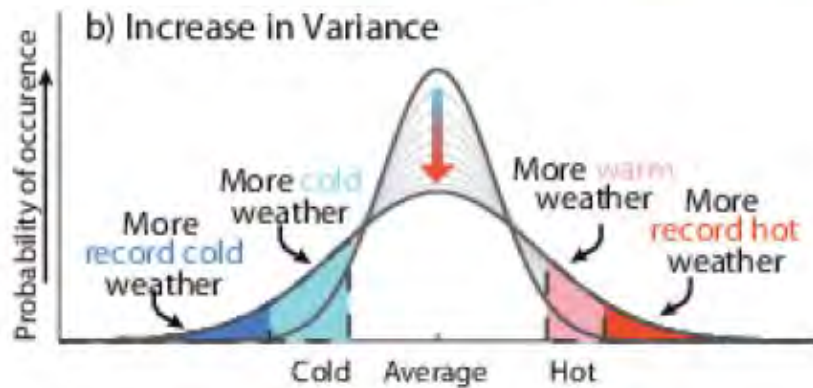
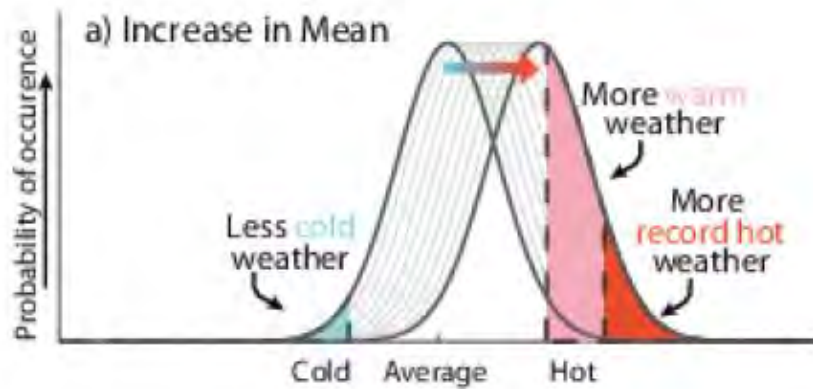
Valor estimado en las anomalías de nivel del mar anual global a partir de datos de mareógrafo (rojo).

El sombreado muestra el rango máximo de valores proyectados para aumento del nivel del mar anual global desde 1990 a 2015 para FAR, SAR, TAR y AR4.

No se muestran las incertidumbres en los datos observados

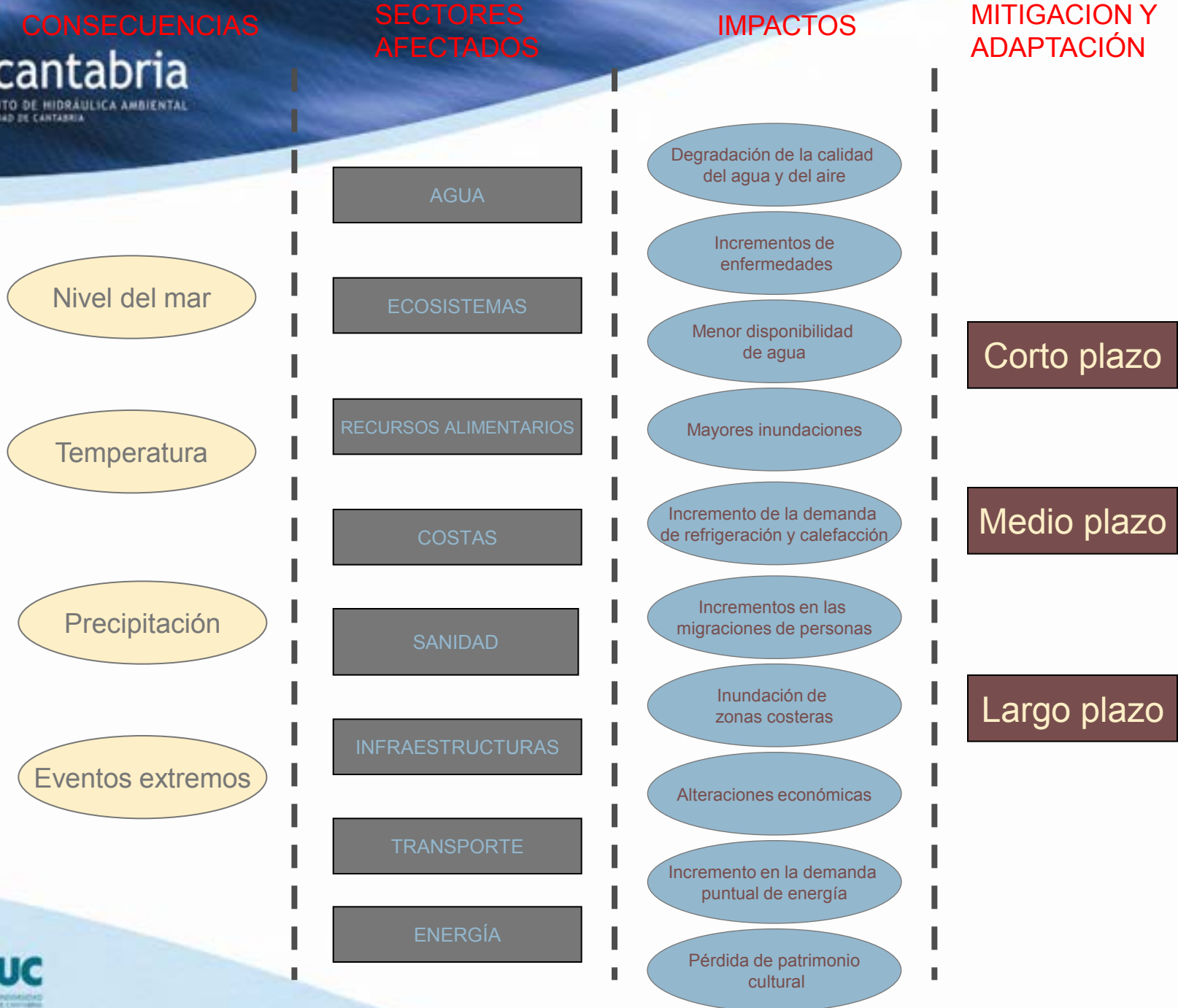
- Las observaciones globales medias de temperatura caen perfectamente en el rango de incertidumbres de las proyecciones previas del IPCC, situándose en el rango de los escenarios intermedios.
- Las proyecciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) siguen también las proyecciones.
- Las proyecciones de aumento del nivel medio del mar global también se ajustan bien a las proyecciones en el periodo mostrado





Efecto sobre los extremos de la temperatura cuando (a) cambia la temperatura media, (b) cambia la variabilidad (varianza) (c) cambia la media y la varianza en una función de densidad normal

Incremento en concentración GHG y calentamiento atmosférico



Posibles cambios en fenómenos climáticos extremos y su probabilidad	Ejemplos representativos de impactos proyectados (todos con alta certidumbre de que se produzcan en algunas zonas)
<p>Días y noches fríos más cálidos y menos frecuentes y mayor frecuencia de días y noches calientes</p> <p>(prácticamente seguro)</p>	<p>Efecto isla de calor  Mayor demanda de refrigeración  Empeoramiento de la calidad del aire en las ciudades  Efectos en el turismo de invierno  Reducción de la demanda de calefacción (beneficio a corto plazo pero no en Asia Oriental)  Reducción de la disrupción debido a nieve, hielo (beneficio a corto plazo pero no para Asia Oriental)</p>
<p>Temporada de calor/olas de calor. Incremento de la frecuencia sobre mayor parte de las zonas de tierra</p> <p>(muy probable)</p>	<p>Mayor demanda de agua  Problemas en la calidad de agua  Mayor riesgo de mortalidad relacionada con el calor, especialmente para ancianos, enfermos crónicos, los muy jóvenes, personas socialmente aisladas  Reducción de la calidad e vida para personas en zonas cálidas sin viviendas apropiadas</p>
<p>Eventos fuertes de precipitación. Incrementa la frecuencia en la mayoría de áreas.</p> <p>(muy probable)</p>	<p>Efectos adversos en la calidad de aguas superficiales y subterráneas  Contaminación de fuente de agua  Incremento de riesgos de muerte, lesiones, y enfermedades infecciosas, respiratorias y dermatológicas  Alteraciones de asentamientos, comercios, transportes, y sociedades debidas a inundaciones  Grandes desplazamientos de personas  Presiones en infraestructuras rurales y urbanas  Pérdida de propiedad  Estrés sobre el recurso agua puede ser aliviado (beneficio a corto plazo)</p>
<p>Incremento de la actividad de ciclones tropicales intensos</p> <p>(probable)</p>	<p>Cortes en el suministros eléctrico  Migraciones de urgencia a zonas urbanas  Interrupción del suministro de agua  Incremento de muertes, lesiones y enfermedades relacionadas con el agua y la alimentación, y desordenes post-traumáticos  Alteraciones por inundaciones y fuertes vientos  Pérdida de seguros de riesgo en zonas vulnerables por entidades aseguradoras privadas  Potencial para migraciones de poblaciones  Pérdida de propiedad</p>
<p>Incremento de la incidencia de nivel de mar extremo (excluye tsunamis)</p> <p>(probable)</p>	<p>Reducción de la disponibilidad de agua dulce debido a la intrusión de agua salada  Incrementos del riesgo de mortandad y lesiones por ahogamiento en inundaciones y efectos en la salud relacionados con las migraciones  Pérdida de propiedad y sustento de vida  Erosión permanente  Costes de protección costera versus costes de recolocación de usos del terreno  Potencial para desplazamiento de poblaciones y estructuras</p>

Fuente: IPCC

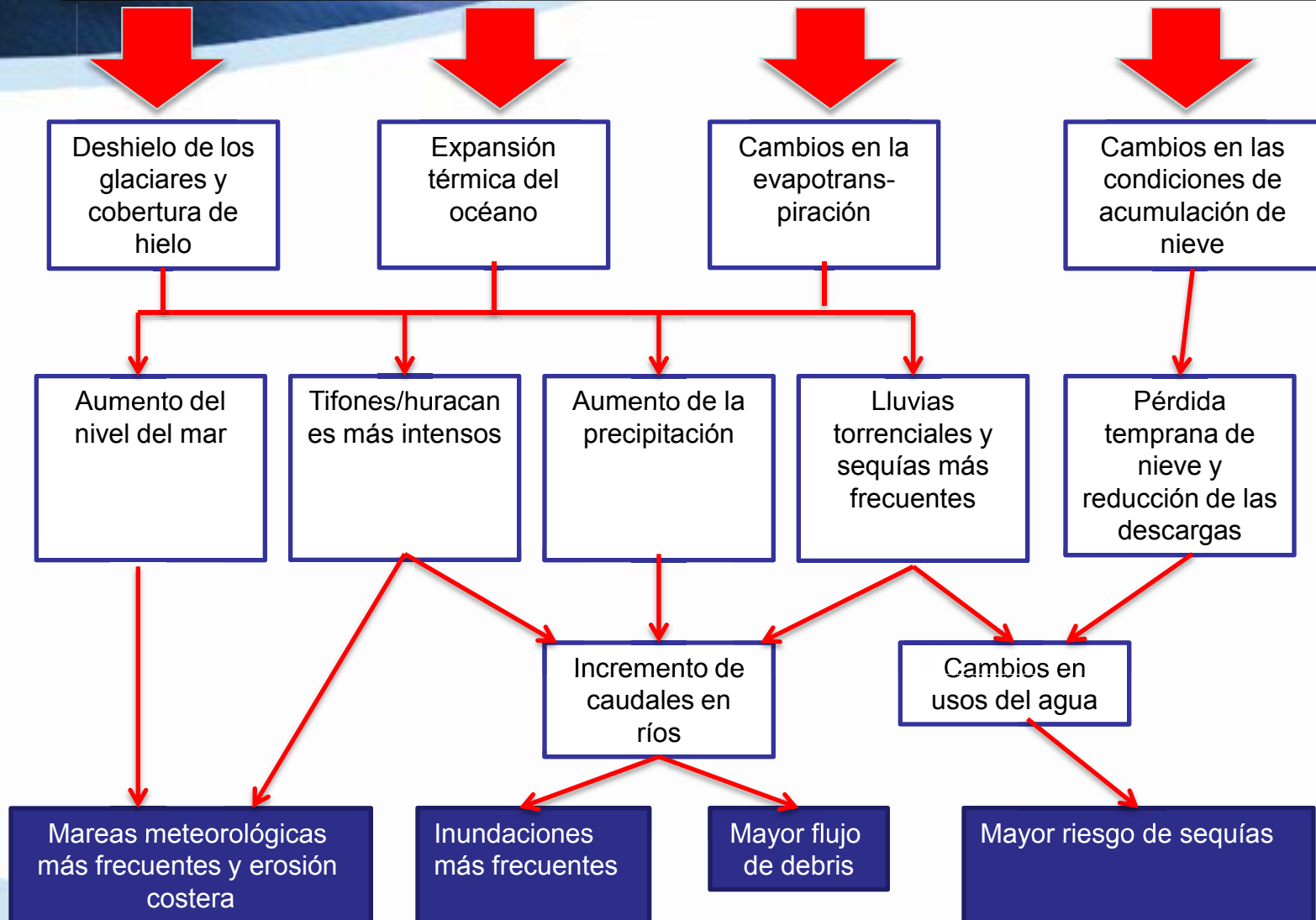


Departamento y su función	Activos o sectores afectados	Principal influencia climática	Posibles efectos
Medio Ambiente: Suministro de agua e irrigación	Infraestructuras	Reducción de precipitaciones, eventos extremos, e incremento de temperaturas	Reducción de seguridad del suministro (dependiendo del recurso de agua), contaminación del recurso agua
Medio ambiente: Saneamiento	Infraestructuras	Incremento de precipitaciones	Precipitaciones más intensas (eventos extremos) causarán mayor afluencia de infiltración a la red de aguas residuales; Los eventos extremos de precipitación incrementarán en frecuencia y en volumen dando lugar a mayores eventos de descarga; periodos de sequía más largos incrementarán la probabilidad de blocajes del sistema de saneamiento y consiguientes desbordamientos de aguas residuales.
Medio Ambiente o Protección Civil: Escorrentía	Red de abastecimiento, saneamiento y protección frente a inundaciones	Incremento de precipitaciones Aumento del nivel del mar	Incremento de la frecuencia y/o volumen de inundación del sistema; incremento de caudales y avenidas en sistemas fluviales y la consecuente erosión; cambios en el nivel de las aguas subterráneas, intrusión salina en zonas costeras; cambios en planicies de inundación y mayor probabilidad de daños en propiedades e infraestructuras
Infraestructuras de transporte (incluyendo carreteras)	Transporte Infraestructuras	Eventos extremos de precipitación, vientos extremos	Alteraciones debido a inundaciones, deslizamientos, caída de árboles y tendidos; Efectos directos de la exposición al viento en vehículos pesados
Planificación y desarrollo de políticas	Asentamientos industriales Desarrollo de zonas urbanas Infraestructuras Planificación	Todas	Emplazamiento inapropiado de zonas de expansión urbanas, infraestructuras inadecuadas o inapropiadas, adaptación de los sistemas con elevados costes

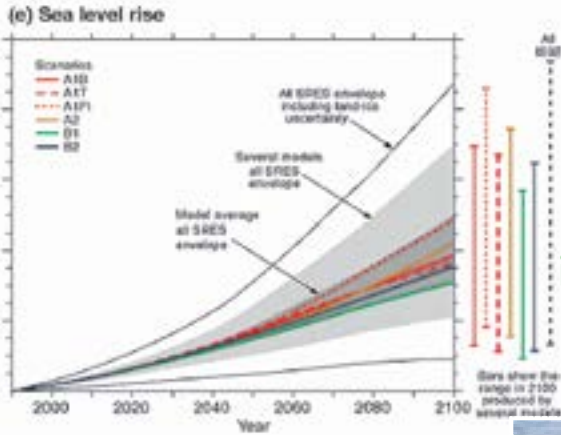
1. Introducción: Cambio climático
  - 2. Cambio climático e infraestructuras**
  3. Metodología para la evaluación de riesgos
  4. Evaluación a macroescala y mesoescala
  5. Evaluación a escala local
1. Conclusiones y recomendaciones



Aumento de la absorción de calor por aumento en la concentración de gases de efecto invernadero. Produce aumento de la temperatura y del nivel del mar



## Subida del Nivel del Mar



**Erosión**  
**Inundación**  
**Daños en infraestructuras**



# DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE: INFRAESTRUCTURAS

Carreteras



Puertos



Aeropuertos



Ferrocarril













## CICLO DE VIDA DE LAS INFRAESTRUCTURAS

### 1. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO/UBICACIÓN

#### Puerto exterior

Las tres fases de la ampliación



EL CORREO GALEGO

Fuente: Puerto de A Coruña

### 2. CONSTRUCCIÓN



### 3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



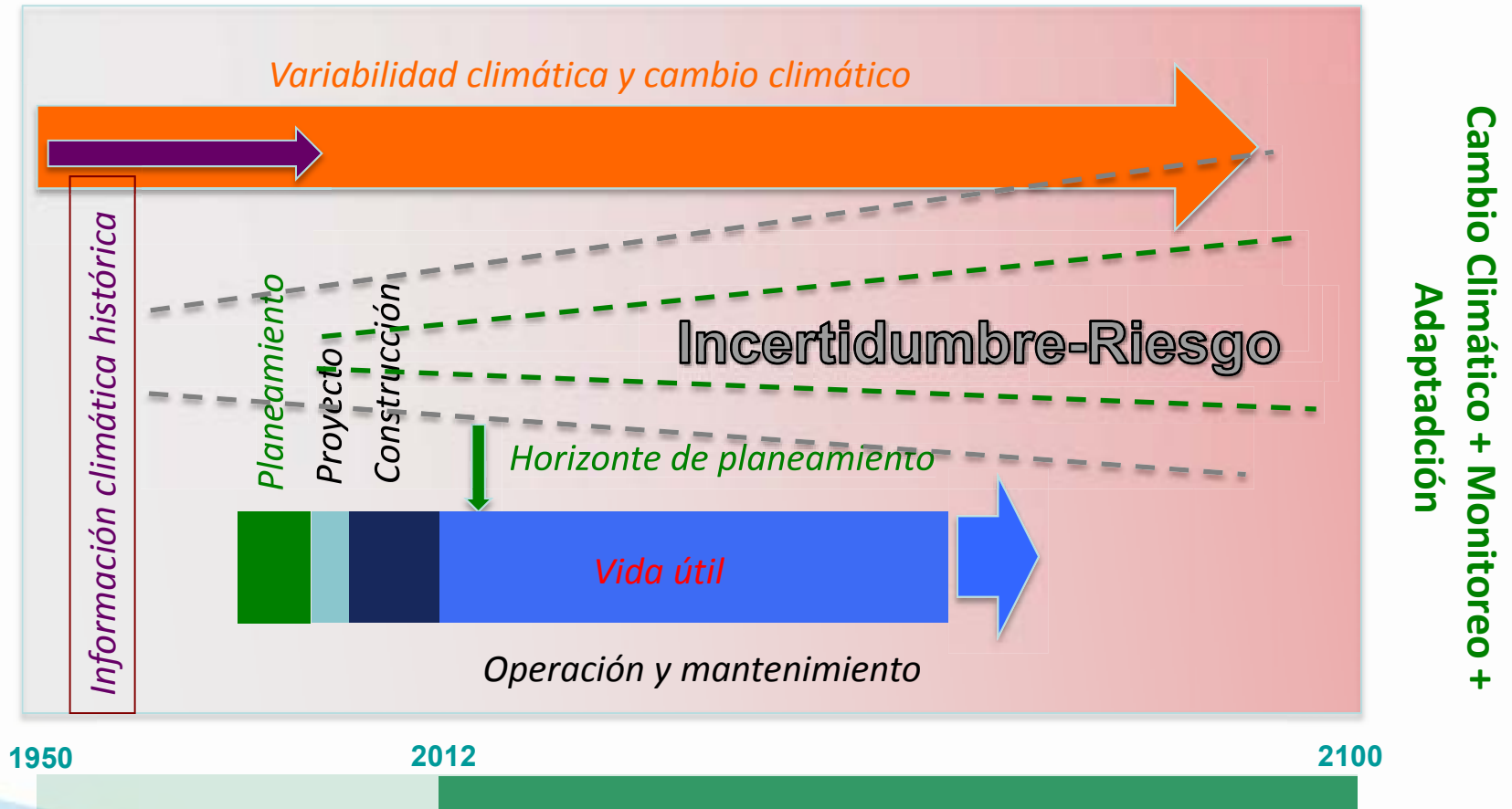
### 4. ADECUACIÓN/DESMANTELAMIENTO



**Características comunes a las infraestructuras del transporte, abastecimiento, saneamiento, generación de energía, etc.**

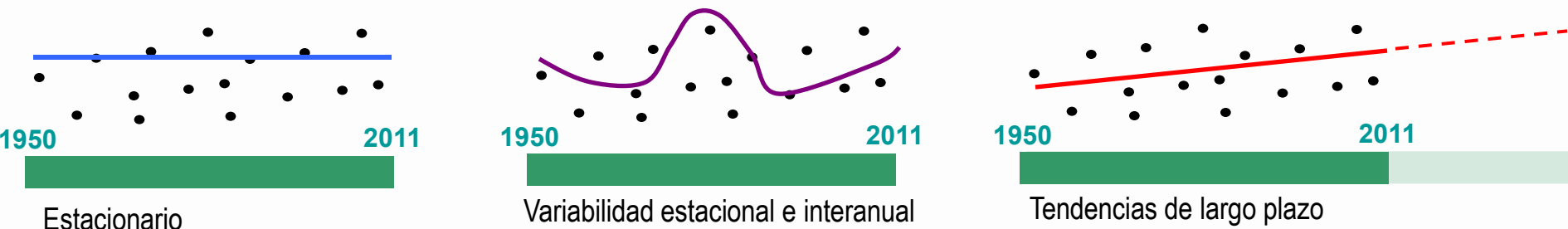
- **Se diseñan, proyectan y construyen de acuerdo con la demanda sin considerar su exposición a los efectos del clima**
- **Su vida útil se espera que se extienda varias décadas**
- **Su ciclo de vida incluye varias fases, que van más allá de su vida útil, alargando el ciclo y su relación con las variables climáticas relevantes**
- **Estos factores no son, generalmente, tenidos en cuenta**





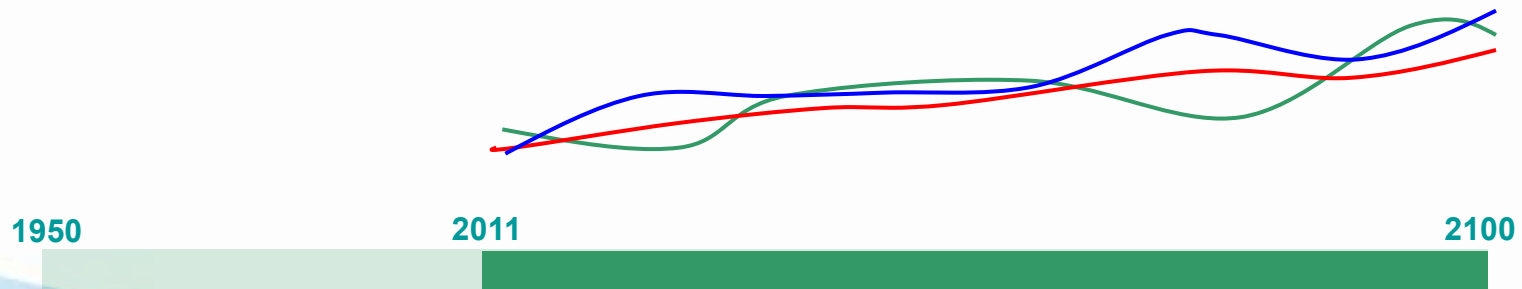
¿Cuándo introducimos la adaptación?

■ Análisis histórico de tendencias y de variabilidad climática



■ Proyección al siglo XXI con técnicas de downscaling estadístico

■ Proyección al siglo XXI con técnicas de downscaling dinámico





1. Introducción: Cambio climático
  2. Cambio climático e infraestructuras
  - 3. Metodología para la evaluación de riesgos**
  4. Evaluación a macroescala y mesoescala
  5. Evaluación a escala local
1. Conclusiones y recomendaciones



Inundación

Erosión

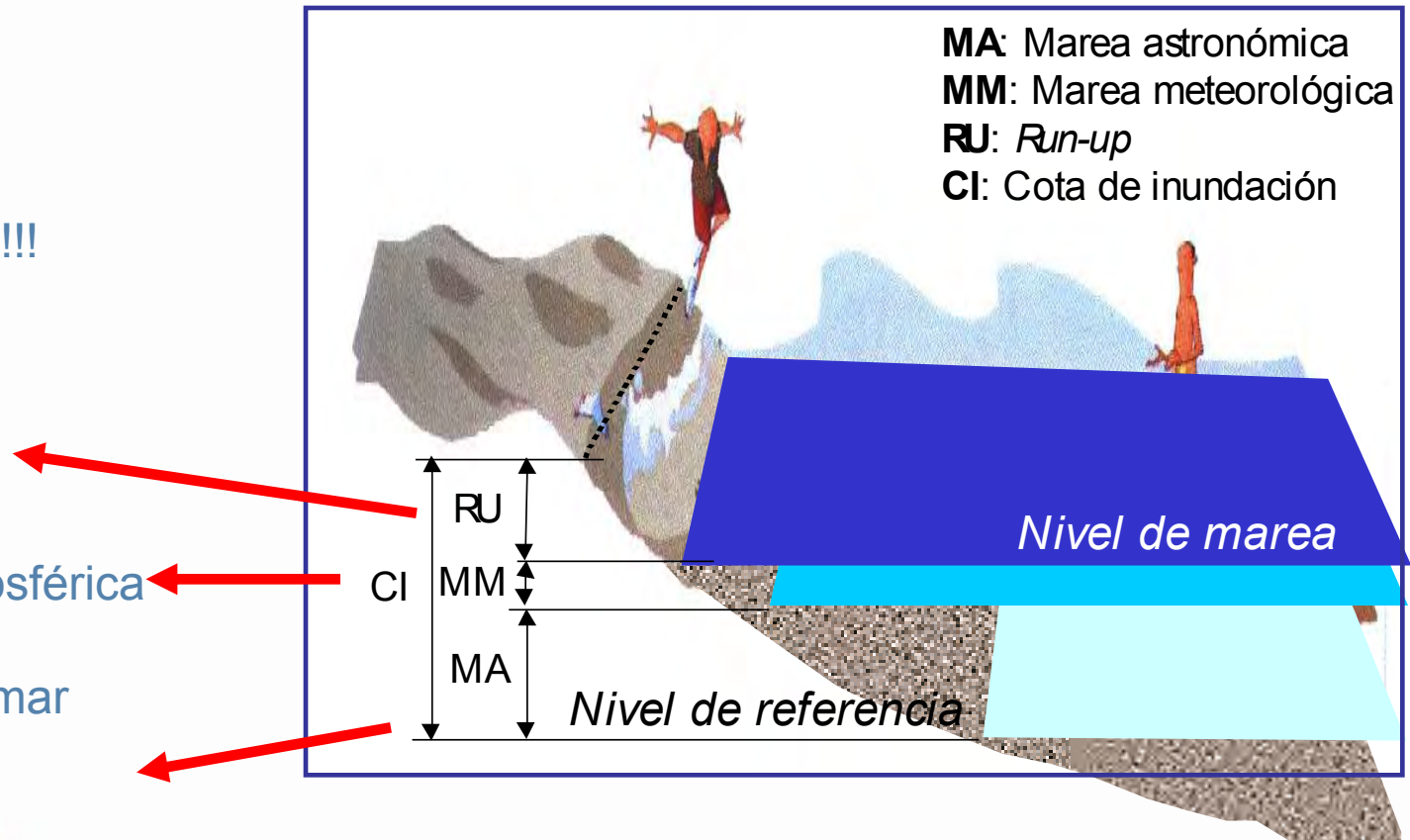


## Procesos Inundación - Erosión

### Inundación:

Suma de efectos !!!

