

Vulnerabilidad del sistema portuario de titularidad estatal ante el cambio climático.

**INSTITUT MEDITERRANI
D'ESTUDIS AVANÇATS**
UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS – CSIC



**D. Gomis , G. Jordà, M. Marcos,
A. Martínez-Asensio, J. Llasses**



**E. Álvarez-Fanjul, R. Aznar,
E. Padorno, S. Pérez, B. Pérez**



**National Oceanography
Centre, Southampton**
UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON AND
NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL

M. N. Tsimplis, F.M. Calafat



**E. Rodríguez-Camino
J. C. Sánchez-Perrino,
J. M. Rodríguez**



S. Somot, F. Sevault, F. Adloff

Índice de la presentación:

- Redes de medida de Puertos del Estado
- Regionalización: Los proyectos Vanimedat II y Escenarios:
 - Objetivos de los proyectos y marco de trabajo
 - Metodología: los modelos numéricos
 - Resultados de los proyectos:
 - Proyecciones de temperatura superficial (SST)
 - Proyecciones de salinidad
 - Proyecciones de nivel del mar (medio y extremal)
 - Proyecciones de oleaje (medio y extremal)
 - Productos / Diseminación
- Líneas de futuro: Impactos (estudios en curso):
 - Impactos sobre los puertos

La visión de conjunto: Redes y modelos

Redes de medida



Red Aguas Profundas

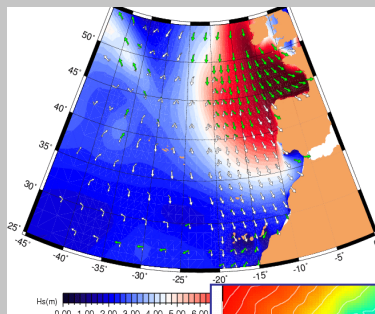
Red Costera



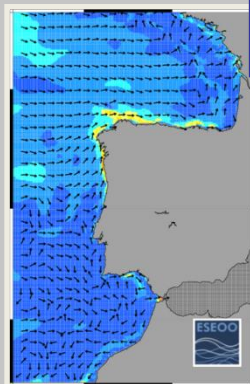
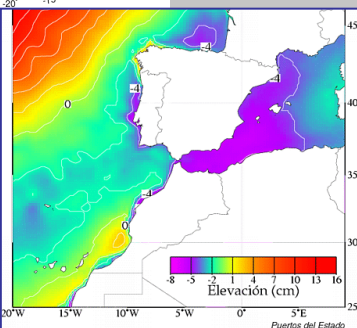
Red Mareógrafos