- Oleaje
- Viento
- Presión atmosférica
- Nivel medio mar

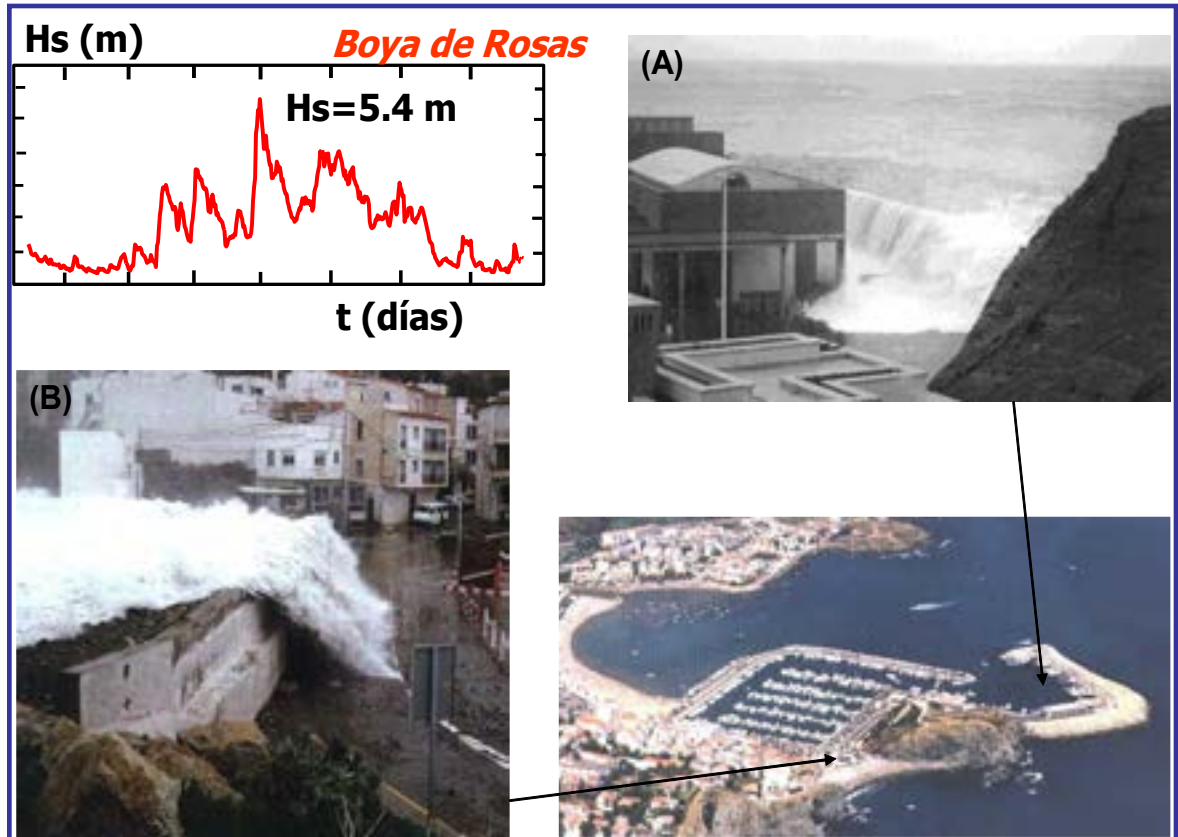


## Procesos Inundación - Erosión

### Inundación:

Llança, Gerona.  
28/10/1997

- Fuerte temporal
- Marea Meteorológica escasa (10 cm)





## Procesos Inundación - Erosión

### Inundación:

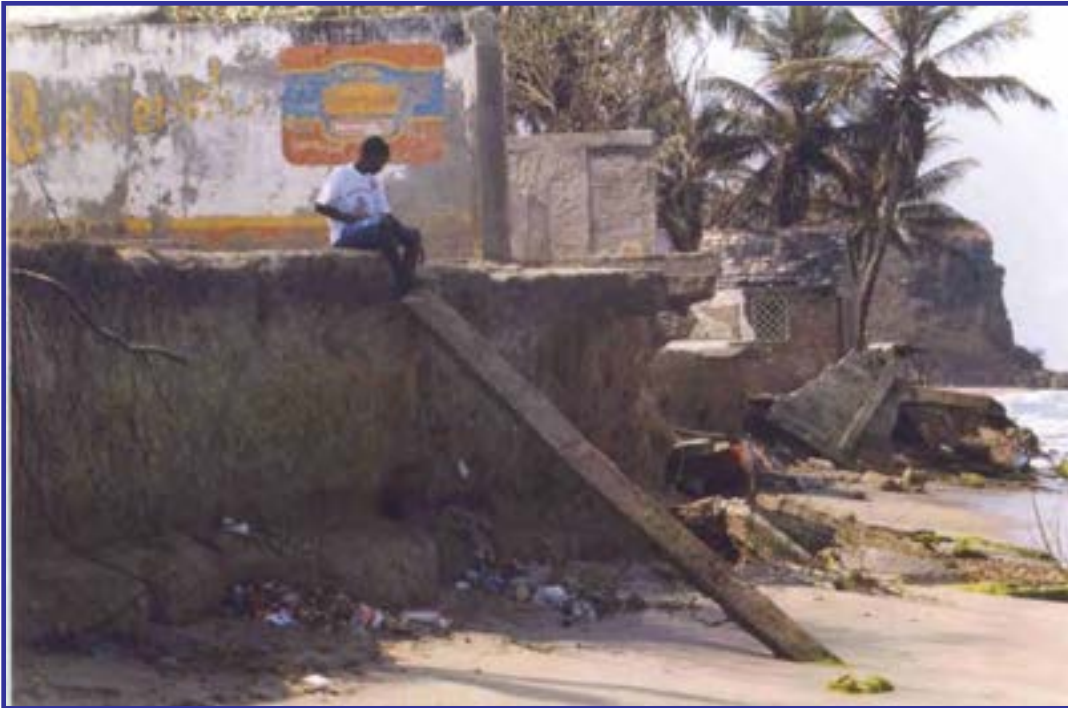
Lloret de Mar, Gerona.  
11/11/2001

- Temporal no extremo
- Marea Meteorológica excepcional (1 m)





## Procesos Inundación - Erosión



### Erosión:

Suma de efectos !!!

- Nivel del mar



- Altura de ola
- Dirección del oleaje



## RIESGO:

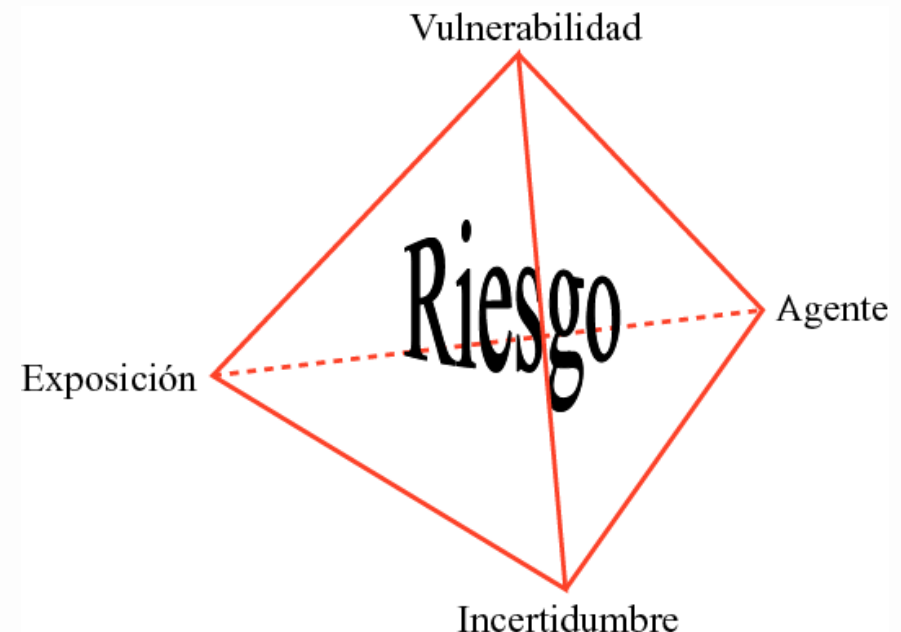
“La probabilidad de pérdidas catastróficas o las **pérdidas esperadas** debido a los efectos sufridos como consecuencia de la actuación de un **agente** sobre una **región** en un periodo de **tiempo** determinado.”

**Agente (hazard):** **evento**, fenómeno físico o humano, que puede **provocar daños**

**Incertidumbre (likelihood):** **Probabilidad** de que un **agente** se produzca con una magnitud dada en una región y en un intervalo de tiempo determinado.

**Exposición (exposure):** **zona física** que se ve **afectada** ante un evento del **agente**.

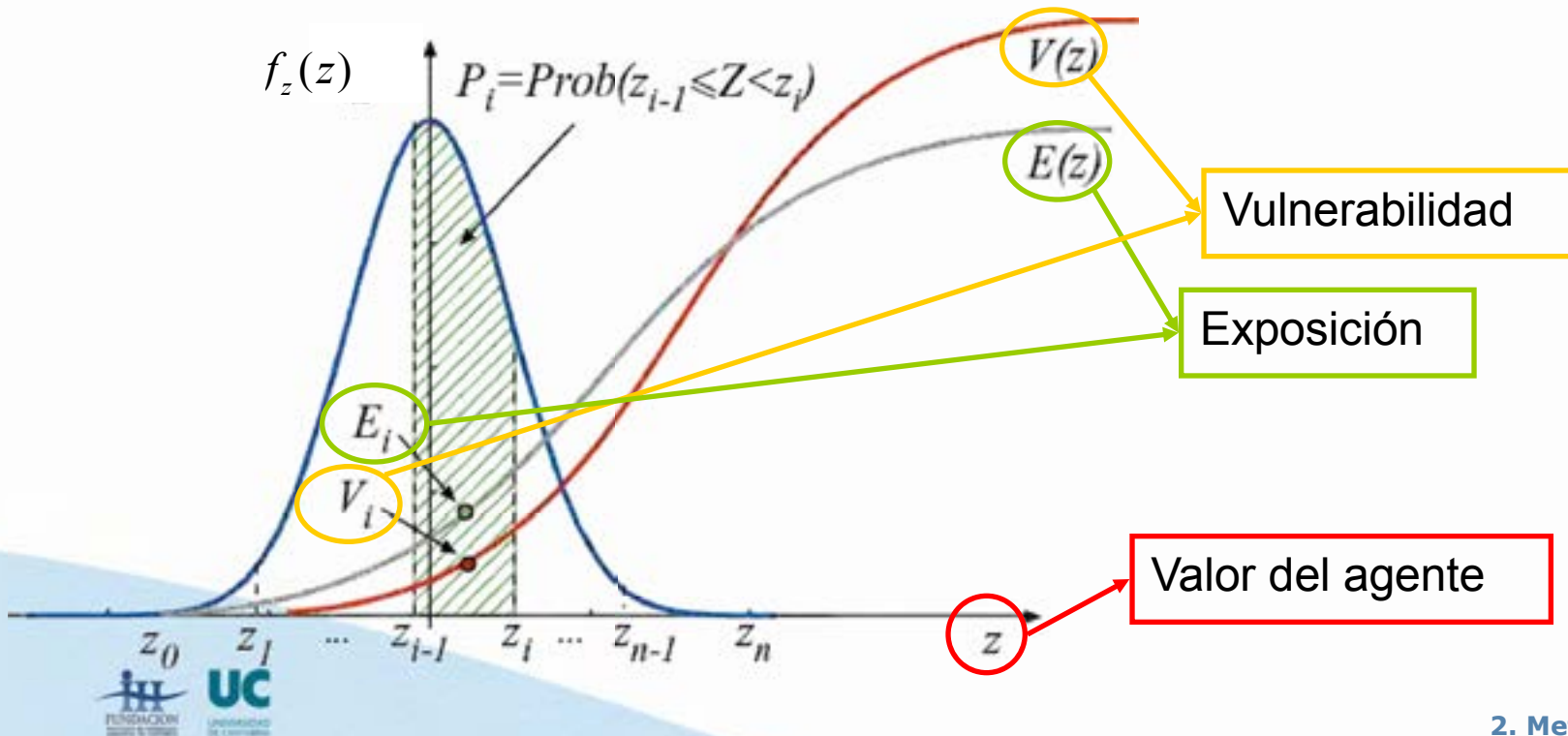
**Vulnerabilidad (vulnerability):** **Condiciones** de la región que aumentan la **susceptibilidad** de la zona a los impactos de los **agentes**.



Definición matemática genérica:

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_z(z) E(z) V(z) dz,$$

Esperanza del daño



Ejemplo:  Año origen  $t_0 = 2010$   
 Año horizonte  $t_H = 2050$

1. Estimación del riesgo hoy (año 2010) y su incertidumbre:

$$\hat{R}_{2010}, \hat{\sigma}_{R,2010}$$

Incertidumbre debida a la incertidumbre de los agentes en el 2010

2. Estimación del riesgo en el futuro (p.e. año 2050) y su incertidumbre:

$$\hat{R}_{2050}, \hat{\sigma}_{R,2050}$$

Incertidumbre debida a la incertidumbre de los agentes en el 2050

3. Variación del riesgo:

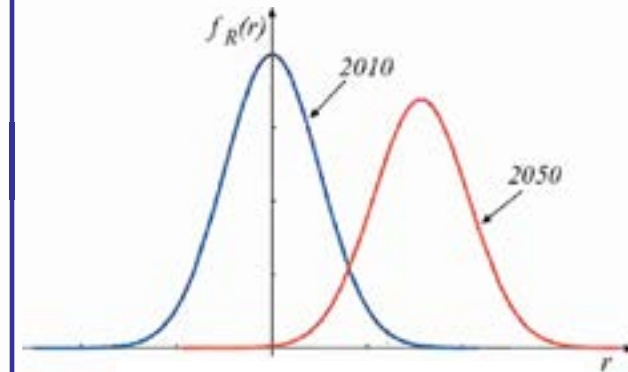
**Riesgo asociado al cambio climático entre el año origen y año horizonte**

$$\Delta \hat{R} = \hat{R}_{2050} - \hat{R}_{2010}$$

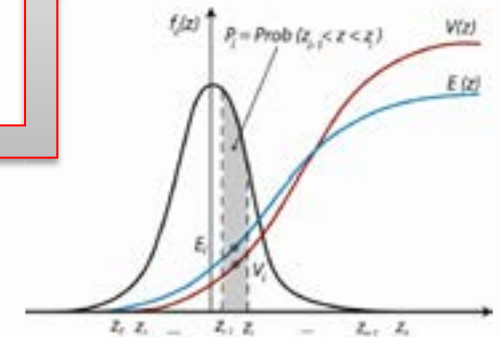
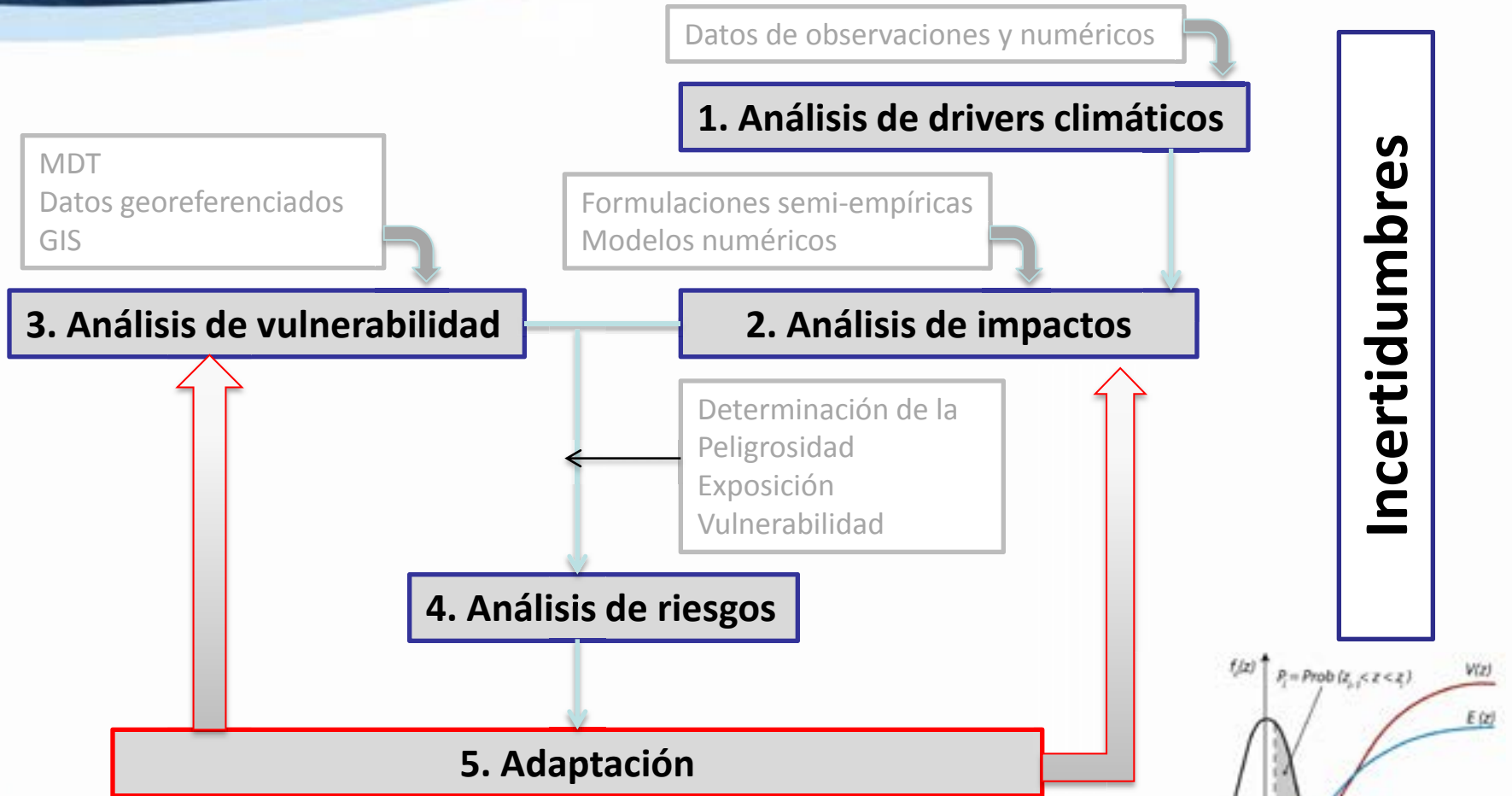
$$\Delta \hat{R}_R = \frac{\hat{R}_{2050} - \hat{R}_{2010}}{\hat{R}_{2010}} \cdot 100$$

$$\sigma_{\Delta \hat{R}} = \sqrt{\hat{\sigma}_{R,2050}^2 + \hat{\sigma}_{R,2010}^2}$$

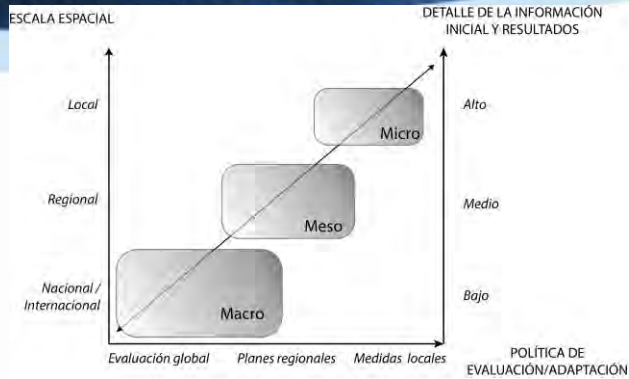
$$\Delta \hat{R} \pm \Phi^{-1}(1 - \alpha/2) \sigma_{\Delta \hat{R}}$$



Evolución del riesgo





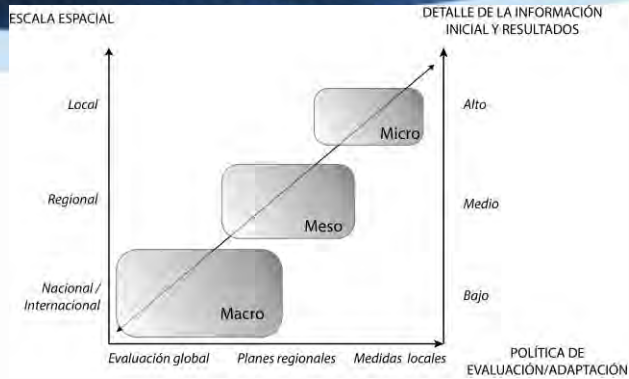


## ESCALAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

ESCALA	ALCANCE DEL ESTUDIO	NIVEL DE GESTIÓN	EXACTITUD DE LOS RESULTADOS	ABUNDANCIA DATOS DE PARTIDA	RESOLUCIÓN DATOS DE PARTIDA
<b>MACRO</b>	(Inter)nacional	Políticas globales de mitigación del daño	Bajo	Bajo	Bajo
<b>MESO</b>	Regional	Estrategias de adaptación de gran escala	Medio	Medio	Medio
<b>MICRO</b>	Local	Medidas concretas de adaptación	Alto	Alto	Alto



1. Introducción: Cambio climático
  2. Cambio climático e infraestructuras
  3. Metodología para la evaluación de riesgos
  - 4. Evaluación a macroescala y mesoescala**
  5. Evaluación a escala local
1. Conclusiones y recomendaciones



ESCALA	ALCANCE DEL ESTUDIO	NIVEL DE GESTIÓN	EXACTITUD DE LOS RESULTADOS	ABUNDANCIA DATOS DE PARTIDA	RESOLUCIÓN DATOS DE PARTIDA
<b>MACRO</b>	(Inter)nacional	Políticas globales de mitigación del daño	Bajo	Bajo	Bajo
<b>MESO</b>	Regional	Estrategias de adaptación de gran escala	Medio	Medio	Medio
<b>MICRO</b>	Local	Medidas concretas de adaptación	Alto	Alto	Alto

## Evaluación de los impactos del cambio climático en zonas marino-costeras de la región de América Latina y Caribe



## Resultados generados en:

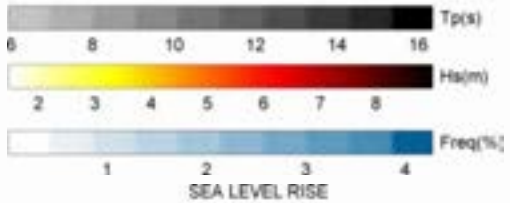
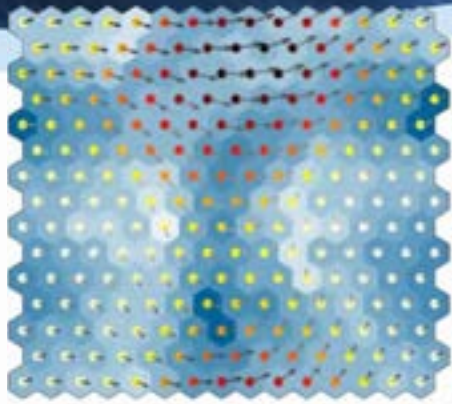
~1.500 puntos y 100 puertos

## de:

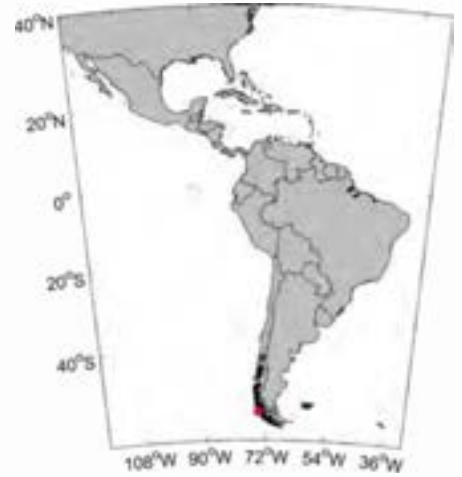
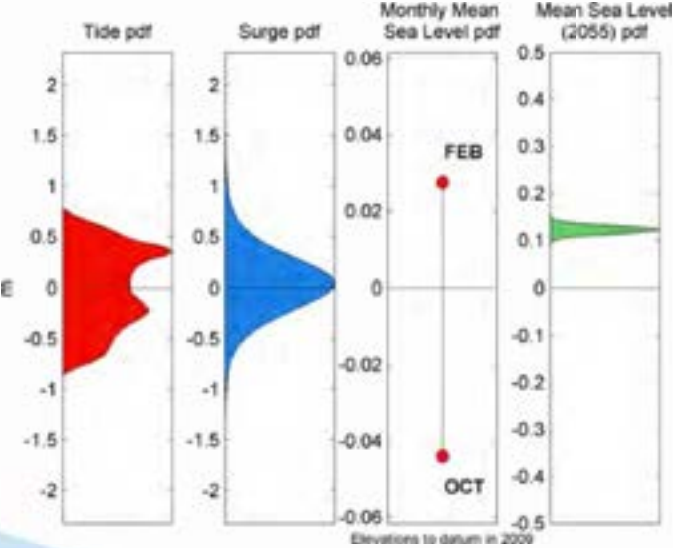
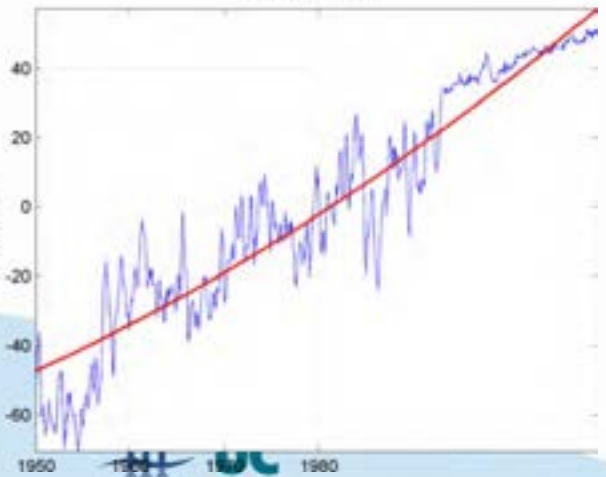
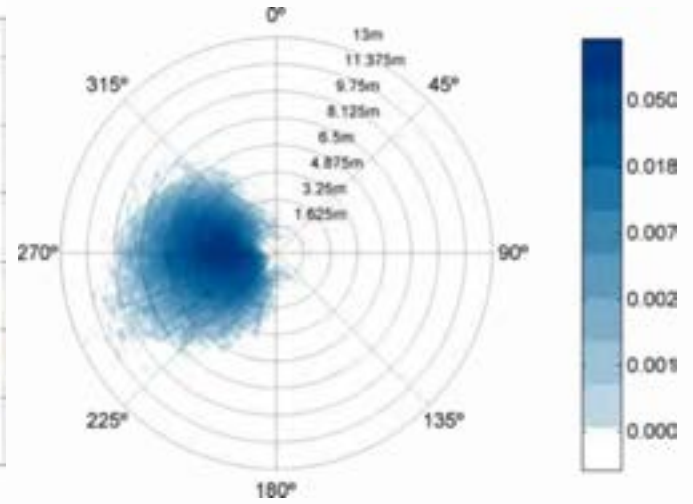
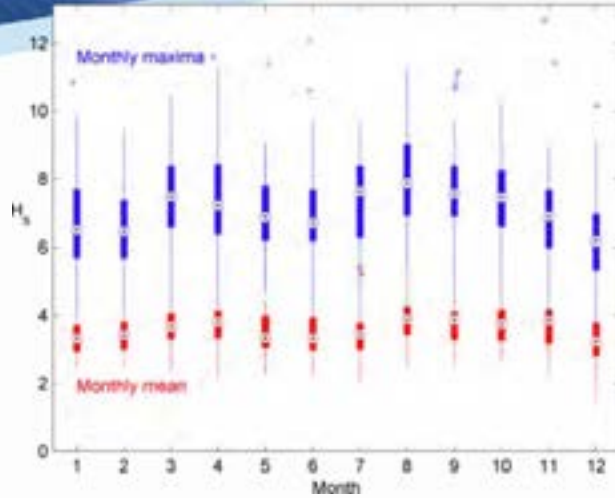
1. Marea Astronómica
2. Marea Meteorológica (desde 1948)
3. Oleaje (desde 1948)
  1. Descripción del Clima marítimo mediante estados de mar representativos (SOM)
  2. Estadística de régimen medio
  3. Estadística de régimen extremal
  4. Rosas de oleaje
  5. Persistencias de condiciones de oleaje





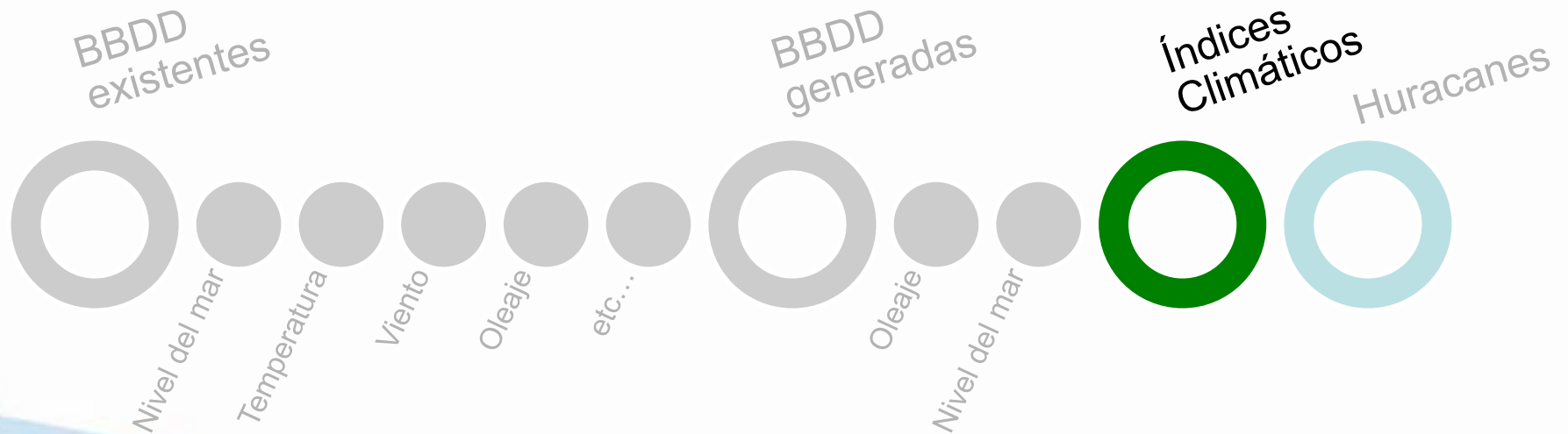


WAVE CLIMATE DESCRIPTION



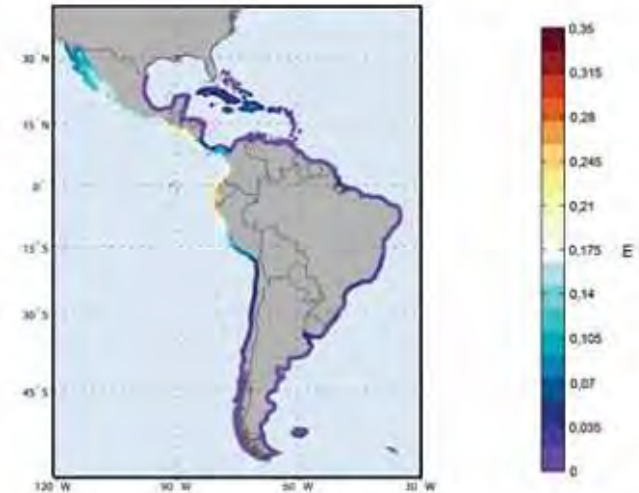


<b>6. Análisis de la variabilidad climática interanual de las dinámicas en América Latina y el Caribe .....</b>	<b>149</b>
6.1. Introducción .....	149
6.2. Técnicas estadísticas para analizar la variabilidad climática de los agentes .....	150
6.3. Descripción de los índices climáticos analizados .....	152
6.4. Resultados .....	161
6.4.1. Resultados de Correlación con Índices climáticos contemporáneos .....	161
6.4.2. Análisis de desfase temporal (Correlación cruzada) .....	170
6.5. Resumen de la variabilidad climática interanual de las dinámicas .....	175



**FIGURA 1.75**  
**COMPARACIÓN DE LOS NIVELES ESPERADOS POR SUBIDA DEL NIVEL MEDIO DEL MAR Y LA SOBRELEVACIÓN PRODUCIDA EN EL NIVEL MEDIO DURANTE EL NIÑO DE 1998**  
*(Metros)*

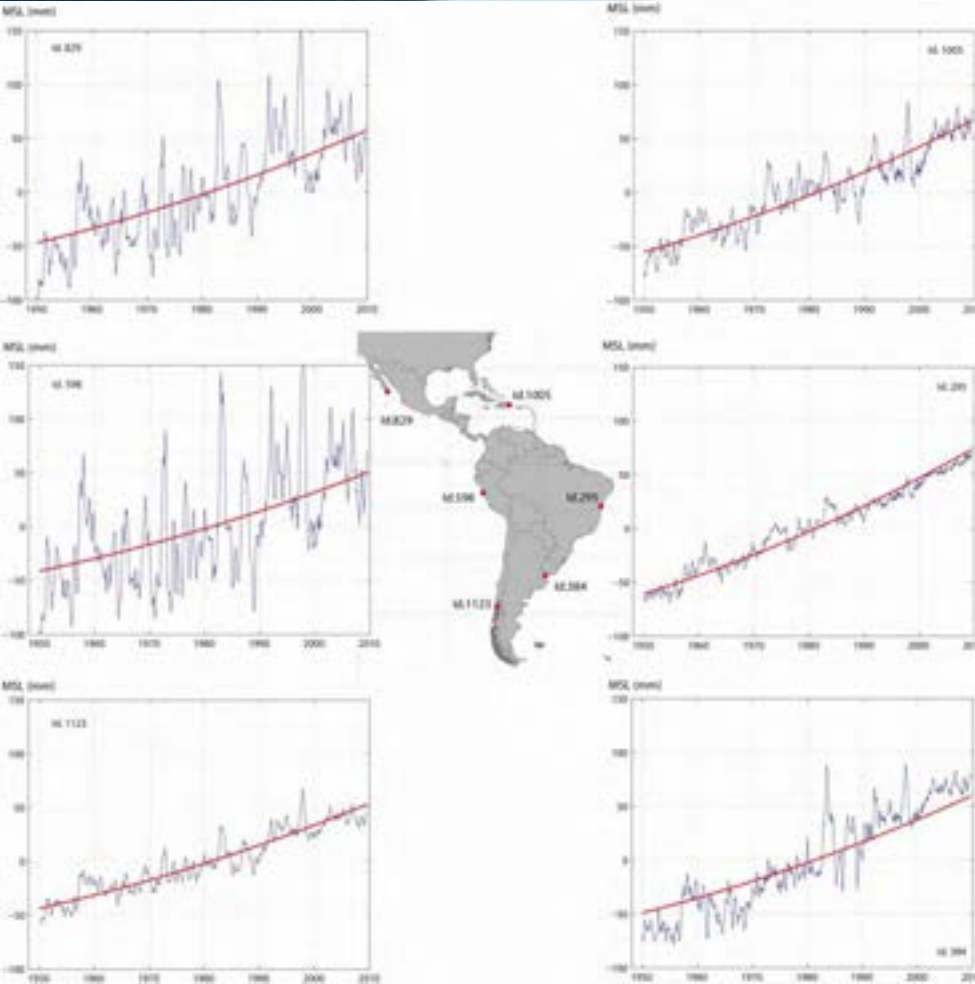
Nivel alcanzado por el Niño de 1998



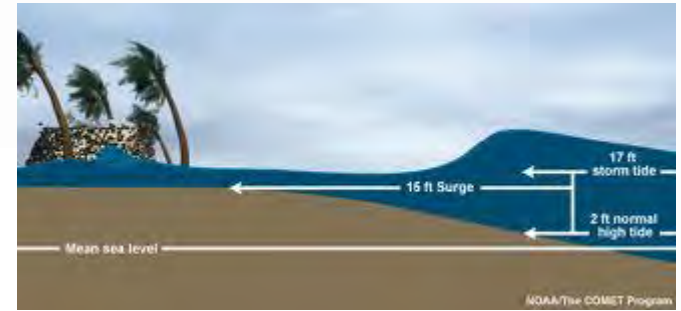
Nivel medio estimado para 2040



Nivel medio estimado para 2070

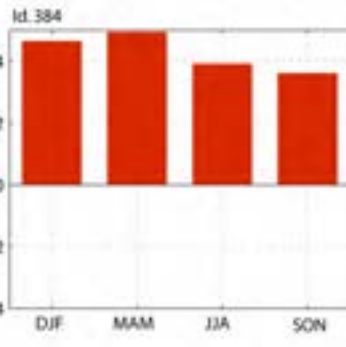
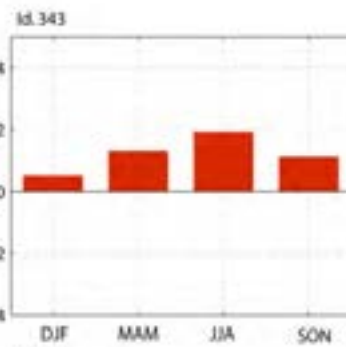
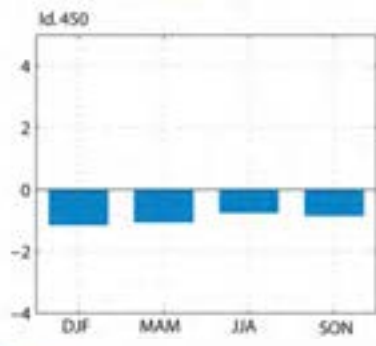
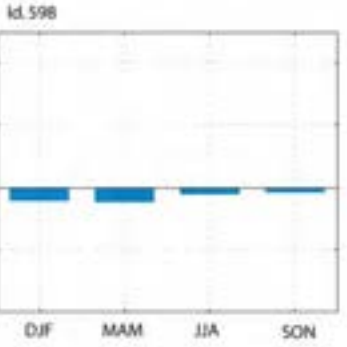
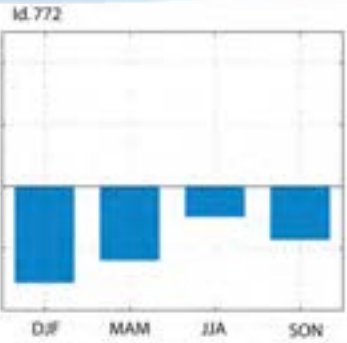
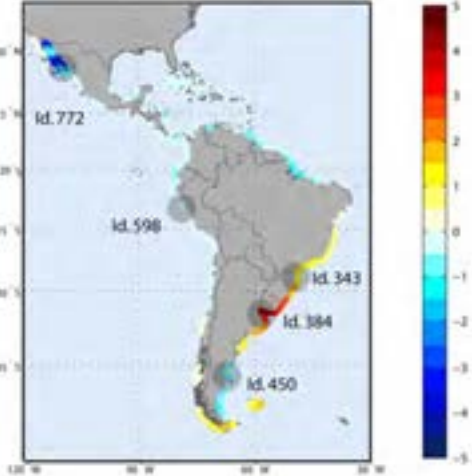


# Marea Meteorológica



Seasonal and annual trends in storm surge  
 Significance over 95%

$\beta_{LT}$  [mm/year]

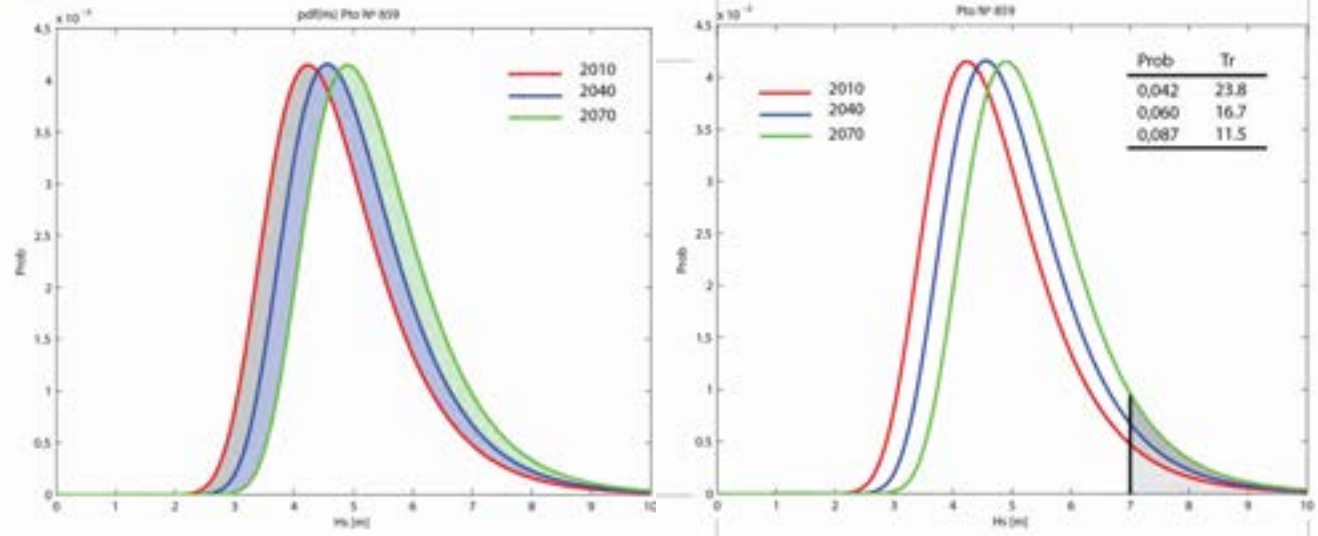


## Extremos



Ejemplo:

Variación de la función de densidad de probabilidad en La Libertad (MEX):



Análisis comparativo de los extremos en 5 puntos:

- Barbados
- Montevideo
- Sao Paulo
- La Libertad
- Baja California

	Tr ( Hs Tr=50 años) [años]				Tr ( Hs Tr=100 años) [años]				Tr ( Hs Tr=500 años) [años]			
	2010	2025	2055	2085	2010	2025	2055	2085	2010	2025	2055	2085
Barbados	50	47	42	37	100	94	82	72	500	461	391	333
Montevideo	50	46	38	32	100	92	79	66	500	470	415	364
Sao Paulo	50	29	11	5	100	56	20	8	500	247	70	24
La Libertad	50	29	10	4	100	56	18	6	500	267	79	24
Baja California	50	41	27	18	100	82	55	36	500	408	272	181

Análisis basado en un análisis de extremos GEV de máximos mensual



**4. 4. Análisis de impactos en las Costas de ALyC por cambio climático .....**

4.1 Inundación costera.....

    4.1.1 Inundación por ascenso del nivel del mar

    4.1.2 Determinación del nivel del mar total o cota de inundación

    4.1.3 Cota de inundación (eventos de inundación temporales)

    4.1.4 Inundación por huracanes

    4.1.5 Conclusiones del impacto producido por inundaciones costeras

4.2 Erosión en playas.....

    4.2.1 Características de las playas en ALyC .....

    4.2.2 Erosión y equilibrio dinámico en las playas .....

    4.2.3 Erosión del perfil de equilibrio por subida del nivel del mar .....

    4.2.4 Erosión del perfil de equilibrio por aumento de la altura de ola.....

    4.2.5 Erosión en playas por cambios en la planta de equilibrio .....

    4.2.6 Transporte potencial de sedimentos .....

    4.2.7 Conclusiones generales de los impactos sobre las playas de la región .....

4.3 Impactos en los puertos.....

    4.3.1 Impactos en la operatividad de los puertos .....

    4.3.2 Fiabilidad de los puertos.....

    4.3.3 Conclusiones generales de los impactos en las obras marítimas .....

4.4 Impactos de la variación de la temperatura superficial del mar en el blanqueo de los corales

    4.4.1 Perspectiva de cambio en los arrecifes de coral frente al calentamiento global .....

    4.4.2 Regionalización del impacto por blanqueamiento del coral .....

    4.4.3 Conclusiones generales impacto por blanqueamiento del coral .....



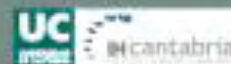
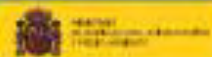
Efectos del cambio climático en la costa  
de América Latina y el Caribe.

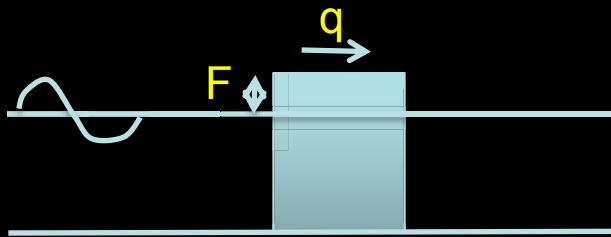
## Efectos teóricos



NAACIONES UNIDAS

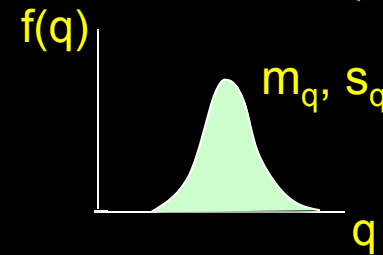
CEPAL





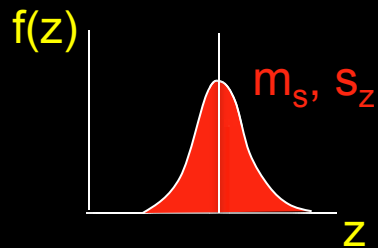
Franco et al (1994)

$$q = 0.2\sqrt{gH_s^3} \exp\left(-b \frac{R_c}{H_s}\right)$$

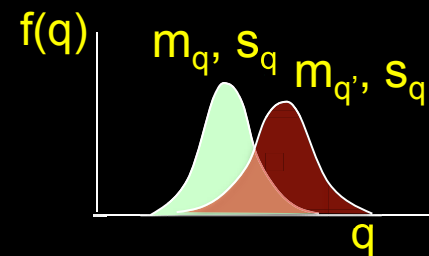


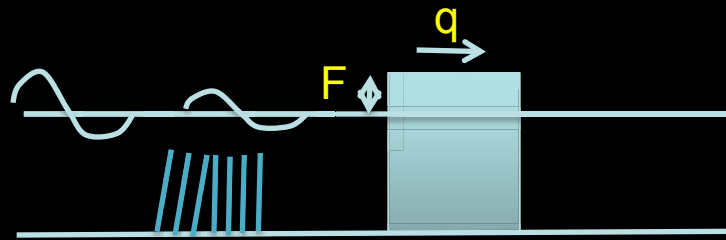
$$R = F - z$$

Subida del nivel del mar



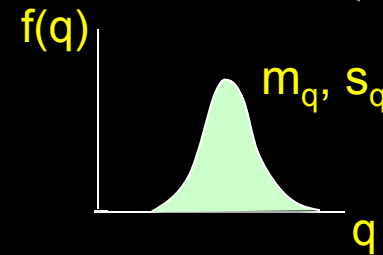
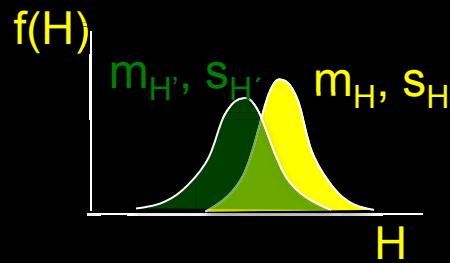
Análisis de perturbaciones



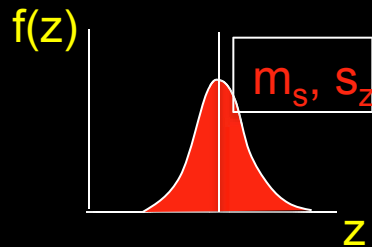


Franco et al (1994)

$$q = 0.2 \sqrt{gH_s^3} \exp\left(-b \frac{R_c}{H_s}\right)$$

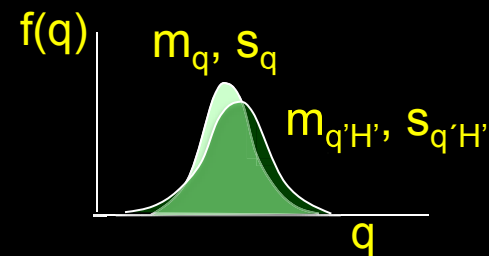


Subida del nivel del mar



$$R = F - z$$

Análisis de perturbaciones





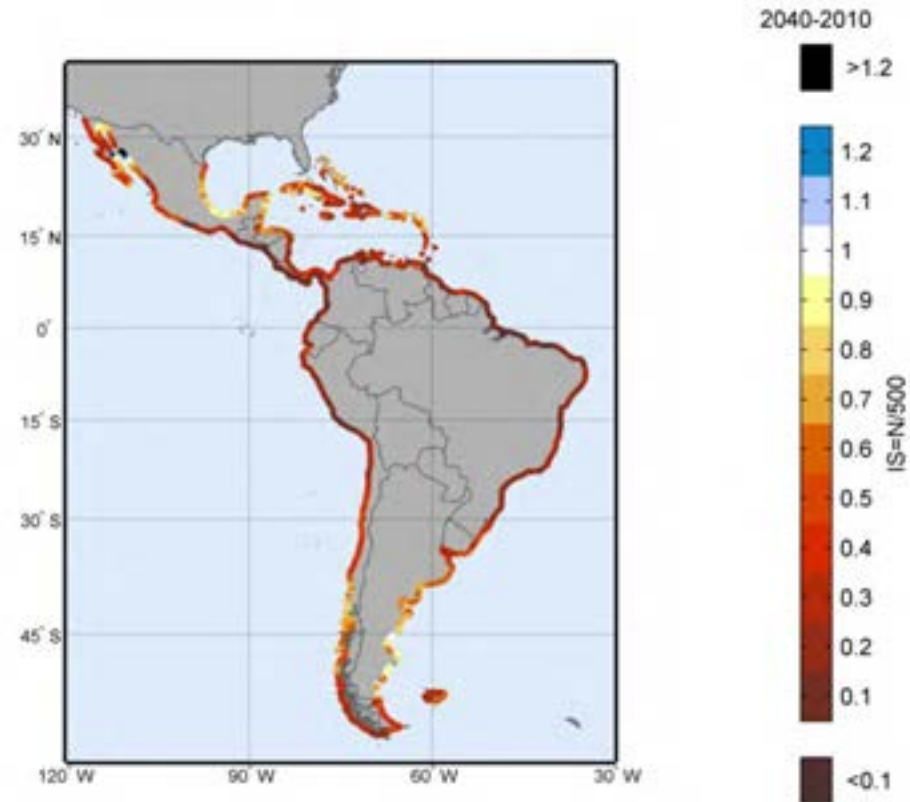
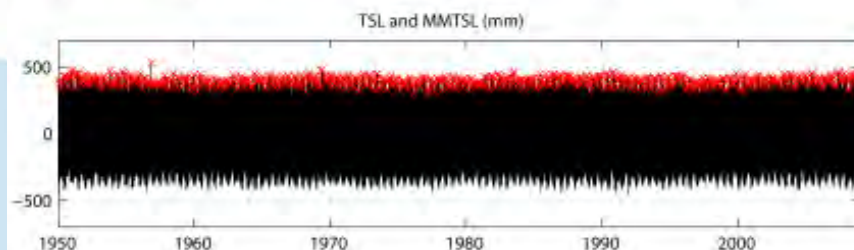
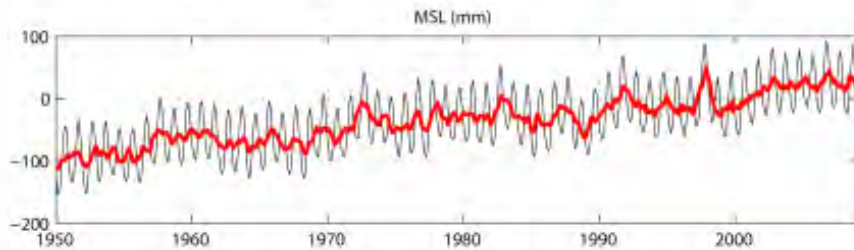
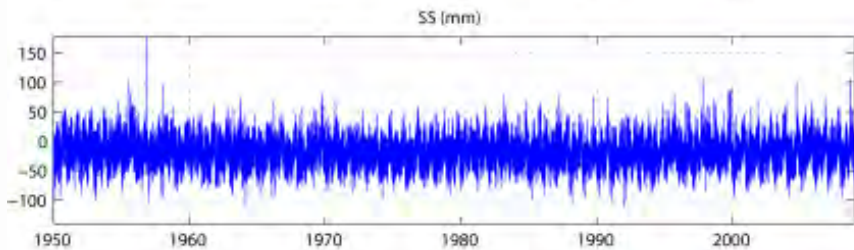
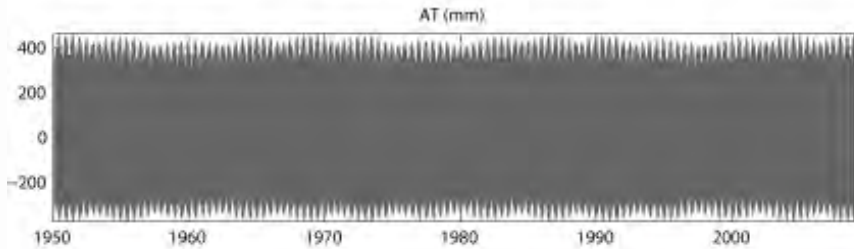
## Impactos teóricos del Cambio Climático en las Costas

Impacto	DESCRIPCIÓN		AGENTES INVOLUCRADOS
<b>INUNDACIÓN</b>	Nivel del Mar (NM)		NMM, MA
	Cota de Inundación (CI)		$CI = NMM + MA + MM + \text{Run-up}$
<b>PLAYAS</b>	Erosión en perfil		Subida del nivel del mar (SLR), Altura de ola (Hs)
	Erosión en planta		Dirección Flujo Medio Energía (DFEM)
	Trasporte potencial		DFEM, Hs
<b>ESTUARIOS</b>	Variación del volumen de arena en los bajos interiores (llanuras mareales)		SLR
	Variación de la sección de equilibrio de la desembocadura		SLR
	Variación del volumen de equilibrio del bajo exterior		SLR
	Erosión en la playa adyacente		SLR
	Variación de la cuña salina		SLR
<b>SISTEMAS DUNARES</b>	Transporte eólico potencial		Velocidad del viento y Dirección del viento
	Erosión dunar		SLR
<b>OBRAS MARÍTIMAS</b>	OPERATIVIDAD	Rebase	SLR, Hs
		Navegabilidad en el acceso	Hs
	FIABILIDAD	Peso de las piezas	SLR, Hs
		Índice de seguridad	SLR, Hs

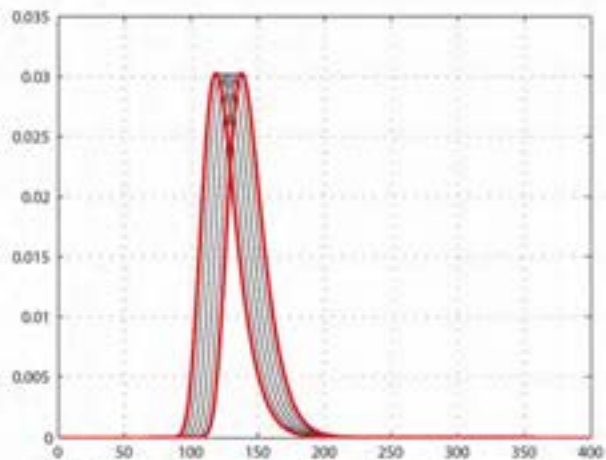


## COTA DE INUNDACIÓN – Índice de Seguridad de CI

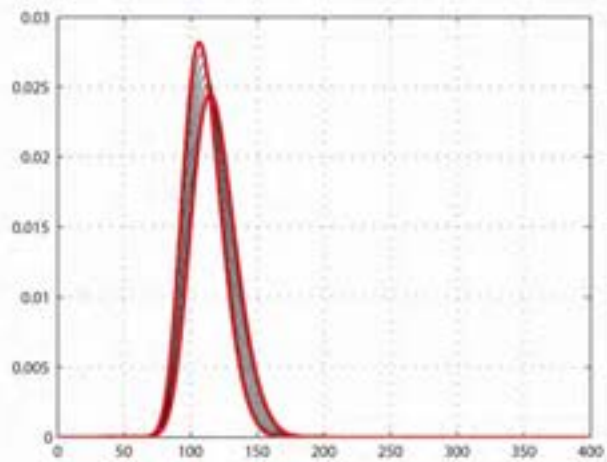
Pto. 1005 - Caribbean 69.6W 19N



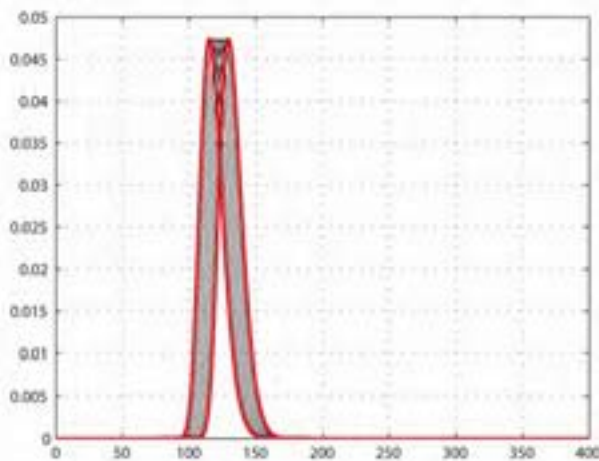
Id. 829



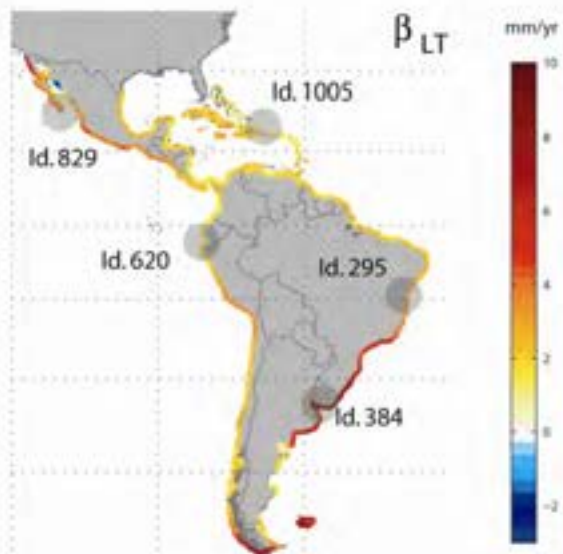
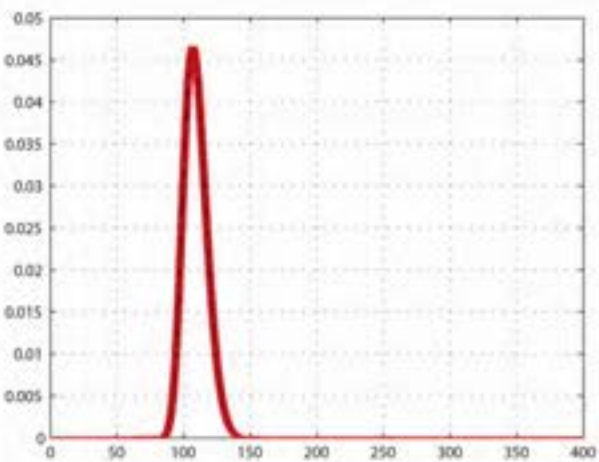
Id. 1005



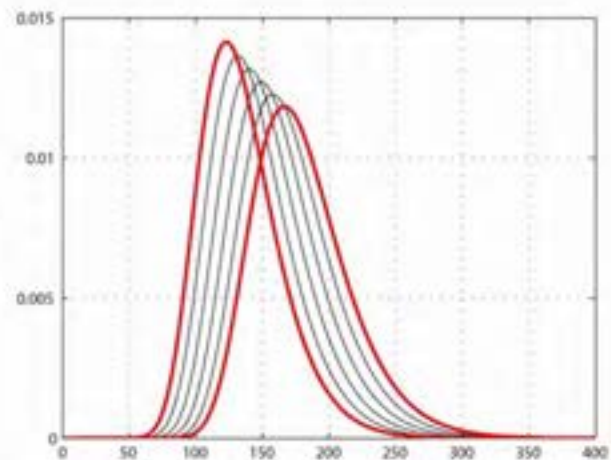
Id. 295



Id. 620



Id. 384

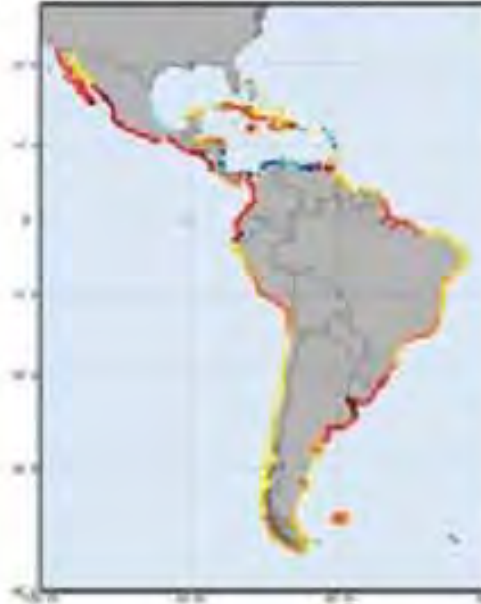


**FIGURA 3.60**  
**VARIACIÓN DEL REBASE SOBRE UN DIQUE TIPO POR VARIACIÓN DEL OLEAJE**  
**EN LOS ESCENARIOS A, B Y C**  
*(Porcentaje)*

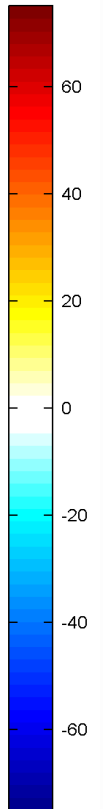
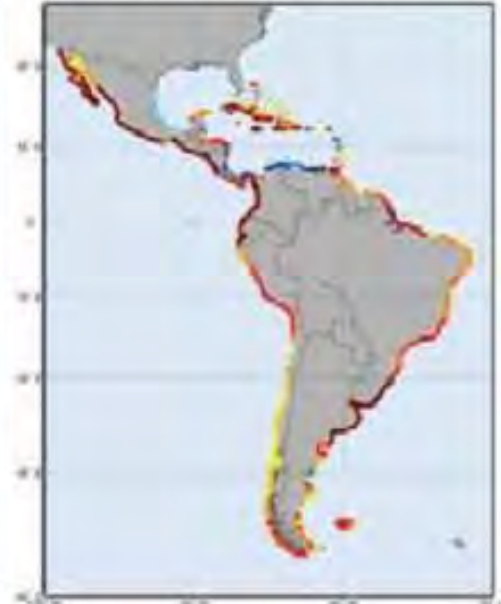
a) Escenario A (2040)



b) Escenario B (2050)



c) Escenario C (2070)





$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_z(z)E(z)V(z)dz$$

(2.2)

$$R_{ah} = H_{ah} \times E_a \times V_{ah}$$



**Agente (hazard):** *evento*, fenómeno físico o humano, que puede *provocar daño*

**Incertidumbre (likelihood):** *Probabilidad* de que un *agente* se produzca con una magnitud dada en una región y en un intervalo de tiempo determinado.

**Exposición (exposure):** *zona física* que se ven *afectados* por el *agente*.

**Vulnerabilidad (vulnerability):** *Características* que condicionan la *sensibilidad* de la zona a los impactos de los *agentes*.

*Peligro*

*Consecuencias*

<b>2. Metodología de evaluación de la vulnerabilidad.....</b>	<b>25</b>
2.1. Introducción.....	25
2.2. Determinación de las unidades de estudio.....	27
2.3. Proceso de cálculo mediante SIG.....	29
2.3.1. Metodología.....	30
2.4. Información compilada a través de imágenes de satélite.....	41
2.5. Índices de vulnerabilidad planteados.....	42
2.5.1. Índice de vulnerabilidad ecológica, $V_{nm}^{ECO}$ .....	42
2.5.2. Vulnerabilidad socioeconómica, $V_{nm}^{SE}$ .....	55
<b>4. Análisis de la vulnerabilidad y la exposición en América Latina y el Caribe .....</b>	<b>87</b>
4.1. Análisis por países.....	87
4.1.1. Superficie total afectada.....	90
4.1.2. Población afectada.....	95
4.1.3. Infraestructuras (carreteras y ferrocarriles) afectadas.....	103
4.1.4. Ecosistemas afectados.....	111
4.1.5. Superficie de cultivos afectados.....	117
4.1.6. Superficie de ciudades afectadas.....	124
4.2. Análisis espacial.....	126
4.3. Características de las playas en América Latina y el Caribe.....	137
4.4. Análisis de la vulnerabilidad de las costas de América Latina y el Caribe frente al Cambio Climático.....	147
4.4.1 Cálculo de la vulnerabilidad de la costa ante inundación.....	147
4.4.2 Cálculo de la vulnerabilidad de las playas frente a la erosión.....	149
4.4.3 Cálculo de la vulnerabilidad de las infraestructuras portuarias.....	150
4.4.4. Vulnerabilidad de los arrecifes de coral.....	153
4.5. Área y población afectada en los deltas más importantes de América Latina y el Caribe.....	165
4.6. Conclusiones.....	169

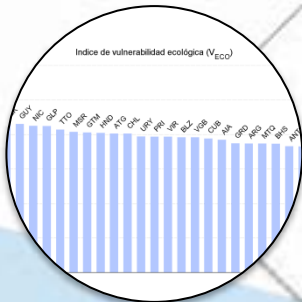




1. Recopilación de información geoespacial



2. Análisis geo-espacial de la información



3. Determinación de índices y resultados





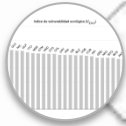
# 1. Recopilación de información



1. Recopilación de información geoespacial



2. Análisis geo-espacial de la información



3. Determinación de índices y resultados



**CUADRO 2.23**  
**RESUMEN DE BASES DE DATOS UTILIZADAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD**

Tipos de Datos	Vulnerabilidad/Exposición	Fuente
Usos del suelo	Socioeconómica	Land Cover
Tipos de suelo	Socioeconómica	Glob Cover
Áreas protegidas	Ecológica	WDPA y UNEP
Amenaza de los ecosistemas	Ecológica	WWF
Densidad de población	Socioeconómica	CIESIN
PIB	Socioeconómica	CIESIN
Estadísticas nacionales	Socioeconómica	CEPAL-STAT
Datos de ríos	Socioeconómica	ICTO
Ranking de puertos en ALyC	Socioeconómica	CEPAL-Unidad de infraestructura
Producción agrícola y maderera	Socioeconómica	FAD
Carreteras	Socioeconómica	DCW
Ferrocarriles	Socioeconómica	DCW
Explotación agrícola y maderera	Socioeconómica	ONU
Accesibilidad a núcleos de población	Socioeconómica	ONU
Arrecifes de coral	Ecológica y Socioeconómica	WRI
Información sobre distintos aspectos de la configuración de la costa	Exposición	
Tipología de playas	Exposición	Elaboración propia IH Cantabria a partir de imágenes de satélite
Ciudades costeras	Exposición	
Obras marítimas	Exposición/Socioeconómica	
Desembocaduras	Exposición	



<b>1. Introducción</b> .....	7
1.1 Contexto.....	7
1.2 Escalas espaciales de estudio.....	8
1.3 Situaciones de impacto consideradas .....	11
1.4 Breve descripción de la metodología de riesgo planteada .....	12
<b>2. Riesgo en las obras marítimas</b> .....	19
2.1 Término de peligrosidad/ <i>hazard</i> considerado .....	19
2.2 Término de exposición considerado .....	20
2.3 Término de vulnerabilidad considerado .....	22
2.4 Evaluación del riesgo integrado .....	22
2.5 Estabilidad de la obra a partir de la variación de altura de cálculo. Análisis del índice de seguridad en la región .....	23
<b>3. Riesgo frente a inundación por 1 m de ascenso del nivel del mar</b> .....	25
3.1 Riesgo para la población .....	25
3.2 Riesgo en los ecosistemas afectados .....	27
<b>4. Riesgo frente a eventos de inundaciones extremas en la costa</b> .....	31
<b>5. Riesgo frente a erosión en las playas</b> .....	33
5.1 Uso defensivo de las playas .....	34
5.2 Las playas como recurso recreativo .....	37
5.3 Conclusiones .....	39
<b>6. Referencias</b> .....	41



## Riesgo de Inundación

Riesgo por inundación de 1 m de ascenso del Nivel del Mar



Riesgo por inundación de 1 m de ascenso del Nivel del Mar - Valoración ecosistemas

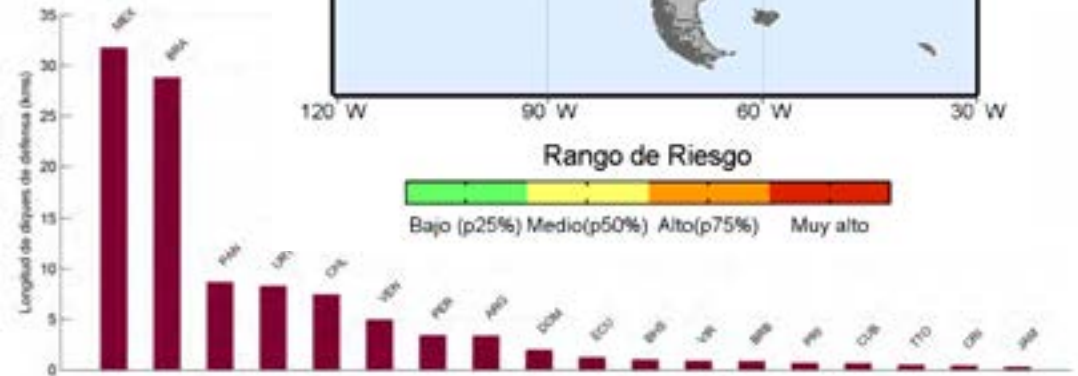
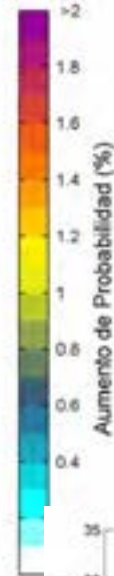


Riesgo por inundación de Tr=500 años en el año 2040



## Riesgo de fallo en las grandes obras de protección

Probabilidad de fallo en los diques en 2040 respecto a 2010





## Resultados:

1. Numéricos → 5 kms
2. Gráficos → aprox. 50 kms

Hojas de datos



Visor geo-referenciado



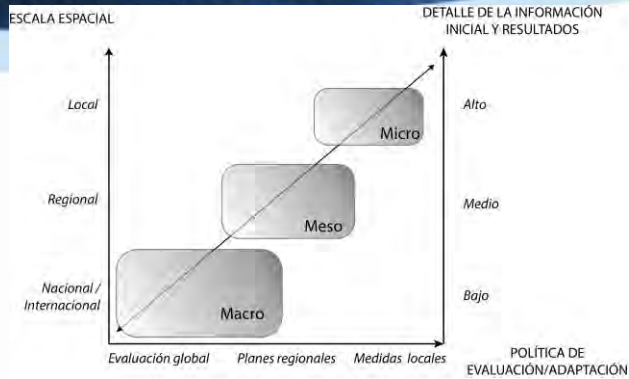
cepal.org → División Desarrollo Sostenible → Cambio Climático

<http://www.eclac.org/cgi-bin/getprod.asp?xml=/dmaah/noticias/paginas/5/48025/P48025.xml&xsl=/dmaah/tpl/p18f-st.xsl&base=/dmaah/tpl/top-bottom.xsl>

[www.c3a.ihcantabria.com](http://www.c3a.ihcantabria.com)







ESCALA	ALCANCE DEL ESTUDIO	NIVEL DE GESTIÓN	EXACTITUD DE LOS RESULTADOS	ABUNDANCIA DATOS DE PARTIDA	RESOLUCIÓN DATOS DE PARTIDA
<b>MACRO</b>	(Inter)nacional	Políticas globales de mitigación del daño	Bajo	Bajo	Bajo
<b>MESO</b>	Regional	Estrategias de adaptación de gran escala	Medio	Medio	Medio
<b>MICRO</b>	Local	Medidas concretas de adaptación	Alto	Alto	Alto



Proyecto C3E  
CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA  
ESPAÑOLA

## TENDENCIAS DE CAMBIO EN IMPACTOS OBRAS MARÍTIMAS

REBASE POR NIVEL DEL MAR: EXTRAPOLACIÓN AÑO 2040





## TENDENCIAS DE CAMBIO EN IMPACTOS OBRAS MARÍTIMAS

REBASE POR OLEAJE: EXTRAPOLACIÓN AÑO 2040





## TENDENCIAS DE CAMBIO EN IMPACTOS OBRAS MARÍTIMAS

ESTABILIDAD POR NIVEL DEL MAR: EXTRAPOLACIÓN AÑO 2040



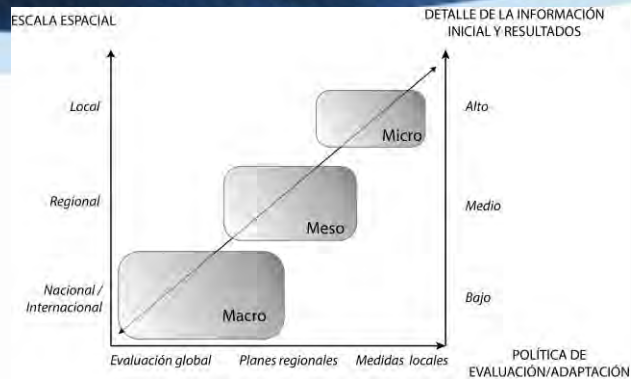


TENDENCIAS DE CAMBIO EN IMPACTOS OBRAS MARÍTIMAS

OPERATIVIDAD: EXTRAPOLACIÓN AÑO 2040



1. Introducción: Cambio climático
  2. Cambio climático e infraestructuras
  3. Metodología para la evaluación de riesgos
  4. Evaluación a macroescala y mesoescala
  - 5. Evaluación a escala local**
1. Conclusiones y recomendaciones



ESCALA	ALCANCE DEL ESTUDIO	NIVEL DE GESTIÓN	EXACTITUD DE LOS RESULTADOS	ABUNDANCIA DATOS DE PARTIDA	RESOLUCIÓN DATOS DE PARTIDA
<b>MACRO</b>	(Inter)nacional	Políticas globales de mitigación del daño	Bajo	Bajo	Bajo
<b>MESO</b>	Regional	Estrategias de adaptación de gran escala	Medio	Medio	Medio
<b>MICRO</b>	Local	Medidas concretas de adaptación	Alto	Alto	Alto

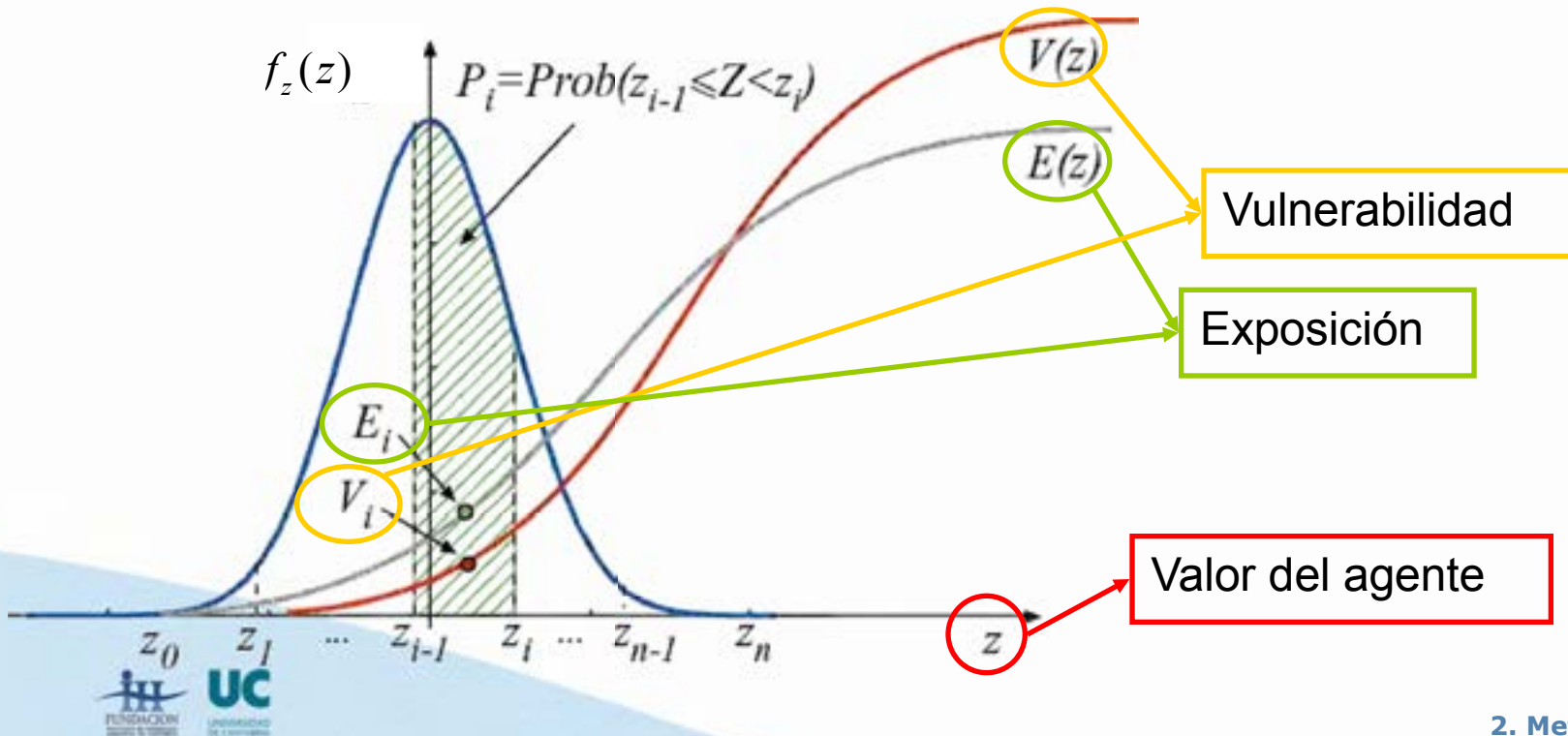




Mismo concepto y metodología

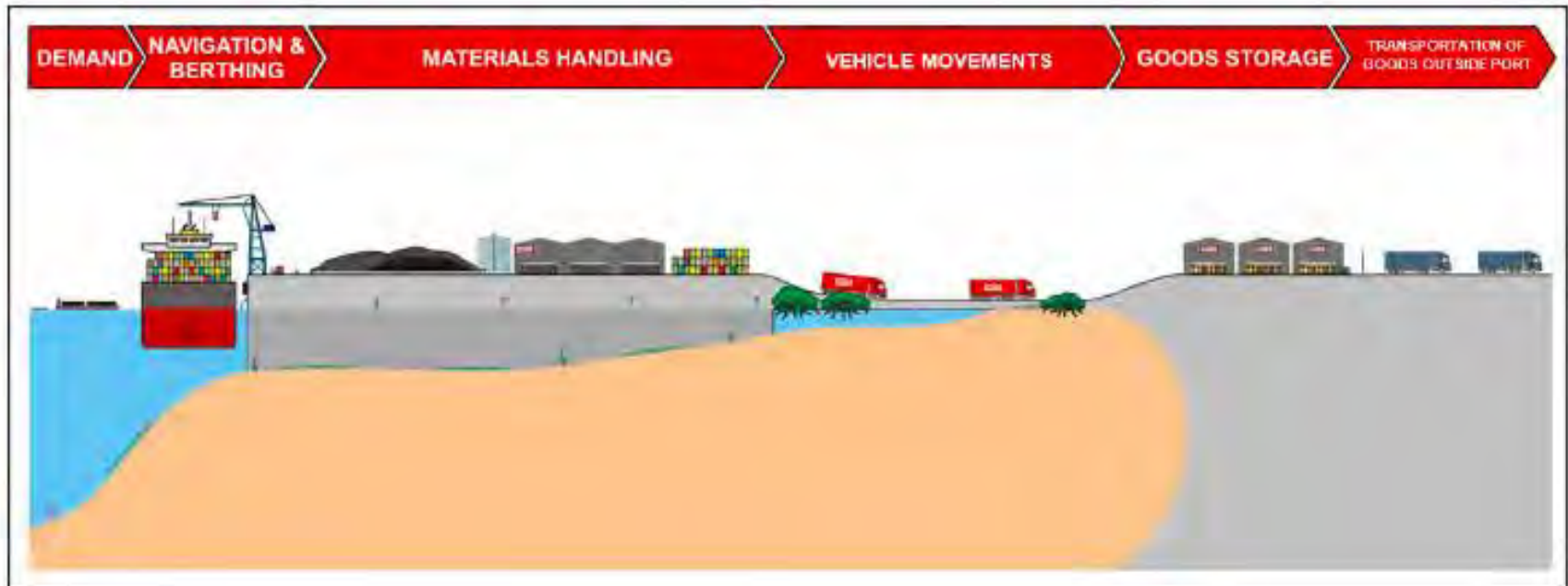
$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_z(z)E(z)V(z)dz,$$

Esperanza del daño



## El Cambio Climático incide sobre

1. Demanda
2. Navegación y atraque
3. Gestión de la carga (carga/descarga)
4. Almacenamiento
5. Movimiento de vehículos en el interior del puerto
6. Infraestructura, edificación y equipos
7. Accesos y redes de conexión con el hinterland





## 2. Navegación y atraque

- Aumento del nivel del mar: reducción del dragado, adaptación de muelles y atraques, puentes
- Oleaje, viento y marea meteorológica: navegación/acceso, operaciones de atraque y fondeo, congestión
- Precipitación: dragado (escorrentía-sedimentación), navegación en ríos
- Temperatura: presencia/ausencia de hielo en el puerto



### 3. Gestión de la carga (carga y descarga)

- Cambios de nivel: adaptación de infraestructuras de carga y descarga
- Aumento de agitación (oleaje-onda larga): daños y ceses de actividades de carga y descarga
- Aumento de viento: cese o limitación de operaciones (barco-grúa)
- Aumento de tormentas: cese de operaciones por aparato eléctrico
- Inundación y daños sobre la carga e infraestructura y plataformas de carga y descarga debido a incremento de precipitación, marea meteorológica, oleaje
- Aumento de la temperatura: daño a materiales, incremento de costes por consumo energético





#### 4. Almacenamiento

- Inundación y daños sobre la carga e infraestructura y plataformas de carga y descarga debido a incremento de precipitación, marea meteorológica, oleaje
- Aumento de la temperatura: daño a materiales, incremento de costes por consumo energético



## 5. Movimiento de vehículos en el interior del puerto

- Aumento de marea meteorológica y de precipitación: inundación, fallos en drenaje, limitación en el tráfico de vehículos
- Inundación temporal o permanente puede producir el cese de operaciones en el transporte



## 6. Infraestructuras, edificaciones y equipos

- Aumento de nivel del mar, marea meteorológica, oleaje puede producir pérdida de estabilidad y funcionalidad de obras de abrigo, muelles, pantalanés, etc.
- Aumento del viento o eventos de inundación pueden producir daños sobre edificios, tinglados y almacenes
- Aumento de las temperaturas puede dar lugar a daños en estructuras metálicas y equipamientos
- Daños sobre redes generales de agua, energía y saneamiento



## 7. Accesos y redes de conexión con el hinterland

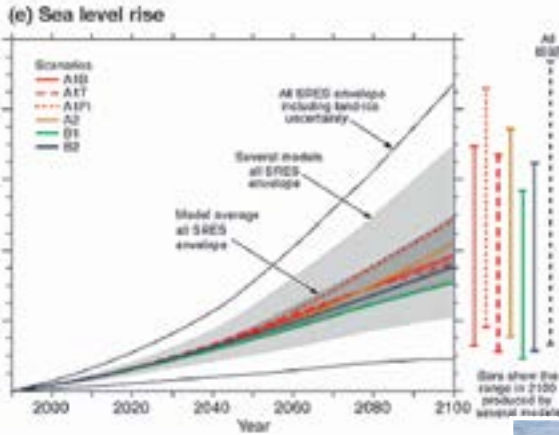
- Las redes de transporte son esenciales par la operación del puerto
- Daños en las infraestructuras de conexión con el puerto (carreteras + ferrocarril) pueden hacer el puerto inoperativo
- Puerto como parte de un entramado urbano





- Cada puerto es diferente por lo que se requiere una aproximación con una alta resolución espacial y buenos datos
- Es necesario evaluar el funcionamiento general del sistema antes de poder plantear impactos del cambio climático y medidas de adaptación
- Un puerto afectado por el cambio o la variabilidad climática que no tome medidas al respecto perderá competitividad por falta de fiabilidad, e incrementará sus costes en seguros y de reparación y mantenimiento

## Subida del Nivel del Mar



**Erosión**  
**Inundación**  
**Daños en infraestructuras**





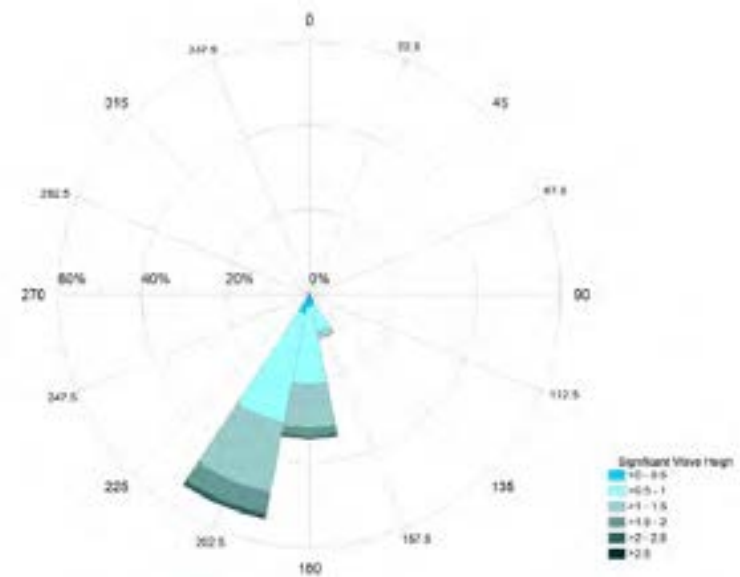
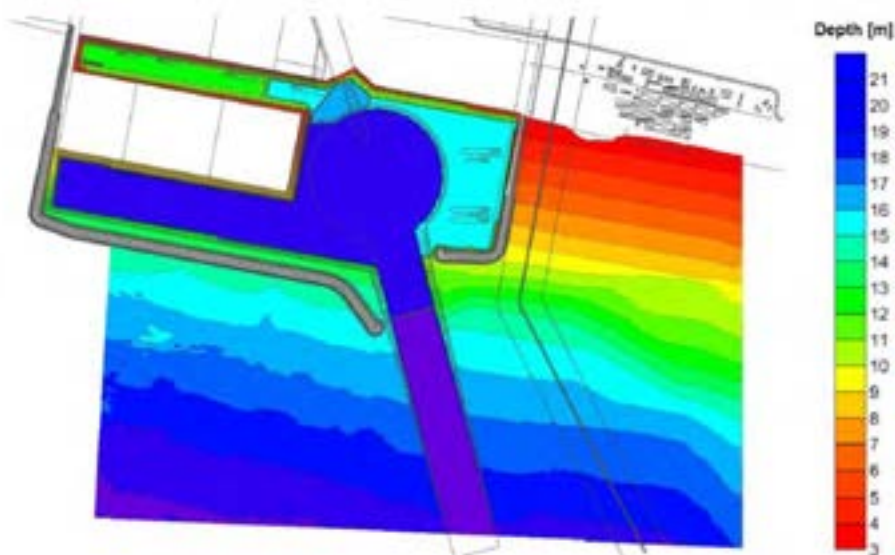
## Ejemplo

### 2. Navegación y atraque

- Aumento del nivel del mar: reducción del dragado, adaptación de muelles y atraques, puentes
- Oleaje, viento y marea meteorológica: **navegación/acceso, operaciones de atraque y fondeo, congestión**
- Precipitación: dragado (escorrentía-sedimentación), navegación en ríos
- Temperatura: presencia/ausencia de hielo en el puerto



## New “Oil Services Terminal” in Ghana



### OPERATIONAL WAVE CASES

From the wave data at 20 m depth, 60 sea states from SSE, S and SSW were selected to be propagated covering the range of peak periods and directions, as follows:

**SSW:**  $T_p = 9$  s, 12 s, 15 s and 18 s, for  $0.2 < H_s < 4$  m

**S:**  $T_p = 7$  s, 10 s, 13 s and 16 s, for  $0.2 < H_s < 4$  m

**SSE:**  $T_p = 6$  s, 8 s and 10 s, for  $0.2 < H_s < 4$  m



## Wave climate

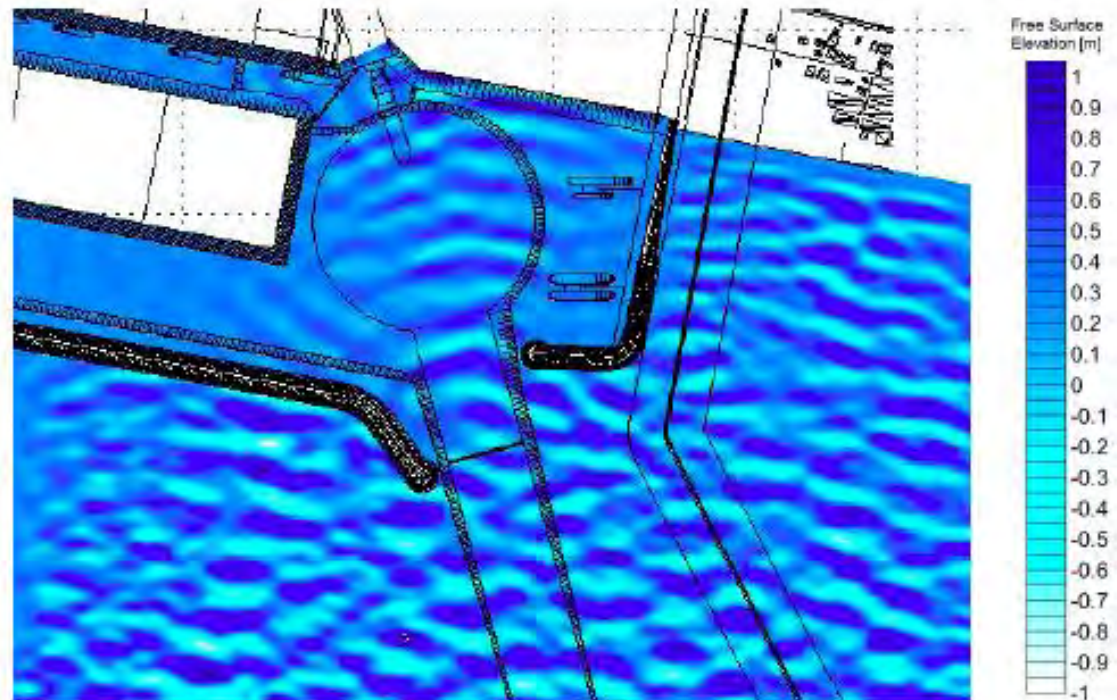
Waves coming from SSE, S and SSW occur 10.66 %, 34.19 % and 54.28 % of the time, respectively, corresponding to a 99.13 % of the total frequency of occurrence.

Waves with significant wave height between 0.5 m and 1.0 m occur 51.90 % of the time. Waves with significant wave height between 1.0 m and 1.5 m occur 29.71 % of the time.

**For example, a sea state of 1 hour of waves with:**

**$H_s=1\text{m}$ ,  $T_p=13\text{s}$ , coming from Southç**

*Numerically simulated with a Boussinesq model (non linear, transient, real bathymetry/port geometry, breaking waves, bottom friction, etc.)*



Results  
 Contour plots

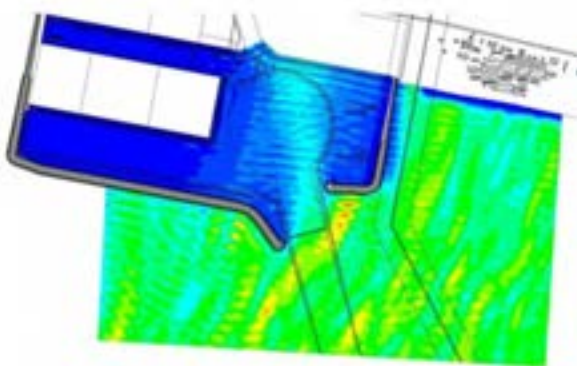


Figure 18: Contour plot of significant wave height.  $H_s = 1$  m;  $T_p = 12$  s;  $D_{ir} = SSW$

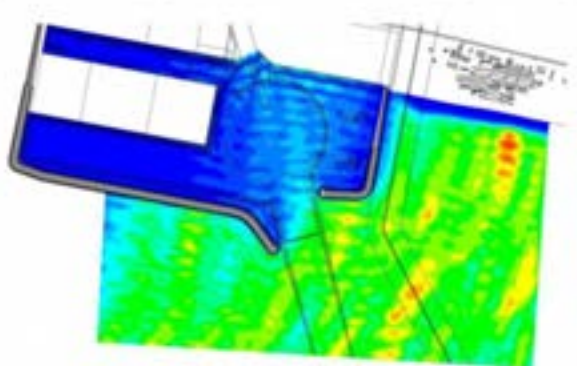


Figure 20: Contour plot of significant wave height.  $H_s = 1$  m;  $T_p = 18$  s;  $D_{ir} = SSW$

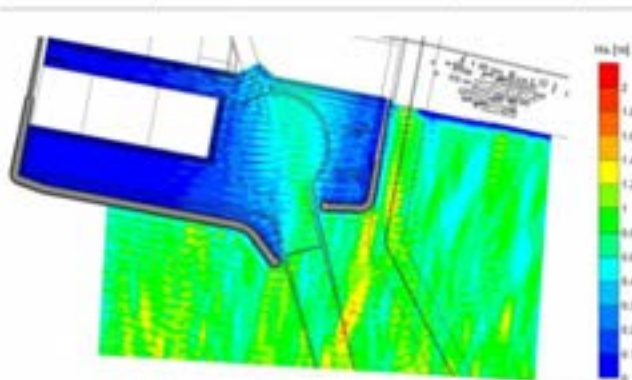


Figure 22: Contour plot of significant wave height.  $H_s = 1$  m;  $T_p = 10$  s;  $D_{ir} = S$

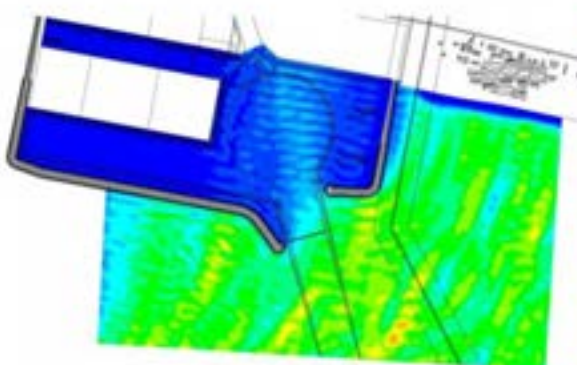


Figure 19: Contour plot of significant wave height.  $H_s = 1$  m;  $T_p = 15$  s;  $D_{ir} = SSW$

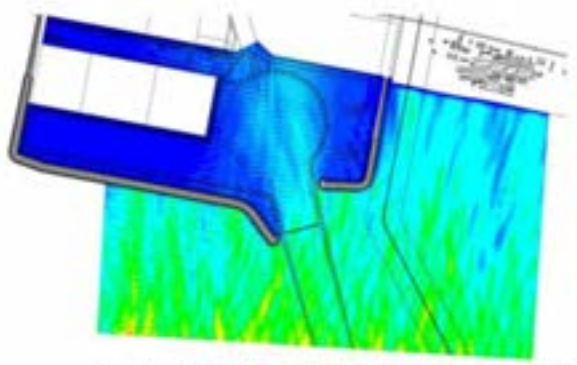


Figure 21: Contour plot of significant wave height.  $H_s = 1$  m;  $T_p = 07$  s;  $D_{ir} = S$

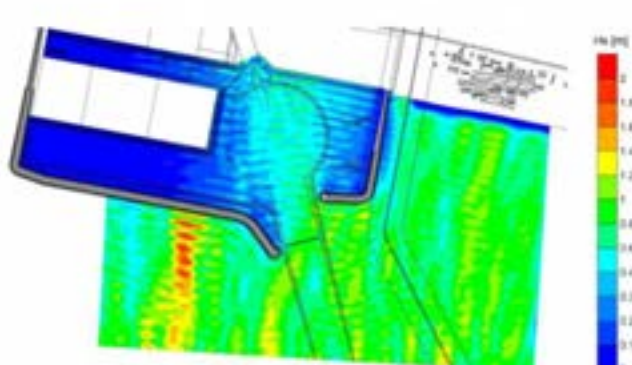


Figure 23: Contour plot of significant wave height.  $H_s = 1$  m;  $T_p = 13$  s;  $D_{ir} = S$



## Following ROM 3.0-99 recommendations for oil-tanker ships

Recommended  $H_s > 1.0$  m only 98% of the hours of the year (200 h/year)

**TABLA 8.1. (Continuación)**

	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{0,1 \text{ min}}$	Altura de ola $H_s$
— Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m/s
> 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1.5 m/s	0.6 m
• Acciones en sentido transversal al muelle			
— Petroleros			
< 30.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
— Graneleros			
Cargando	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Descargando	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m <sup>3</sup>	16 m/s	0.5 m/s	0.8 m
> 60.000 m <sup>3</sup>	16 m/s	0.5 m/s	1.0 m

**TABLA 8.2. TIEMPOS MEDIOS ACEPTABLES DE CIERRE DE UN AREA POR PRESENTARSE CONDICIONES CLIMATICAS ADVERSAS (SUPERIORES A LAS ESTABLECIDAS COMO LIMITES DE OPERACION PARA LOS BUQUES DE PROYECTO)**

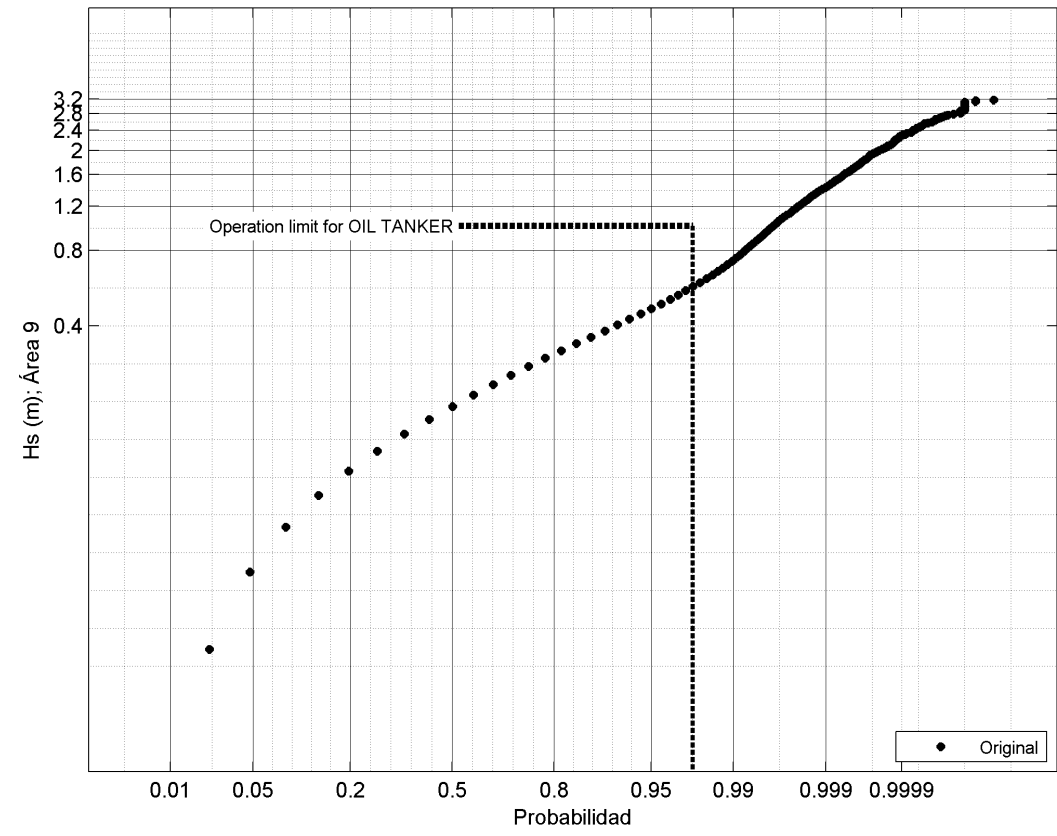
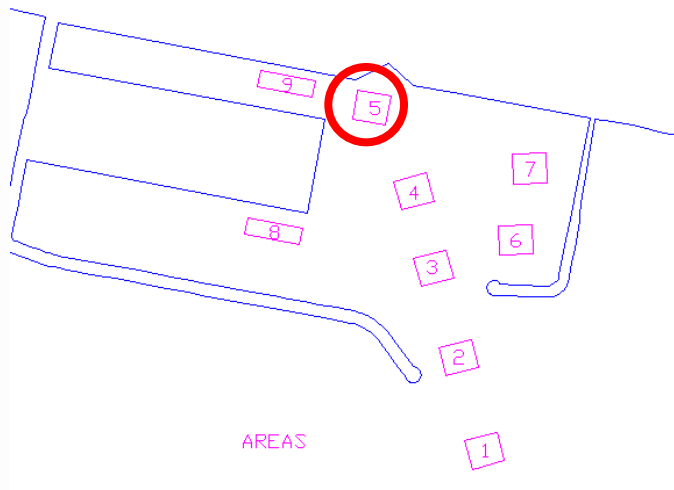
CARACTERISTICAS DEL AREA	Tiempos de inoperatividad en horas, por todos los conceptos <sup>(1)(2)</sup>
<b>A. Areas de buques en tránsito (accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobras, etc.)</b>	
1. Puertos de interés general	
— Areas abiertas a todo tipo de barcos	200 h. año 20 h. mes
— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	20 h. año 4 h. mes
2. Puertos de refugio	
— Areas abiertas a todo tipo de barcos	300 h. año 30 h. mes
— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	20 h. año 4 h. mes
3. Otros puertos	400 h. año 40 h. mes
4. Terminales especializados	
— Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	200 h. año 20 h. mes
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	600 h. año 60 h. mes
<b>B. Areas de buques en permanencia (Fondaderos, amarres, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.)</b>	
1. Puertos de cualquier tipo	40 h. año 20 h. mes
2. Terminales especializados	
— Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	200 h. año 20 h. mes
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	500 h. año 50 h. mes

(1) Los tiempos de inoperatividad recogidos en esta tabla se refieren al Cuere del Area por

*Results*

Reconstruction of Hs regime for 60 year of waves inside the harbour

Measure of the operation hours / year at any zone inside the harbour





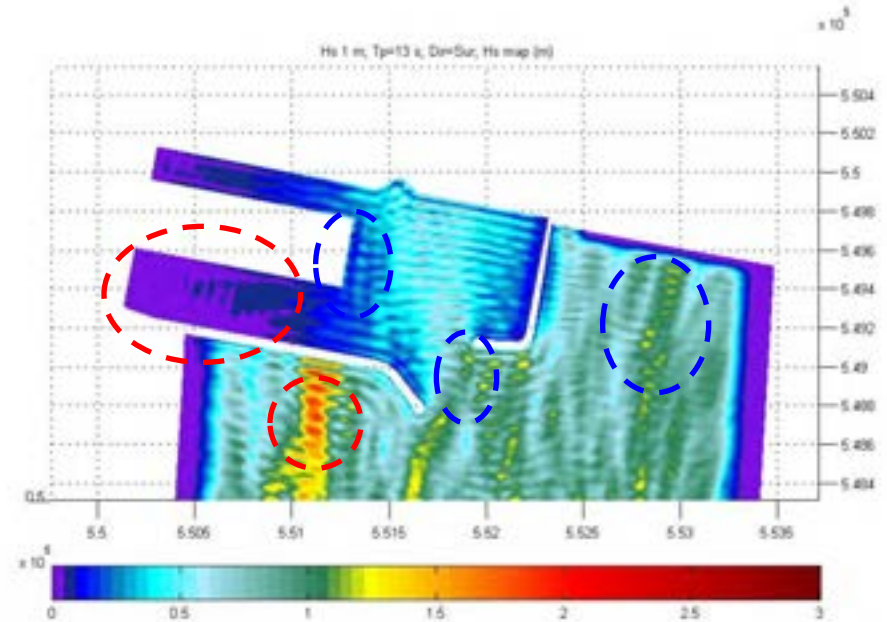
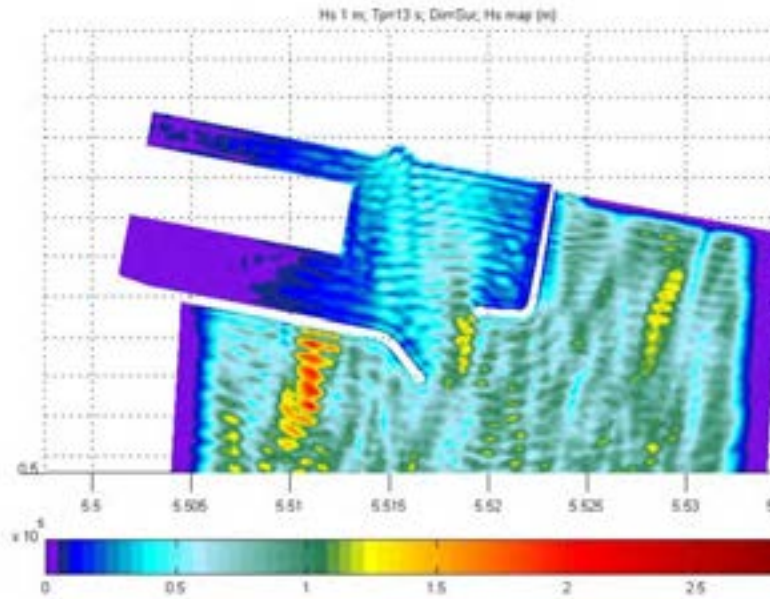
## a) Changes in Water Level

The most immediate concern related to rising sea levels is the need to raise the level of infrastructure to prevent flooding.

Ports will **need to consider anticipated sea levels when building new infrastructure**. In cases where current infrastructure may not be high enough for its useful lifespan, **ports will need to increase infrastructure heights**.

Changes in sea level **will also affect the navigability of some ports**. For example, rising sea levels could prevent bridge clearance for ships near the current limit.

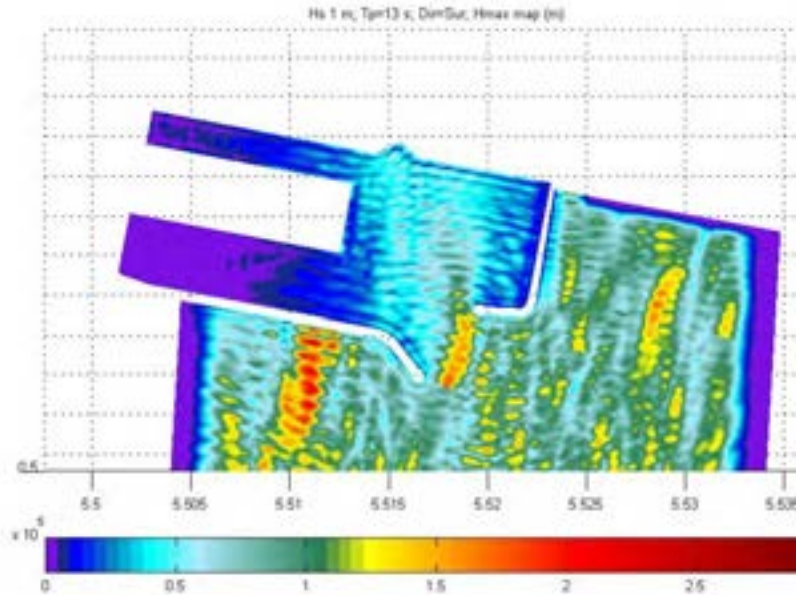
Taking into account **+100 cm** change in the sea level due climate change, for example for the same sea state of 1 hour of waves with:  $H_s=1\text{m}$ ,  $T_p=13\text{s}$ , coming from South



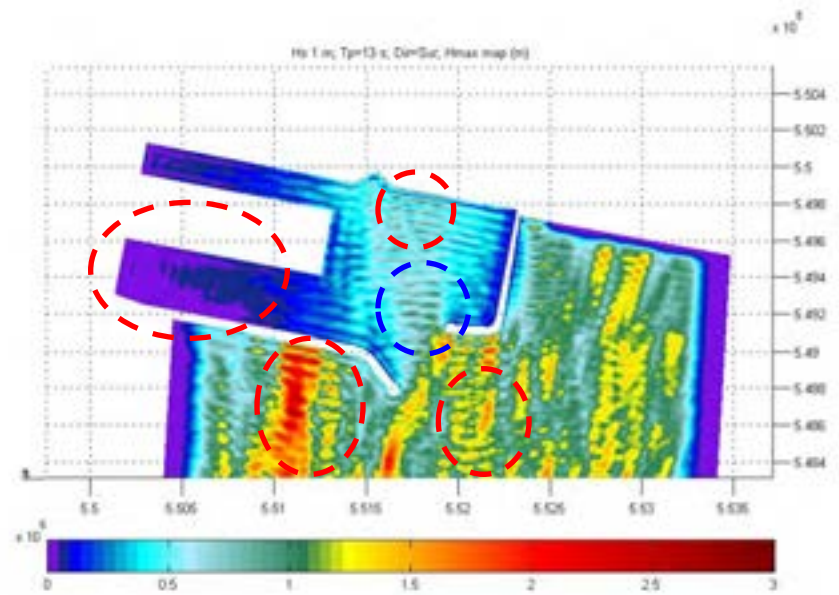
With deeper bathymetry, less breaking, more reflection (less dissipation) & less shoaling effects

- ( ) Increase
- ( ) decrease

Taking into account **+100 cm** change in the sea level due climate change, for example for the same sea state of 1 hour of waves with:  $H_s=1\text{m}$ ,  $T_p=13\text{s}$ , coming from South



Original (map of Hmax)



+100 cm (map of Hmax)

- ( ) Increase
- ( ) decrease



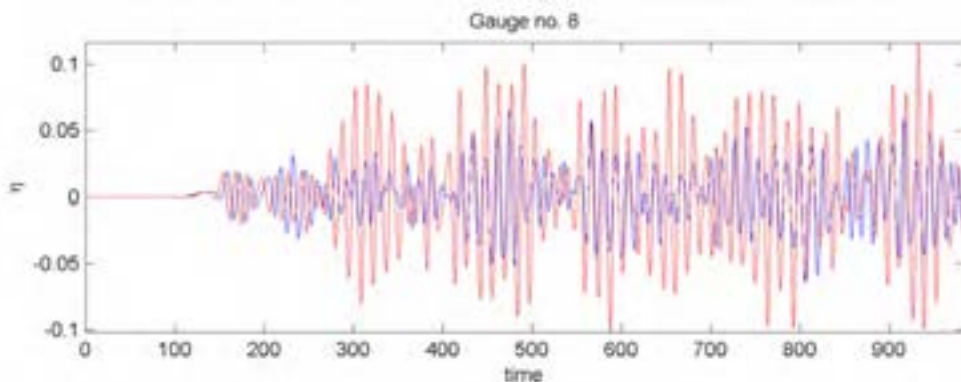
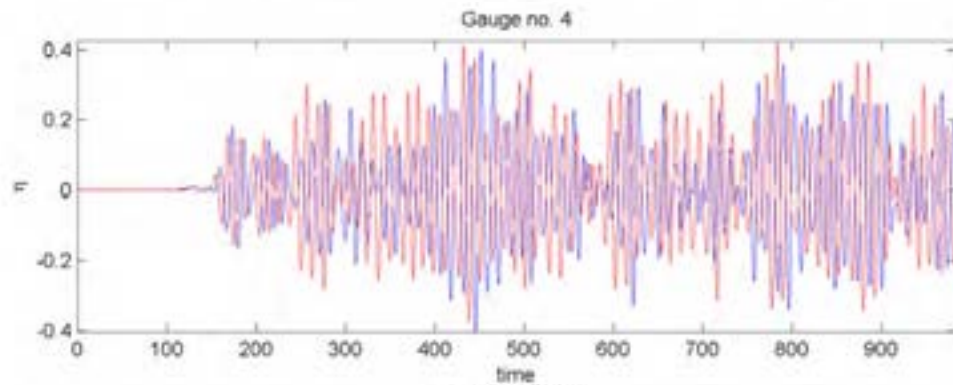
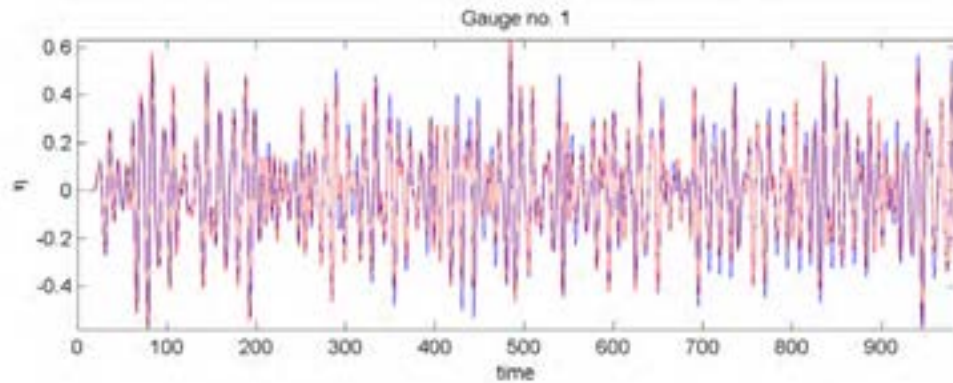
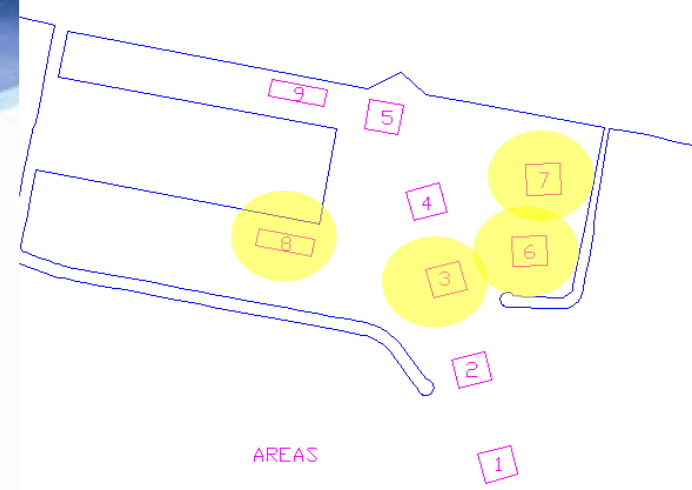
# Likely Impacts of Climate Change on Ports

IH cantabria

INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA


## a) Changes in Water Level

— Original  
— +100 cm

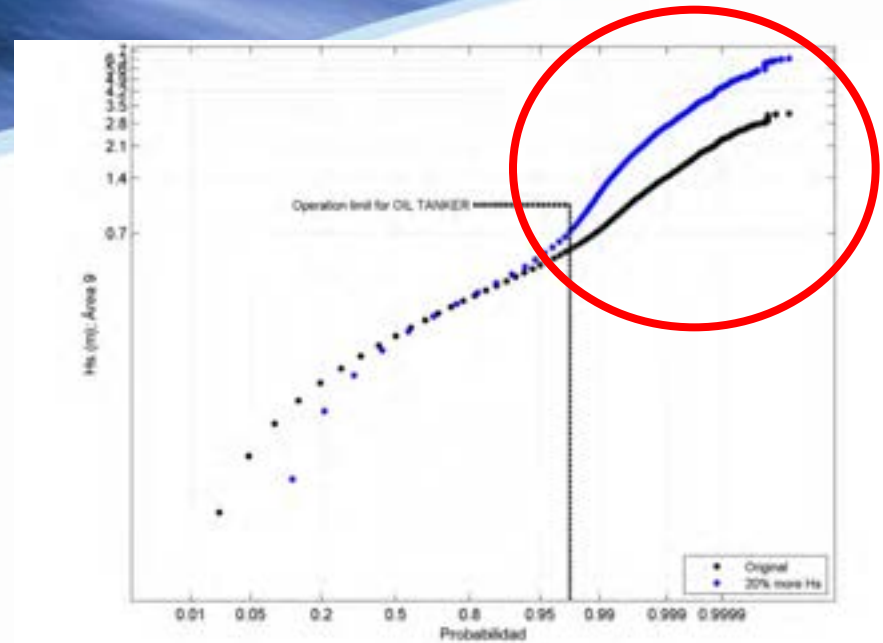


	Hs (original)	Hs (+100 cm)	% increase
point 1	0.79	0.77	-3.38
point 2	0.94	0.95	1.45
point 3	0.61	0.62	1.89
point 4	0.53	0.57	6.54
point 5	0.65	0.62	-5.78
point 6	0.21	0.22	3.92
point 7	0.24	0.31	20.75
point 8	0.08	0.16	48.77

	Hmax (original)	Hmax (+100 cm)	% increase
point 1	1.15	1.09	-5.74
point 2	1.43	1.48	3.24
point 3	0.92	1.02	10.29
point 4	0.76	0.78	3.61
point 5	0.83	0.78	-5.99
point 6	0.29	0.33	11.86
point 7	0.36	0.41	11.28
point 8	0.12	0.22	45.82

 Increase of Hs and Hmax because of +100 cm sea level rise

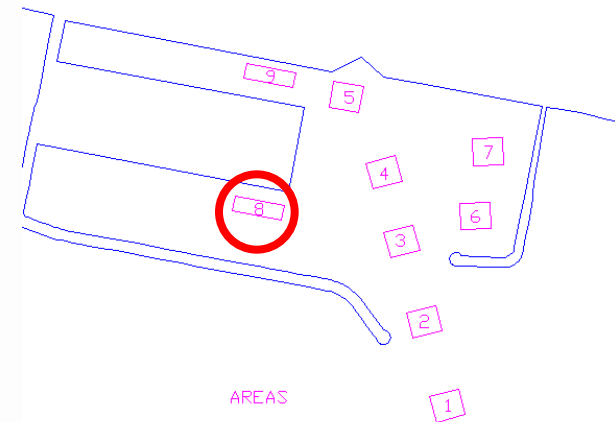




## a) Changes in Water Level

Change in the upper branch of the  $H_s$  regime

Reduction in the hours of operation in the port (downtimes)



% of the year with no  $H_s > 1\text{m}$

	Original	100 cm sea level rise
Area 1	99.46	98.64
Area 2	99.61	98.24
Area 3	99.74	98.96
Area 4	99.75	99.11
Area 5	99.73	99.06
Area 6	99.73	99.06
Area 7	99.77	99.33
Area 8	99.77	99.28
Area 9	99.63	98.73
Area 10	99.52	98.77

Number of hours/year over  $H_s = 1\text{m}$

	Original	100 cm sea level rise
Area 1	47.7	118.8
Area 2	34.4	154.3
Area 3	22.8	91.3
Area 4	21.7	77.7
Area 5	23.4	82.7
Area 6	23.4	82.7
Area 7	20.2	59.0
Area 8	19.9	63.2
Area 9	32.4	110.9
Area 10	41.7	107.8

## b) Storm events

Globally, severe storms are expected to become more intense. **Stronger wave action** and higher storm surges, especially when coupled with higher sea levels, are the primary threat to ports. These impacts can damage:

- *Bridges*
- *Wharfs and piers*
- *Terminal buildings*
- *Ships*
- *Cargo*

Harbour infrastructure may need to be raised or reinforced to withstand these impacts.

More severe weather events **could result in more and longer delays to shipping operations.**

Ports may be required to suspend operations because of severe weather events more often. The resulting delays would reduce the overall reliability of marine shipping and **have business impacts on shippers and receivers.**

**b) Storm events**

Taking into account more severe storms: a 20% rise of  $H_s$

$H_s=3.88$  m

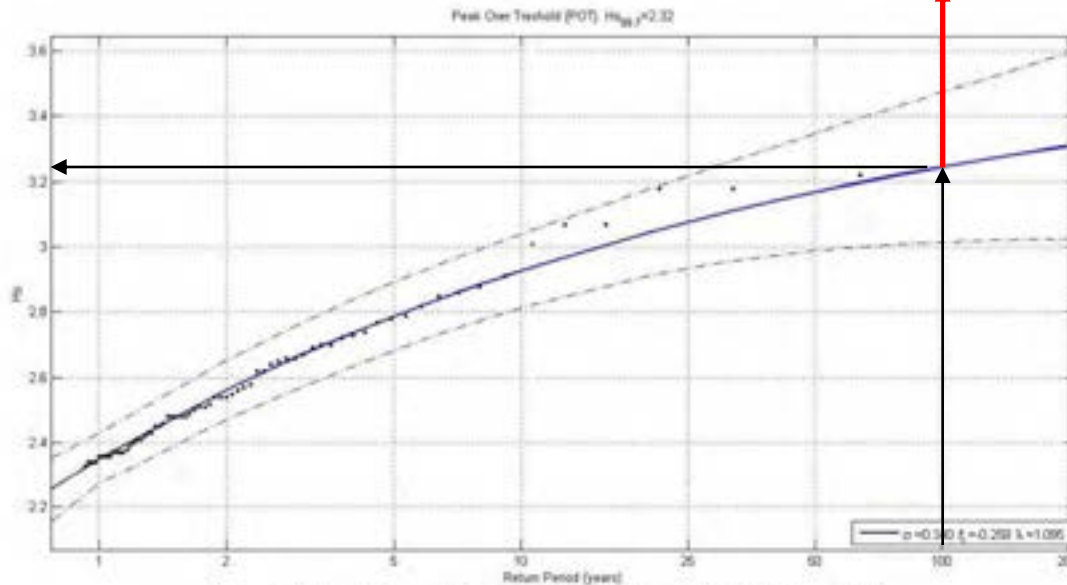
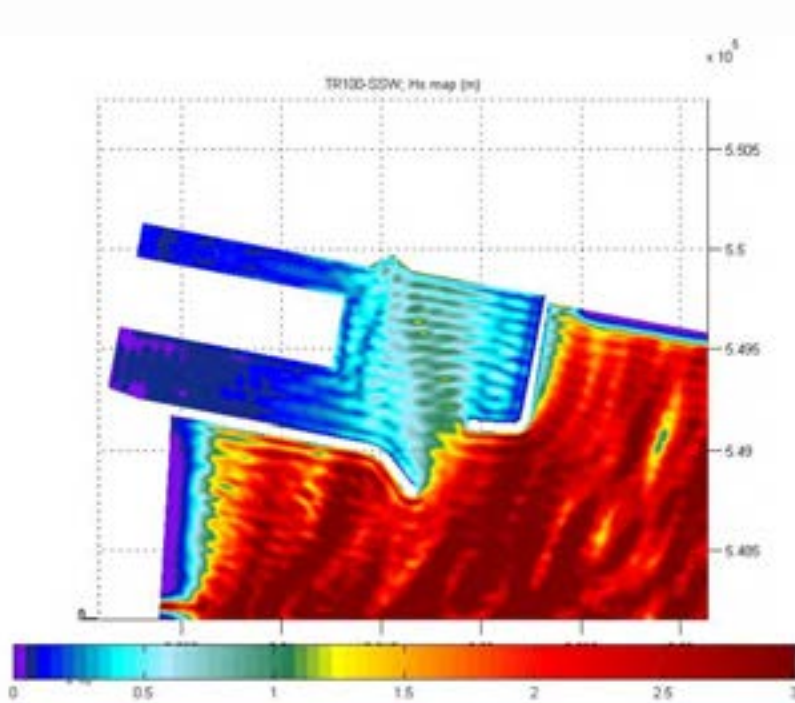


Figure 13: Prediction of extreme significant wave height from SSW.

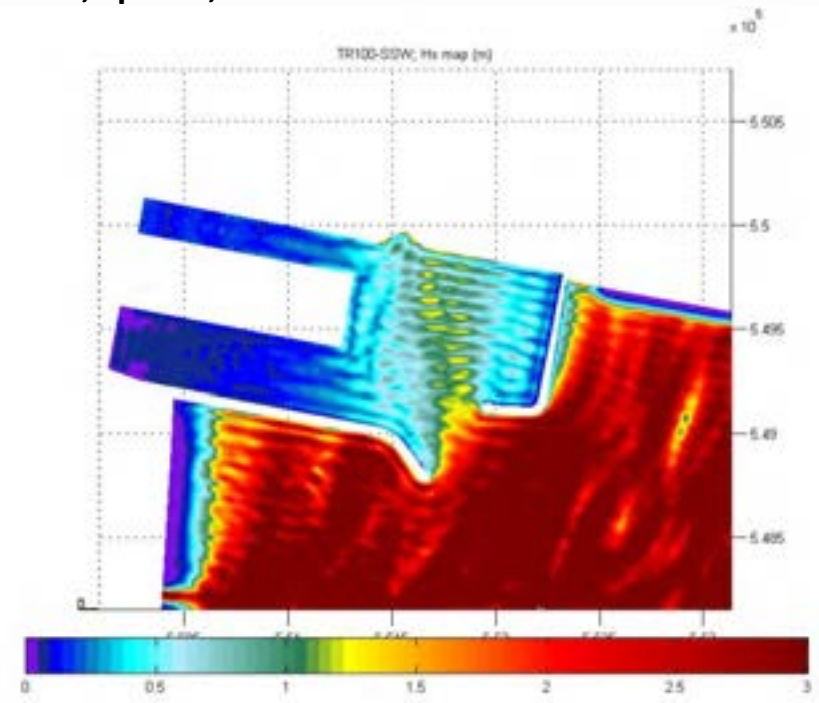
For extreme 100 yr  $H_s$  from SSW, we have:  $H_s=3.24$ m,  $T_p=15$ s.

b) Storm events

For example, comparing  $H_s=3.24\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW with  $H_s=3.88\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW



original

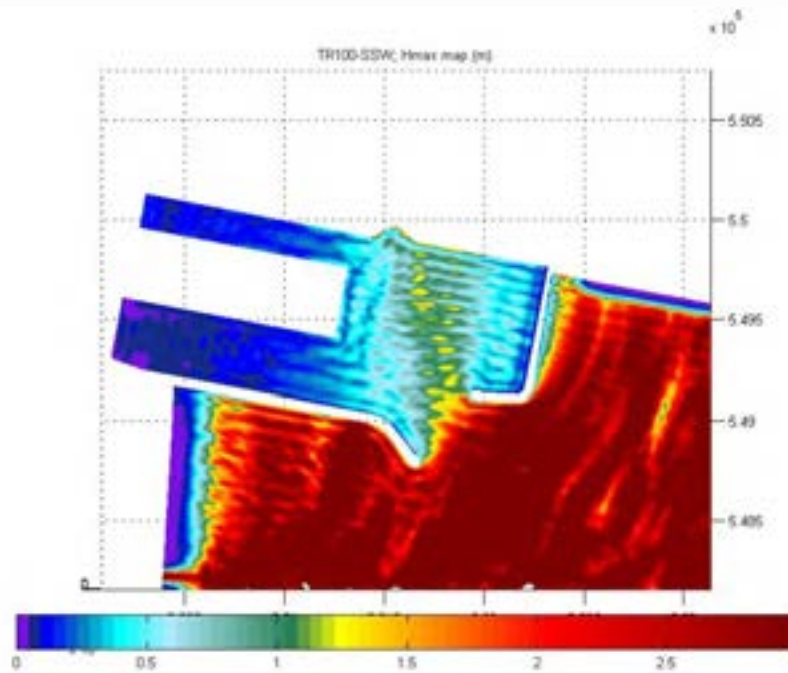


20% rise of  $H_s$

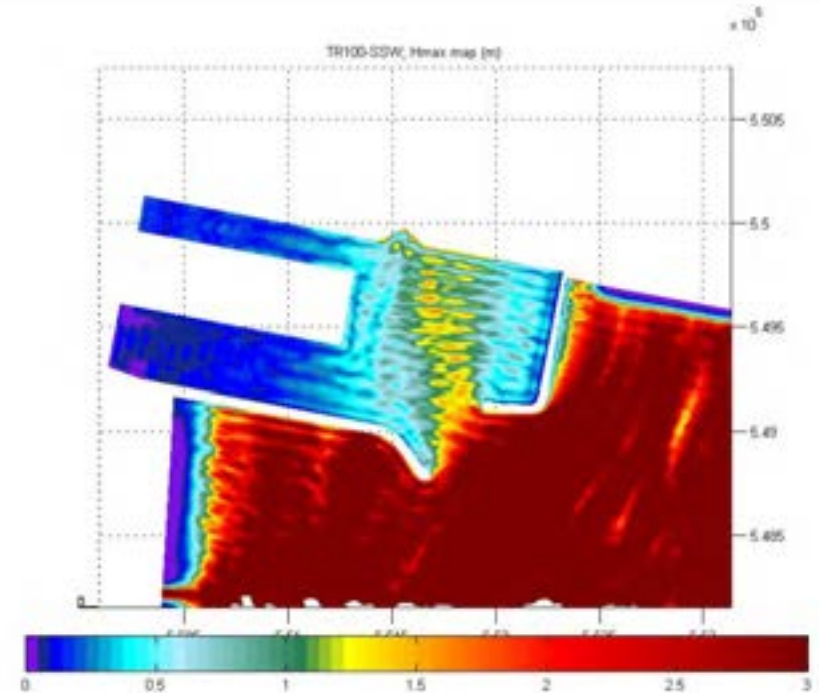


## b) Storm events

For example, comparing  $H_s=3.24\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW with  $H_s=3.88\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW



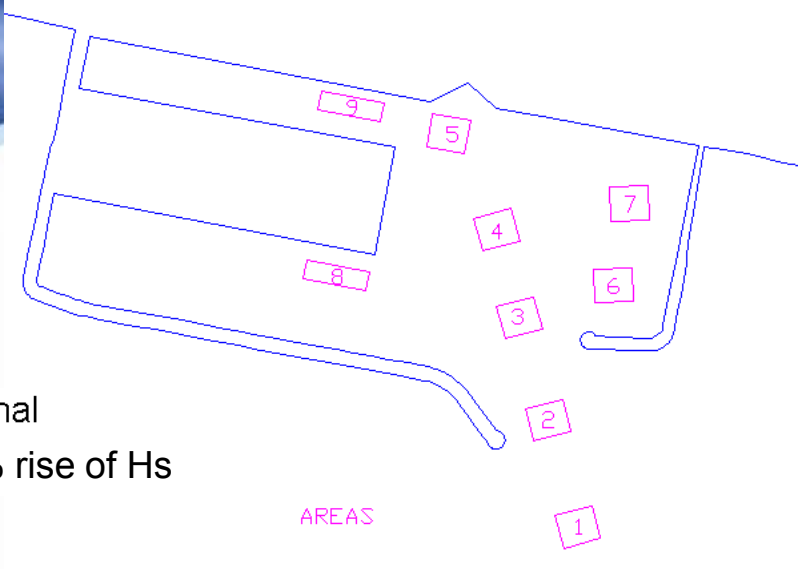
original



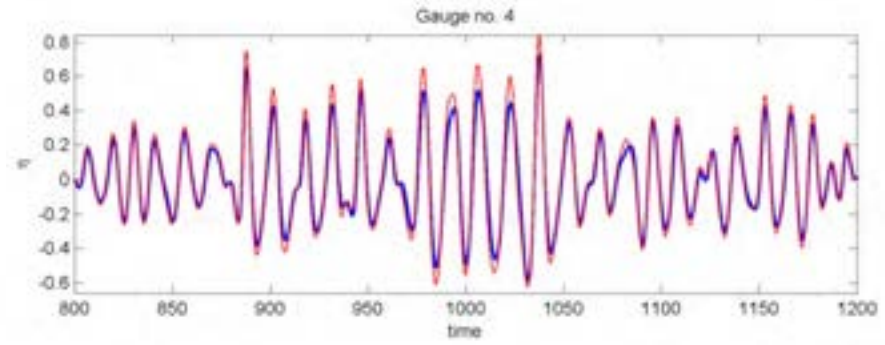
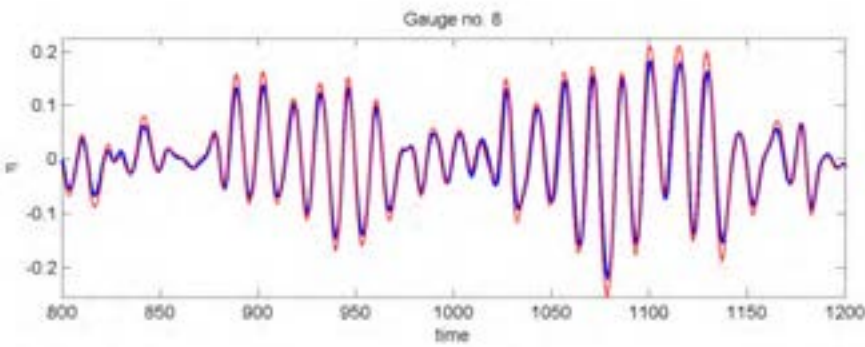
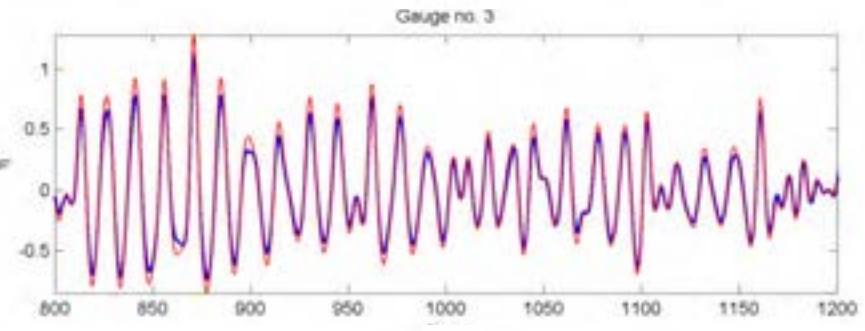
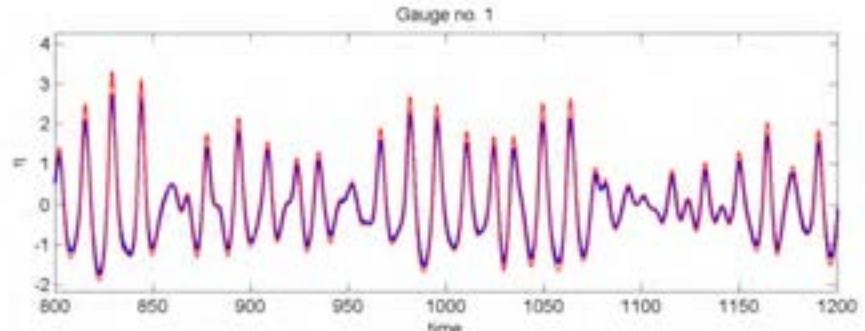
20% rise of  $H_s$

**b) Storm events**

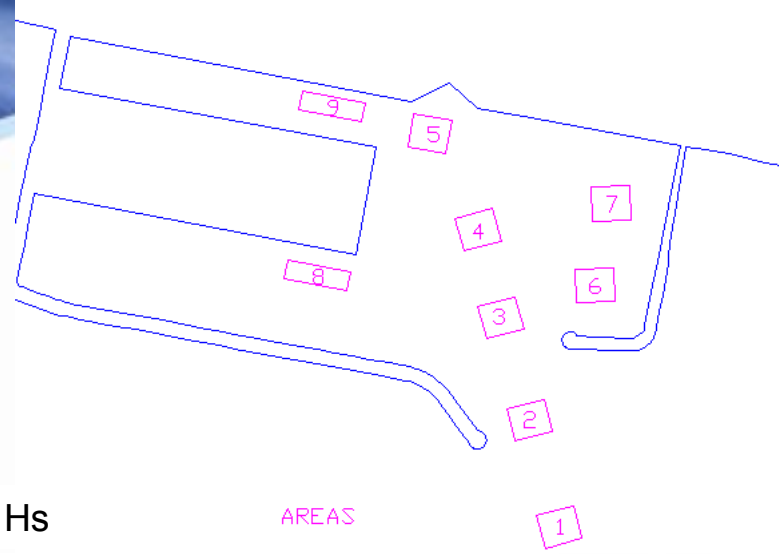
For example, comparing  $H_s=3.24\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW with  $H_s=3.88\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW



- Original
- 20% rise of  $H_s$



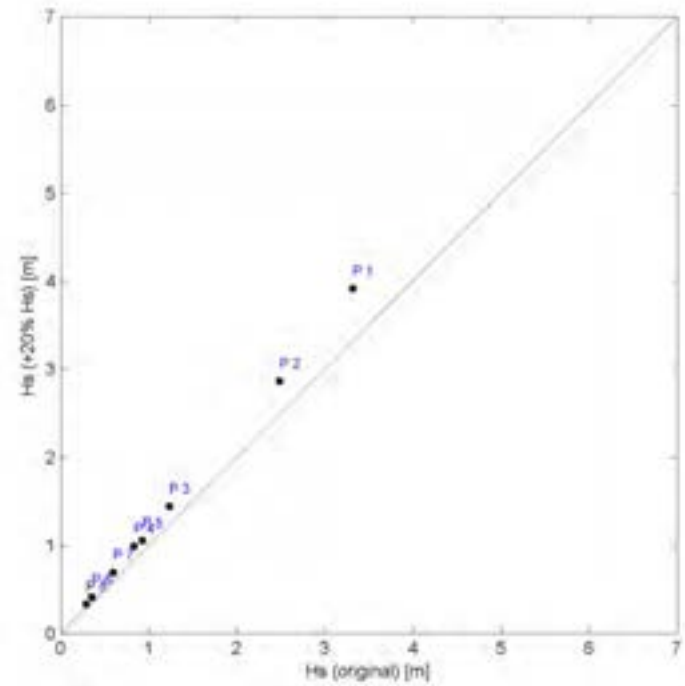
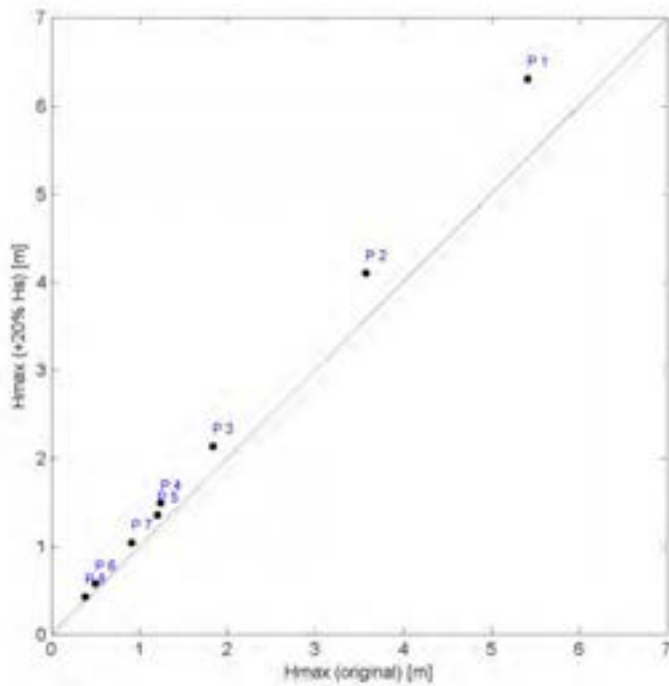
*20% rise of  $H_s$  (free surface)*



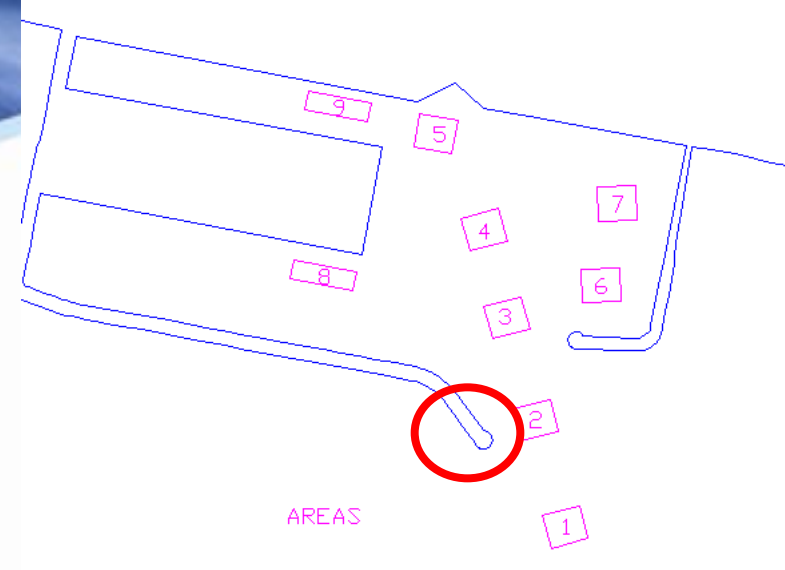
**b) Storm events**

For example, comparing  $H_s=3.24\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW with  $H_s=3.88\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ , SSW

— Original  
 — 20% rise of  $H_s$



*20% rise of  $H_s$  forcing free surface)*



	Weight main layer (cubic elements) (Losada & Gimenez-Curto (1979))	Width of the layer (m)
H <sub>50</sub> (original) [m]	0.9 ton	2.37
H <sub>50</sub> (+20%) [m]	<b>1.6 ton</b>	2.81

Vidal et al. (2004), showed that the **H<sub>50</sub>** parameter, defined as **the average of the 50 highest waves in the structures lifetime**, can be used to describe the evolution of damage in rubble mound breakwaters attacked by sea states of any duration and wave height distribution.



## Ejemplo



## 6. Infraestructuras, edificaciones y equipos

- Aumento de nivel del mar, marea meteorológica, oleaje puede producir **pérdida de estabilidad y funcionalidad de obras de abrigo, muelles, pantalanés, etc.**
- Aumento del viento o eventos de inundación pueden producir daños sobre edificios, tinglados y almacenes
- Aumento de las temperaturas puede dar lugar a daños en estructuras metálicas y equipamientos
- Daños sobre redes generales de agua, energía y saneamiento

CAMBIO CLIMÁTICO → ¿EFECTOS EN LA COSTA?

Aumento del oleaje  $\uparrow H_s$

Cambio en la dirección media del oleaje  $\Delta\theta_m$

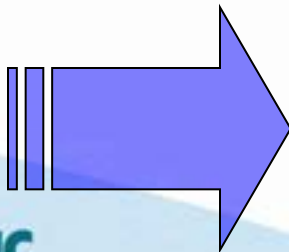
Aumento del nivel del mar  $\uparrow NM$

...

¿IMPACTOS EN INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS? ¿DIQUE EN TALUD?

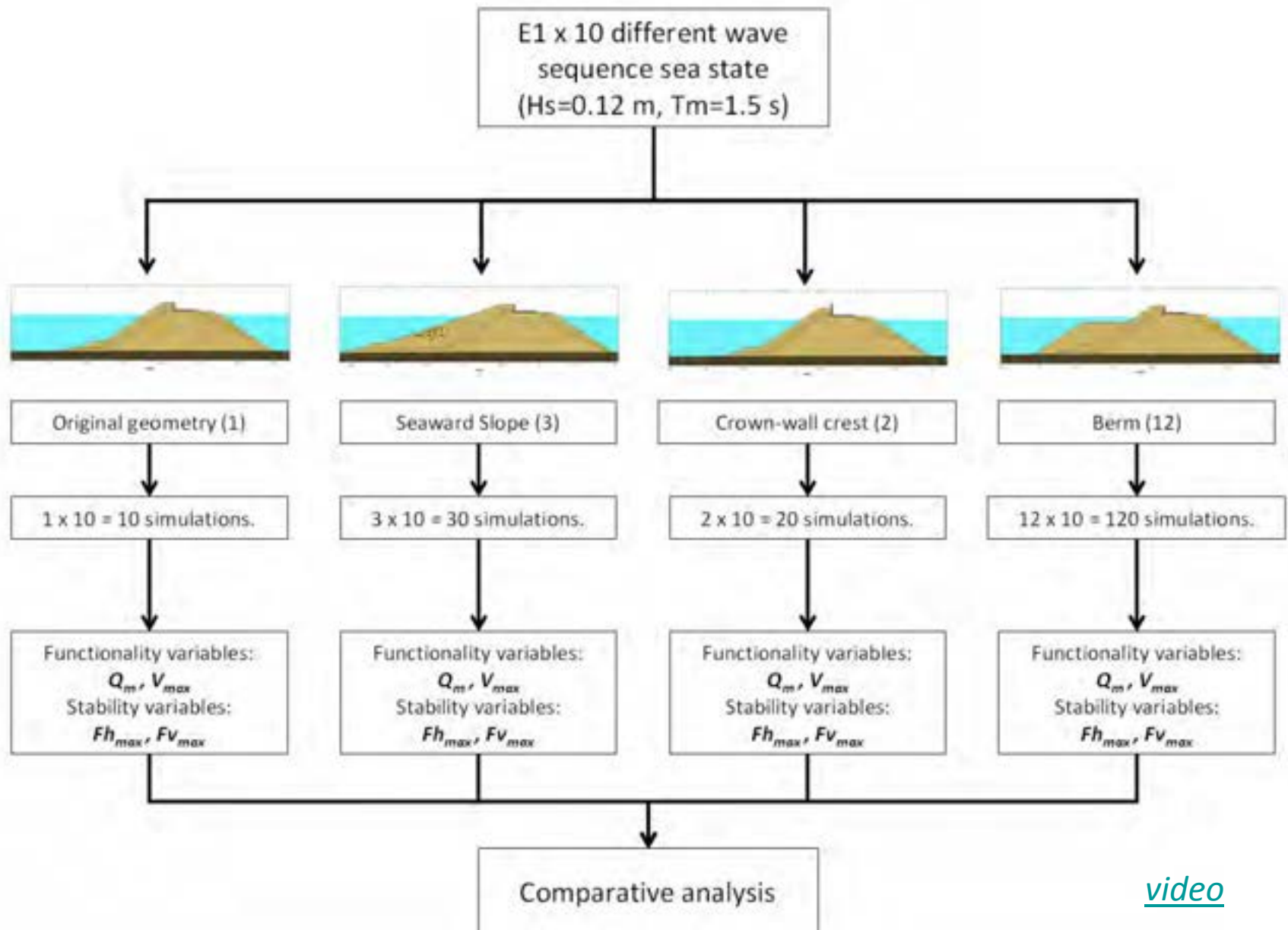
Pérdida de operatividad

Pérdida de fiabilidad



PROPUESTA DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

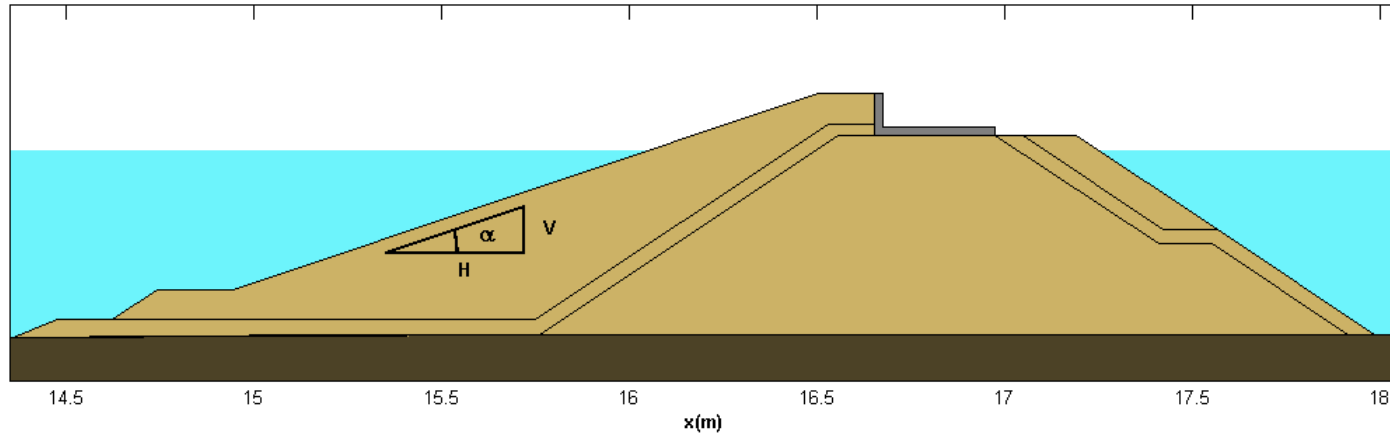
# PROPUESTA DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN



[video](#)

## Analisis (ejemplo)

### Disminución de la pendiente

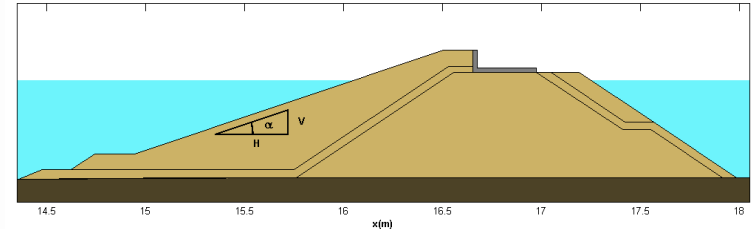


CASo	Características de la pendiente		
	H	V	$\alpha$ (°)
ORIG. GEOM	1.5	1	33.69
P01	2	1	26.56
P02	3	1	18.53
P03	4	1	14.03



**CONCLUSIONES:**

- Cambios en la pendiente:



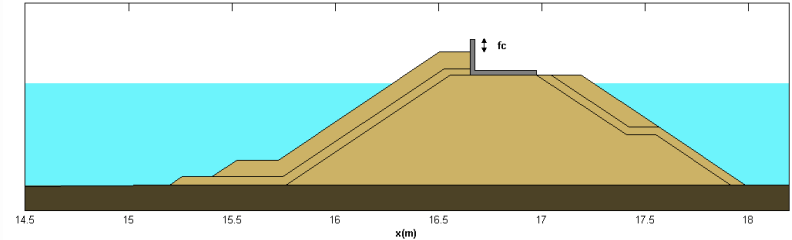
**Tasa de reducción = 0, No hay reducción del impacto**  
**Tasa de reducción = 1, 100% de reducción de impacto**

Reduction rates for 1V:1.5H → 1V:4H	
$Q_M$	80%
$V_{MAX}$	60%
$FH_{MAX}$	20-40 %
$FV_{MAX}$	40-60%

- Esta configuración es muy eficiente en la reducción del caudal de rebase y de las fuerzas horizontal y vertical
- El efecto combinado del cambio en el tipo de rotura del oleaje y el incremento en la longitud de la capa exterior parece ser bastante efectivo en términos de reducción del rebase.

**CONCLUSIONES:**

- **Recrecimiento del espaldón:**

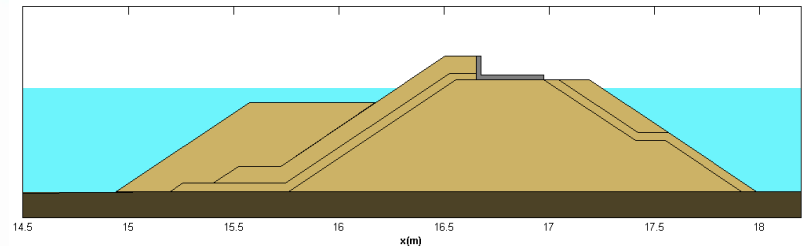


Reduction rate for a 42% increment at the freeboard	
$Q_M$	60%
$V_{MAX}$	40%
$FH_{MAX}$	<b>INCREMENT up to 80%</b>
$FV_{MAX}$	No significant variations

- **Muy efectivo para reducir el rebase**
- **La fuerzas horizontales se incrementan claramente**
- **Esta modificación debe ser usada en combinación con otra configuración para reducir el incremento de fuerzas inducidas por el oleaje en el espaldón**

**CONCLUSIONES:**

- Nueva berma



Reduction rates for the longer berm	
$Q_M$	70%
$V_{MAX}$	30-40%
$FH_{MAX}$	0-15 %
$FV_{MAX}$	20 %

- La rotura del oleaje se induce en la nueva berma: disipación de energía
- Muy efectiva para reducir el caudal de rebase y el volumen máximo
- No es eficiente para reducir las cargas en el espaldón

## Ejemplo



## 7. Accesos y redes de conexión con el hinterland

- Las redes de transporte son esenciales par la operación del puerto
- Daños en las infraestructuras de conexión con el puerto (carreteras + ferrocarril) pueden hacer el puerto inoperativo



SANTANDER (ESP)





## Santander Map Layers

## Sources

## SourceClimate



## SourceRiver



## Pathways

## Transformation Elements



## Boundary Elements

## Natural Boundaries

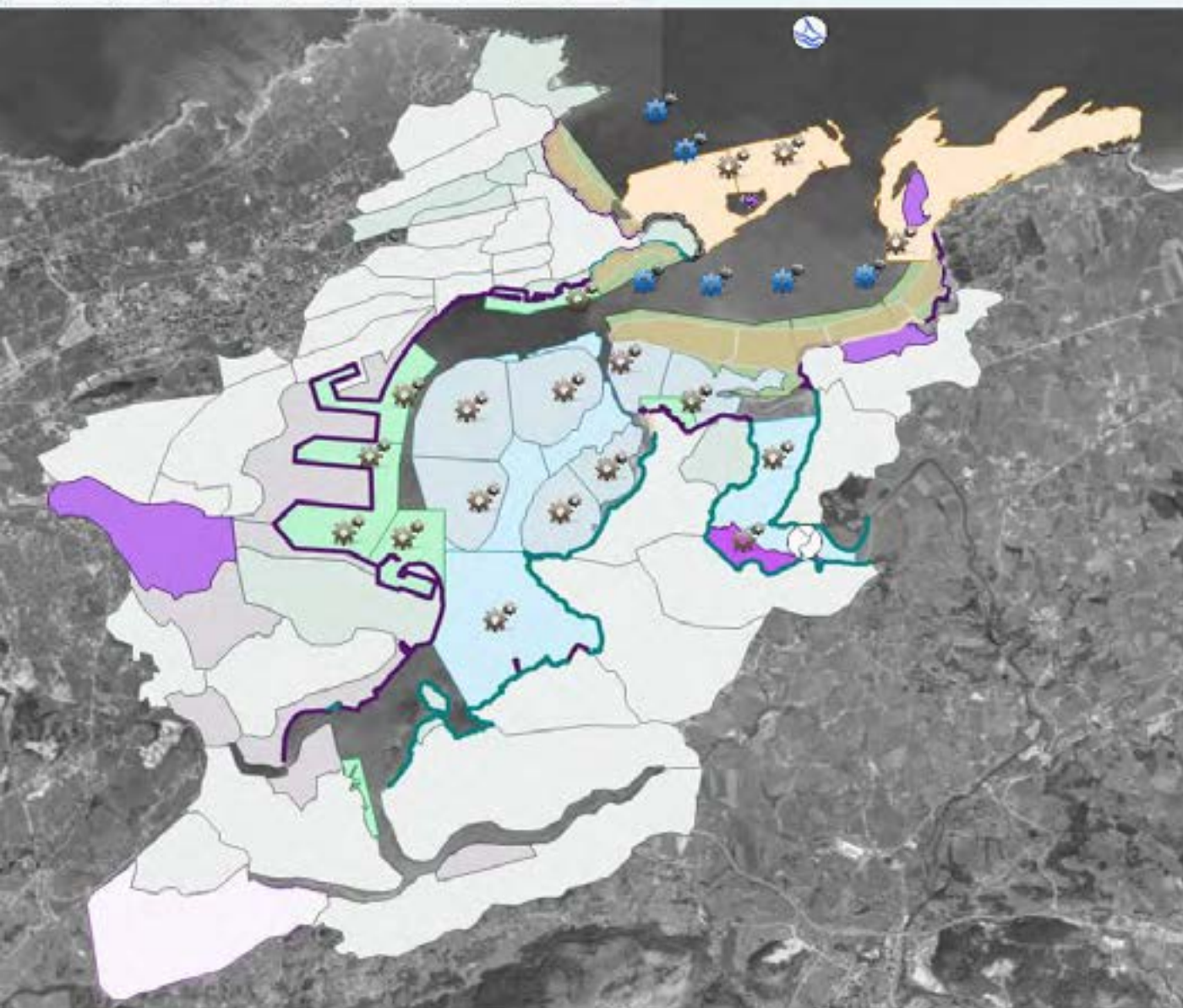


## Receptors

## Land Zones



- Remove Layer
- Zoom to Layer
- Set Dynamic Visibility Scale
- Data
- Labeling
- Selection
- Properties
- Join Excel file 'Data' Label





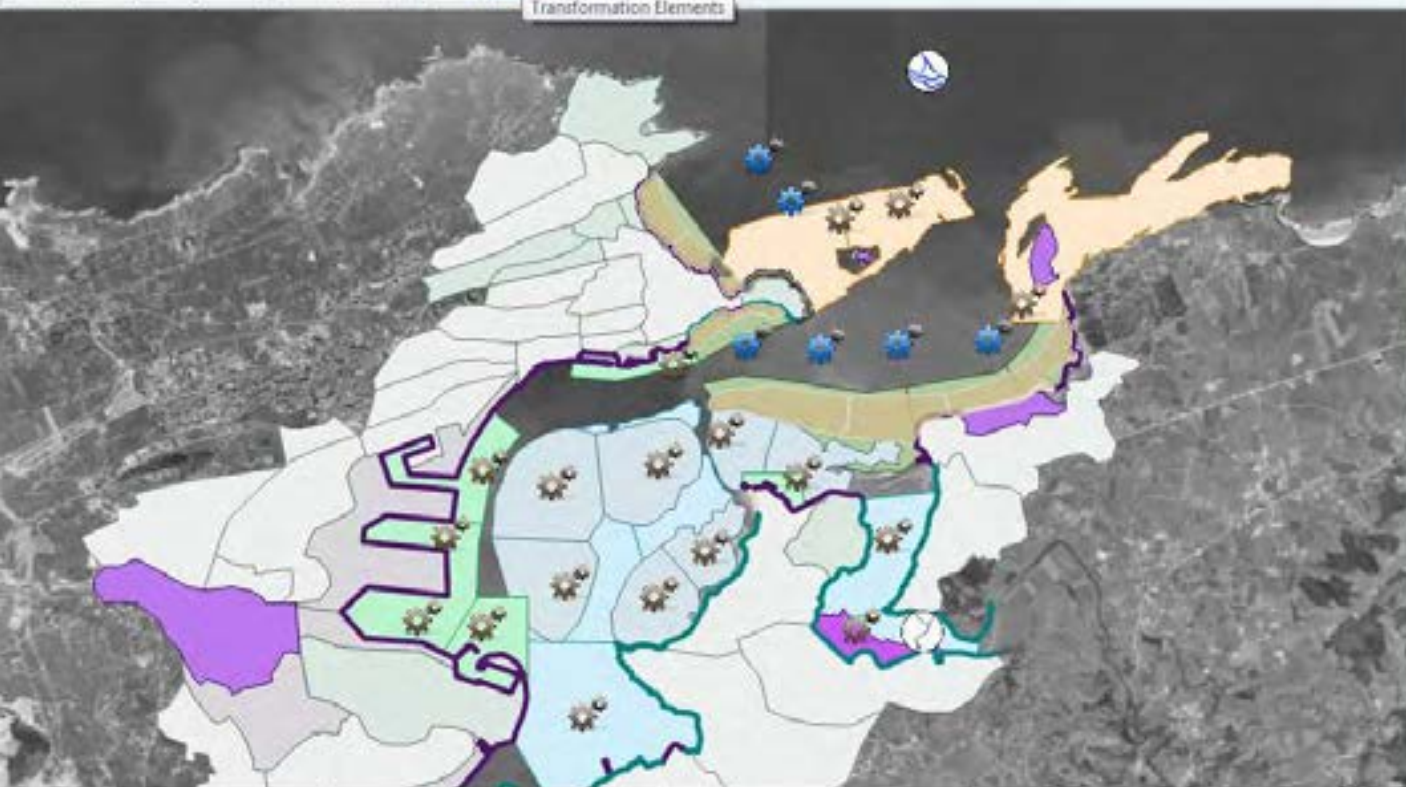
View

Selection

Attributes



Transformation Elements



TransformationElementClimate TransformationElementSeaLevel TransformationElementBeach TransformationElementRocky

	Navigate	Vectorial Data	CodigoBD	CODE	NAME	bathy_dir	d50	h_berm	xb_ini	tide_yea
			33	33	Segunda Playa Sardinero	334	0,4	2	30	4
			34	34	Primera Playa Sardinero	334	0,4	2	30	4
			35	35	El Camello	260	0,5	2	30	4
			36	36	La Magdalena	270	0,5	2	30	4
			37	37	Peligros	236	0,5	2	30	4
			38	38	Loredo	230	0,3	2	30	4
			39	39	Somo - El campino	260	0,3	2	30	4

Models



Layers

Data M.O. R.A.

- Swastander Map Layers
  - Sources
    - SourceClimate
    - SourceRiver
    - Pathways
      - Transformation Elements
        - Rocky
        - Beach
        - TransformationElementClimate
        - TransformationElementSeaLevel
      - Boundary Elements
        - Natural Boundaries
        - Dunes
        - Sea Walls
        - Cliffs
      - Receptors
        - Land Zones
          - ReceptorNaturalHabitats
          - ReceptorResidentialEstate

Code	Function Name	Element Type	Input Parameters	Output Parameters
1	sourceclimate	SourceClimate	hs, tp, wave_dir, eta_ast, eta_met	
2	offshore_to_coast	TransformationElementClimate	hs, tp, wave_dir, target_id, eta_ast, eta_met	hs, tp, wave_dir
3	shoal	TransformationElementRocky	hs, tp, wave_dir, eta, h_ini, h_end, bathy_dir	hs, wave_dir
4	beach	TransformationElementBeach	hs, tp, wave_dir, eta_ast, eta_met, depth_ini, bathy_dir, x_eq, xb_ini, d50, h_berm, cm_med, k_acr, k_ero, xbp	hs, xb, depth_ini
5	sea_wall	BoundaryElementSeaWall	hs, eta, hc, length	q
8	inland_consequences	ReceptorNaturalHabitats	depth, population, patrimonial_value, alpha	loss_life, ed
9	outland_consequences	ReceptorRockyReef	vel_x, vel_y, habitat_id	evi
10	w9xpopen	SourceClimate	bathy_dir, d50	bathy_dir
11	pythonw	SourceClimate	bathy_dir, d50	bathy_dir
12	earthflashesol	SourceClimate	alpha, d50	
13	ar	TransformationElementRocky	length, depth_ini	xb, k_ero
14	AcroRd32	BoundaryElementDune	h_end, population	patrimonial_value

## New Function



Function:



Element Type:

SourceClimate

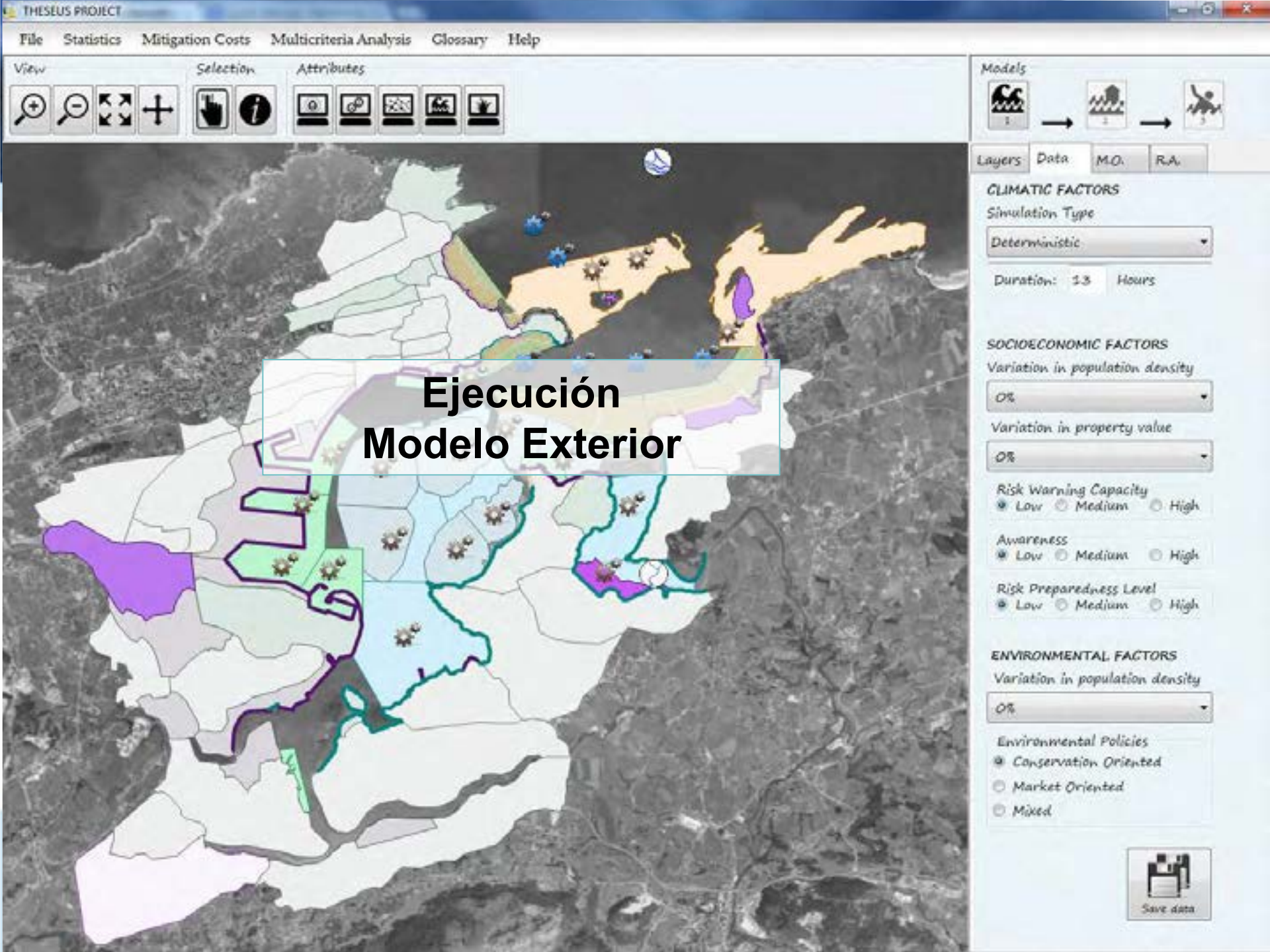
Input Parameters

  
 alpha  
 bathy\_dir  
 cm\_med


Output Parameters

  
 alpha  
 bathy\_dir  
 cm\_med



Ejecución  
Modelo Exterior

Models



Layers

Data

M.O.

R.A.

CLIMATIC FACTORS

Simulation Type

Deterministic

Duration: 13 Hours

SOCIOECONOMIC FACTORS

Variation in population density

0%

Variation in property value

0%

Risk Warning Capacity

Low  Medium  High

Awareness

Low  Medium  High

Risk Preparedness Level

Low  Medium  High

ENVIRONMENTAL FACTORS

Variation in population density

0%

Environmental Policies

Conservation Oriented

Market Oriented

Mixed



Models

Layers Data M.O. R.A.

Santander Map Layers

- Sources
- SourceClimate

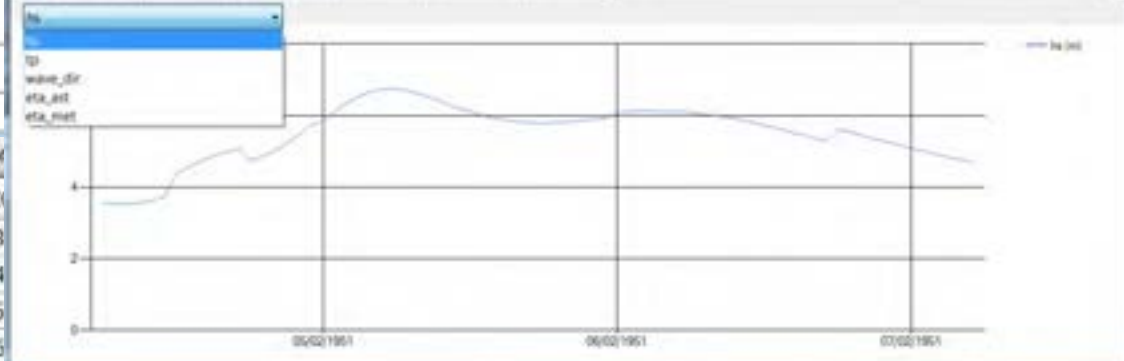
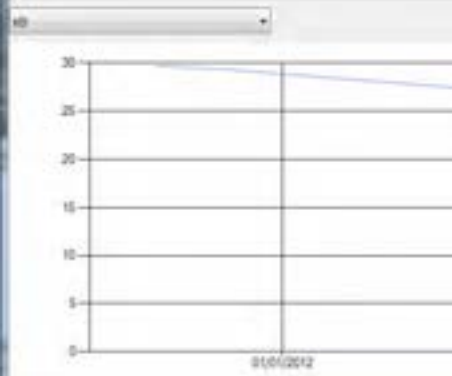
Element: Somo - Pueblo

DATE	hs	sb	depth	q_long	v_long	dean_par
01/01/2012	0	29.72	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	29.44	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	28.89	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	28.36	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	27.83	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	27.31	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	26.81	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	26.31	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	25.83	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	25.35	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	24.88	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	24.43	0	0	2.44	0.11
01/01/2012	0	23.97	0	0	2.44	0.11



Element: Climate Source

DATE	hs	tp	wave_dir	eta_act	eta_met
04/02/1951	3.56	14.27	304.55	-0.91	0.17
04/02/1951	3.54	13.99	304.23	-1.42	0.19
04/02/1951	3.53	13.74	304.37	-1.58	0.2
04/02/1951	3.56	13.49	304.38	-1.39	0.21
04/02/1951	3.63	13.24	304.56	-0.92	0.22
04/02/1951	3.73	13	304.52	-0.26	0.24
04/02/1951	4.39	12.55	311.94	0.44	0.26
04/02/1951	4.58	12.48	314.38	1.01	0.26
04/02/1951	4.74	12.47	315.88	1.31	0.27
04/02/1951	4.87	12.53	316.83	1.26	0.29
04/02/1951	4.98	12.64	317.74	0.87	0.29
04/02/1951	5.08	12.79	317.86	0.21	0.28
04/02/1951	4.74	13.46	315.94	-0.57	0.3
04/02/1951	4.86	13.76	316.2	-1.22	0.29
04/02/1951	5.02	14.12	316.12	-1.53	0.28
04/02/1951	5.22	14.56	315.8	-1.45	0.28
04/02/1951	5.46	15.09	315.32	-1.02	0.27
04/02/1951	5.74	15.68	314.49	-0.33	0.27



TransformationElementClimate TransformationElementSeaLevel

Navigate	Vectorial Data	CodigoBD	C
		33	33
		34	34
		35	35
		36	36
		37	37
		38	38
		39	39

Peligros	236	0,5	2	30	4
Loredo	230	0,3	2	30	4
Somo - El campino	260	0,2	2	30	4

on Elements

ationElementClimate

ationElementSeaLevel

MENTS

undaries

Land Zones

ReceptorNaturalHabitats

ReceptorResidentialEstate



View Selection Attributes

Models

Layers Data M.O. R.A.

Santander Map Layers

- Sources
  - SourceClimate
  - SourceRiver
- Pathways
  - Transformation Elements
    - Rocky
    - Beach
    - TransformationElementClimate
    - TransformationElementSeaLevel
  - Boundary Elements
    - Natural Boundaries
    - Pines
    - Sea Walls
    - Cliffs
  - Receptors
    - Land Zones
      - ReceptorNaturalHabitats
      - ReceptorResidentialEstate

# Ejecución Modelo Inundación

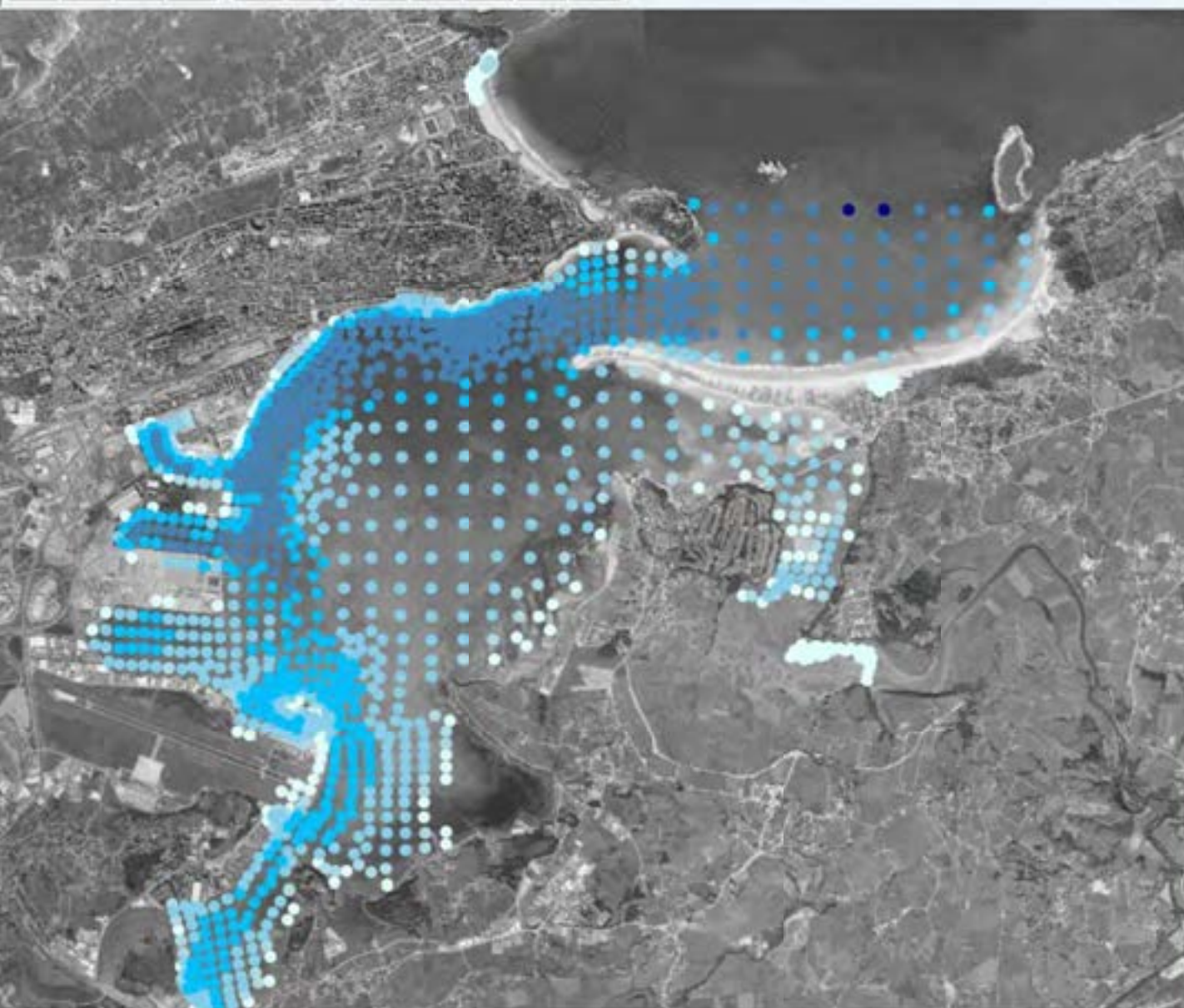


	TransformationElementClimate	TransformationElementSeaLevel	TransformationElementBeach	TransformationElementRocky					
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
Navigation	Vectorial Data	CodigoBD	CODE	NAME	bathy_dir	d50	h_berm	xb_ini	tide_yec
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	33	33	Segunda Playa Sardinero	334	0,4	2	30	4
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	34	34	Primera Playa Sardinero	334	0,4	2	30	4
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	35	35	El Camello	260	0,5	2	30	4
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	36	36	La Magdalena	270	0,5	2	30	4
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	37	37	Peligros	236	0,5	2	30	4
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	38	38	Loredó	230	0,3	2	30	4
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	39	39	Somo - El campino	260	0,2	2	30	4

View Selection Attributes



Models



Layers Data M.O. R.A.

Seminar Map Layers

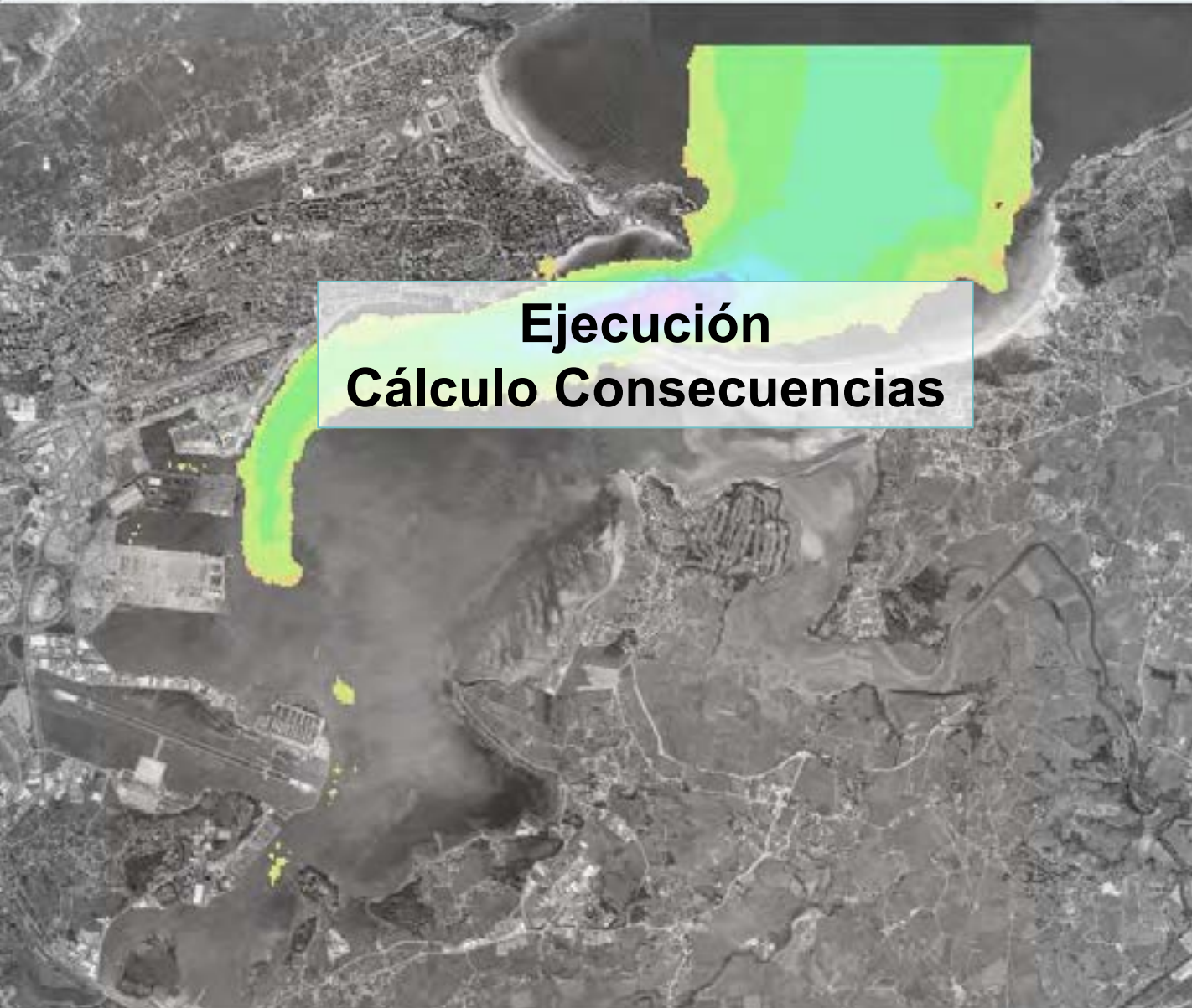
- Results
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
    - <= 1
    - (1 - 2]
    - (2 - 5]
    - (5 - 10]
    - (10 - 20]
    - > 20
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
- Sources
  - SourceClimate
  - SourceRiver
- Pathways
  - Transformation Elements
    - Rocky
    - Beach
    - TransformationElementClimate
    - TransformationElementSeaLevel
  - Boundary Elements



View Selection Attributes



Models



**Ejecución  
Cálculo Consecuencias**

Layers Data M.O. R.A.

Santander Map Layers

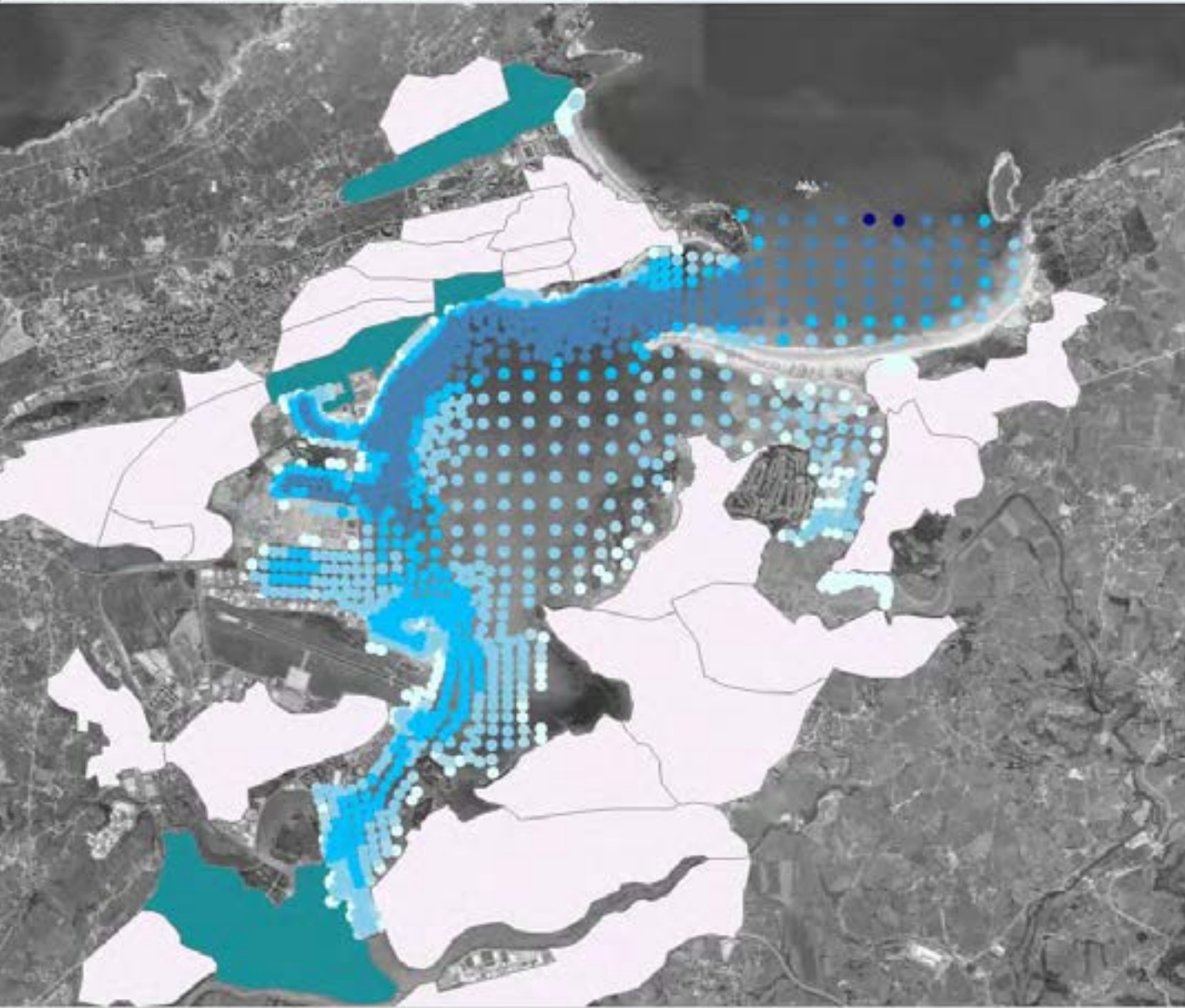
- Results
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
  - Hazard
    - <= 58
    - 58 - 59
    - 59 - 28
    - 28 - 37
    - 37 - 46
    - 46 - 55
    - 55 - 64
    - 64 - 73
    - 73 - 82
    - > 82
  - Velocity
  - Depth
- Sources
  - SourceClimate
  - SourceRiver
- Pathways
  - Transformation Elements
    - Rocky
    - Beach
    - TransformationElementClimate



View Selection Attributes




Models



Layers Data M.O. R.A.

Santander Map Layers

- Results
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
- Consequences
  - Lives
  - Euros
    - ReceptorIndustrial - Euros
    - ReceptorPublicService - Euros
    - ReceptorResidentialEstate - Euros
      - 0 - 2 mil €
      - 2 - 50 mil €
      - 50 - 200 mil €
      - >200 mil €
- Sources
  - SourceClimate
  - SourceRiver
  - Source
- Pathways
  - Transformation Elements
    - Rocky
    - Beach
    - TransformationElementClimate





View Selection Attributes




Models



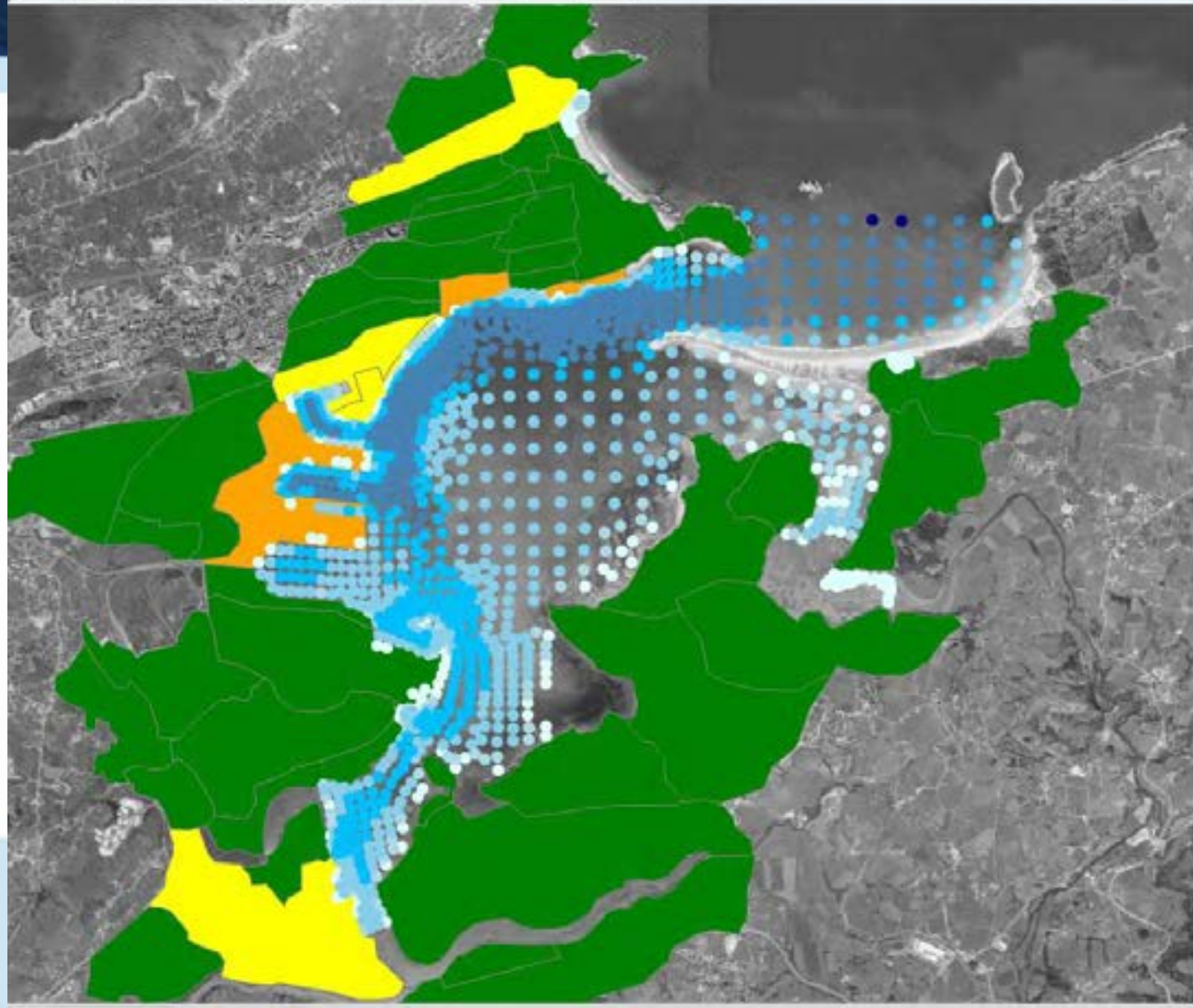
Layers Data M.O. R.A.

Sonderer Map Layers

- Results
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
  - Hazard
  - Velocity
  - Depth
- Consequences
  - Lives
    - ReceptorIndustrial - Lives
    - ReceptorPublicService - Lives
    - ReceptorResidentialEstate - Lives
- Euros
  - ReceptorIndustrial - Euros
  - ReceptorPublicService - Euros
  - ReceptorResidentialEstate - Euros
- Sources
  - SourceClimate
  - SourceRiver
  - SourceRocky
- Pathways
  - Transformation Elements
  - Rocky



Green	0 p
Yellow	0 - 50 p
Orange	50 - 500 p
Red	500 - 5000 p
Dark Red	5000 - 50000 p
Black	50000 - 500000 p





**STRUCTURAL** Changes of crest elevation of sea walls

Sea Wall Name

Mirador del Chiqui

119,25 m<sup>3</sup>/s in 24 hours

Crest Elevation: 20

 Changes of crest elevation of dunes Changes of beaches

Beach Name

Segunda Playa Sardinero

bethy\_dir: 334

d50: 0,4

xb\_inc: 30

**NON-STRUCTURAL SOCIOECONOMY** Reduce value of risk

Receptor Name

I5-Natural Habitats

Risk (alpha): 0,5





1. Introducción: Cambio climático
  2. Cambio climático e infraestructuras
  3. Metodología para la evaluación de riesgos
  4. Evaluación a macroescala y mesoescala
  5. Evaluación a escala local
- 1. Conclusiones y recomendaciones**

- En general, existe una falta de concienciación por parte de los tomadores de decisiones y de los técnicos responsables de las infraestructuras, sobre los posibles impactos del clima en el ciclo de vida de las infraestructuras.
- Existe desconexión entre el ámbito de la ciencia y los actores relevantes en la planificación, financiación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de las infraestructuras.
- Esto es probablemente debido a que la ciencia y la academia no han sabido transmitir hasta el momento el problema; no han sabido entender las necesidades del sector ni han generado las herramientas y metodologías específicas que el sector requiere.
- .....pero esto está cambiando

- La mayor parte de las acciones emprendidas por el sector del transporte, incluido el sistema portuario, se han orientado al campo de la mitigación y no al de la adaptación, centrando esfuerzos en la reducción de emisiones.
- Dada la complejidad del problema es necesario desarrollar metodologías y herramientas específicas que como mejor se evalúan es mediante su aplicación en casos piloto
- El análisis de riesgos para su situación actual es el punto de partida básico para poder acometer el análisis de los riesgos derivados del cambio climático en puertos y en las infraestructuras del transporte asociadas a los mismos



- Los puertos están y serán afectados por eventos climáticos asociados a la variabilidad climática, eventos extremos y cambio climático. Estos incluyen aumento del nivel del mar, mareas meteorológicas extremas, cambios en oleaje y vientos (intensidad y dirección), precipitaciones y temperatura, entre otros.
- A la hora de analizar el impacto sobre puertos será necesario considerar, tanto los impactos directos sobre sus infraestructuras, como aquellos que tienen incidencia sobre las operaciones del mismo (operatividad e integridad de conexiones con el hinterland, etc.)

- La problemática esencial para la realización de análisis de riesgo o para la implementación de medidas de adaptación reside en la falta de información de alta resolución espacial (local y regional) tanto climática como de vulnerabilidad
- El segundo elemento de dificultad radica en la diversidad del sistema portuario (puertos industriales vs. Pesqueros; concesiones privadas vs. Públicas; configuración, desarrollo histórico, mercados, imbricación territorial, etc.). Esto no permite buscar soluciones globales.

- Dada la importancia de las infraestructuras (no solo puertos) para la vertebración del territorio y el desarrollo económico local, la implementación de estrategias de adaptación y de mitigación de riesgos es absolutamente necesaria.
- El ciclo de vida de las infraestructuras, desde su diseño hasta su desmantelamiento abarca un rango temporal que requiere un cambio de paradigma en su planificación para introducir la variabilidad y el cambio climático con sus incertidumbres.



- La existencia de incertidumbres no justifica la falta de actuación
- El análisis de riesgos y la planificación debe tener en cuenta los diferentes stressors que pueden tener incidencia sobre la infraestructura (climáticos y no climáticos)
- Las estrategias de adaptación planteadas deberán tener en cuenta los pros y contras de establecer un calendario determinado implementación
- Desde el punto de vista estratégico las infraestructuras son un claro ejemplo en el que se deben integrar iniciativas de adaptación y mitigación del cambio climático con estrategias de mitigación de desastres.

- Las actuaciones de carácter preventivo suelen tener siempre un menor coste. Alternativamente/simultáneamente se deben plantear iniciativas de observación y monitorización que contribuyan a disminuir la incertidumbre sobre potenciales proyecciones y escenarios.
- Es importante formular los riesgos derivados de cambio climático en términos de riesgo financiero.
- Las barreras más importantes para la adaptación de las infraestructuras son: la falta de concienciación técnica y política, regulación, financiación específica, competencia con otras prioridades cortoplacistas y falta de herramientas y metodologías

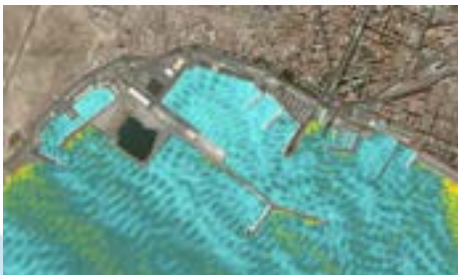
- El problema es especialmente relevante en infraestructuras vinculadas a asentamientos urbanos por la elevada vulnerabilidad de los mismos.
- El portfolio de medidas de adaptación es grande y variado y no debe descartarse ninguna, a priori, buscando una combinación óptima.
- La combinación de medidas de adaptación progresivas combinadas con un seguimiento y monitorización adecuados, son posiblemente la mejor opción ante las incertidumbres existentes.

- Mejora de la capacidad adaptativa de las infraestructuras a impactos del clima a través de:
  - Una planificación de la inversión de nuevas infraestructuras que se proyecte sobre un análisis del territorio que considere los riesgos derivados de la variabilidad climática (especialmente eventos extremos) y cambio climático a lo largo del ciclo de vida de las nuevas infraestructuras
  - Una política de gestión del patrimonio de la infraestructura pública mediante planes anuales/bianuales de operación, mantenimiento, reparación y sustitución que incorpore la variabilidad climática y el cambio climático
  - Una revisión y actualización de los estándares y normativas aplicables a las infraestructuras para incorporar los efectos de la variabilidad climática y cambio climático



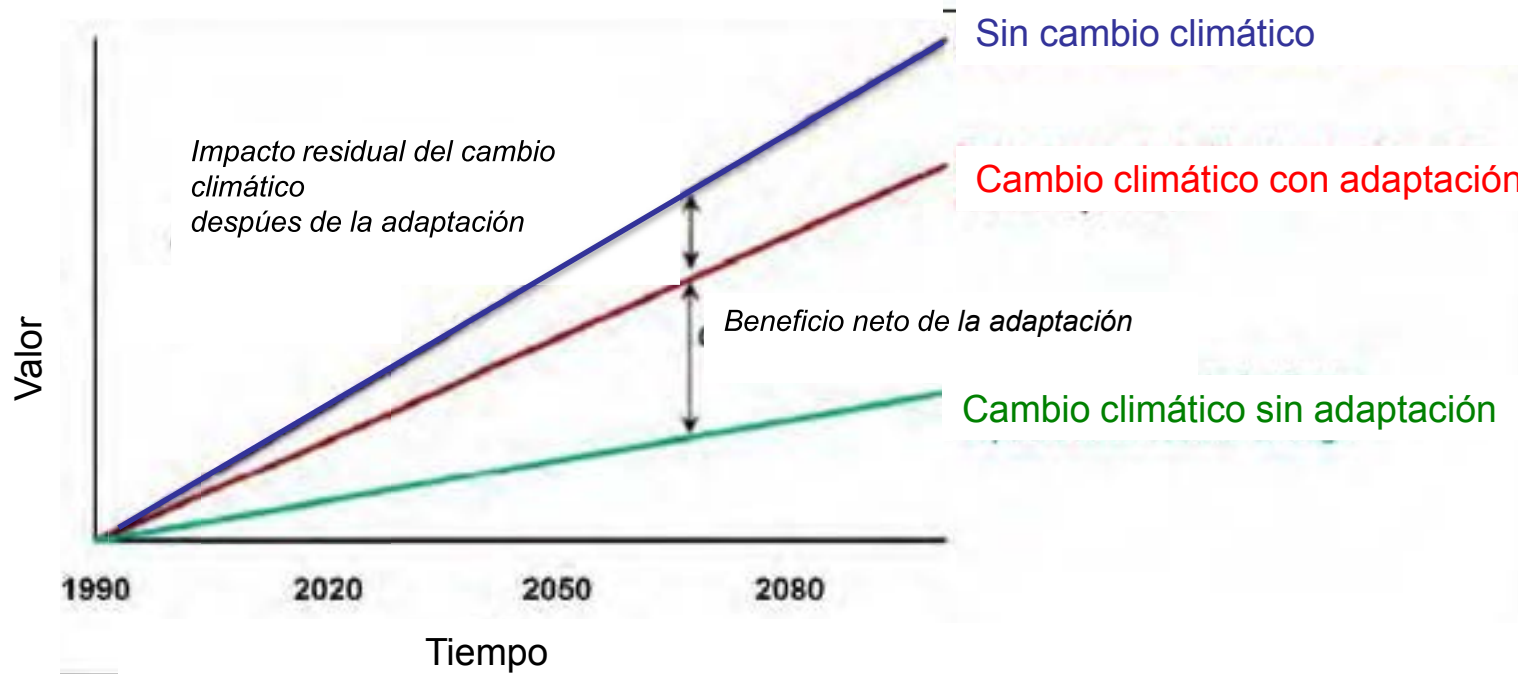
# Infraestructuras y Cambio Climático en España: Desde el análisis del riesgo al diseño en ingeniería

Iñigo J. Losada  
Instituto de Hidráulica Ambiental “IH Cantabria”  
Universidad de Cantabria-España



## Opciones para el análisis económico/financiero

- Caso Base: Business as usual. Se establecen las proyecciones futuras sin tener en cuenta el cambio climático con un modelo económico/financiero
- Cambio climático: Se estiman las implicaciones del cambio climático para un rango de escenarios mediante un modelo económico/financiero
- Cambio climático con adaptación: Se estiman los costes y beneficios económicos de la implantación de medidas de adaptación y se identifica las medidas de adaptación óptimas desde un punto de vista económico



- Información necesaria: datos históricos y proyecciones del movimiento neto de carga y descarga, beneficios, costes de operación, costes financieros, impuestos, dividendos, depreciación y amortización, inversiones, etc.
- Costes de implementación y monitorización de las medidas de adaptación
- Un parámetro esencial en el análisis es la tasa de descuento
- Se puede fijar como criterio para optimizar la estrategia de adaptación maximizar el EBITDA incluyendo los costes de adaptación