Red Radares HF

Escala regional



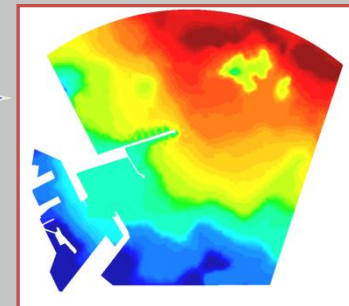
Nivel del mar



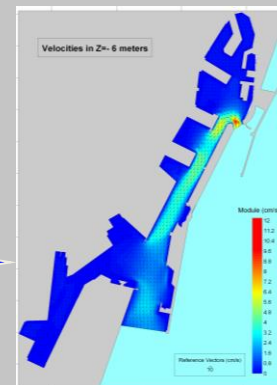
Sistemas de previsión

Escala costera y portuaria

Oleaje y Agitación

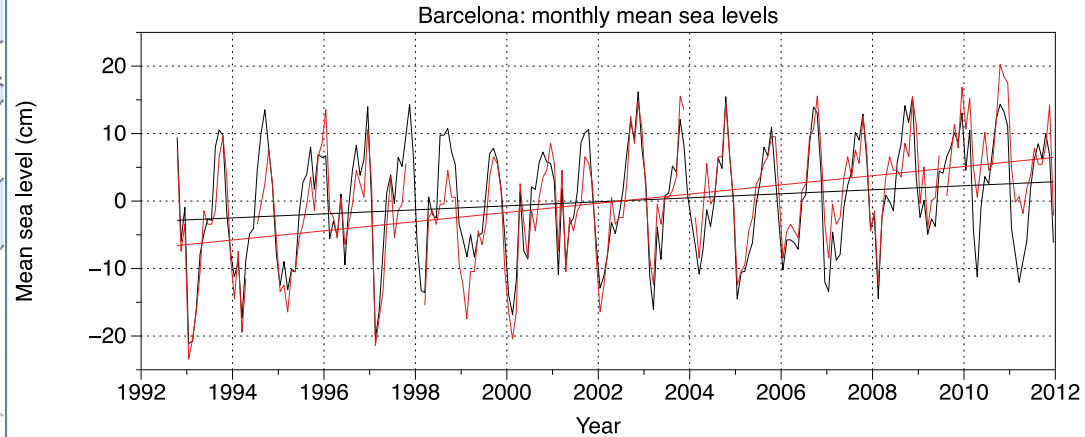
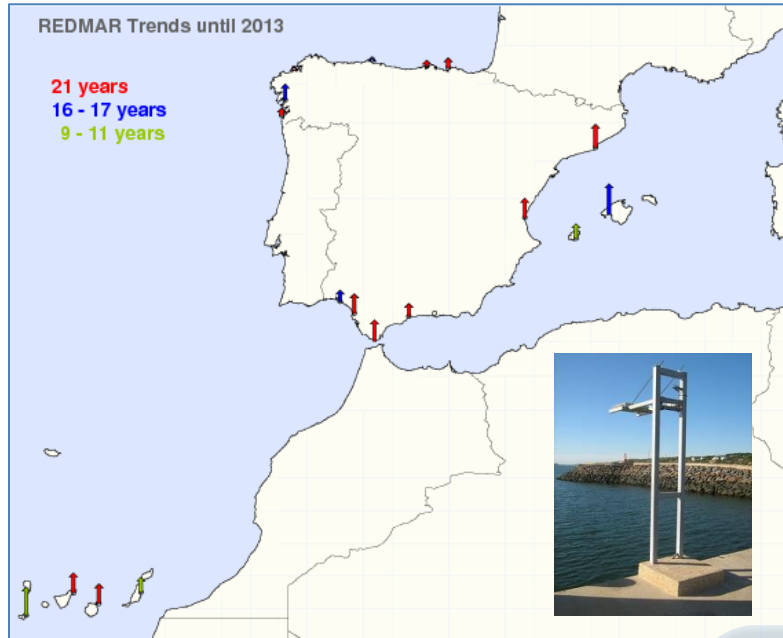


Circulación Costera y portuaria

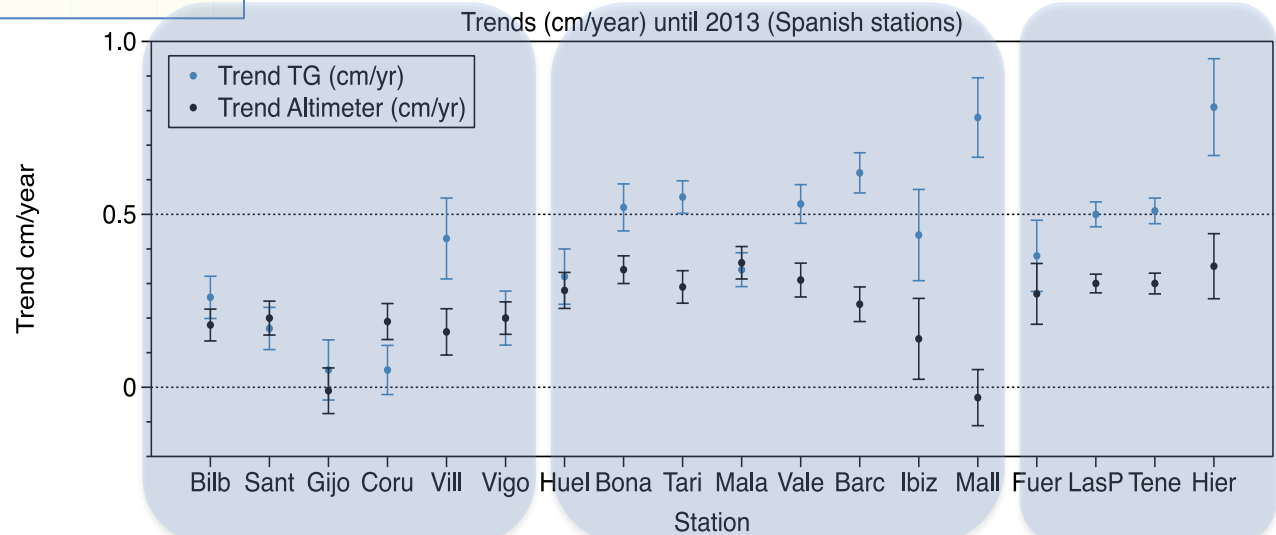


Series históricas de las redes de medida

Red de Mareógrafos REDMAR (Nivel del Mar):



Tendencias en el nivel medio y extremos 1992-2013 : tendencias superiores a 3.2 mm/año y a los datos de altimetría en Mediterráneo y Canarias



Regionalización climática

Objetivos de los proyectos Vanimedat II y Escenarios:

- Entender la variabilidad climática observada en las costas españolas durante las últimas décadas del siglo XX
- Obtener un conjunto de escenarios climáticos marinos regionalizados para el siglo XXI para todas las costas españolas, con el objetivo de:
 - Cuantificar los cambios a que están expuestas las costas
 - Entender los procesos que subyacen a esos cambios
 - Ofrecer datos y productos derivados a gestores costeros, autoridades portuarias y políticos de cara a acometer estrategias de adaptación frente al cambio climático

Marco del trabajo:

Parámetros de interés:

- Oleaje (medio y extremo)
- Nivel del mar (medio y extremo)
- Temperatura del agua
- Corrientes
- Salinidad

Ámbito temporal:

- Siglo XX: entender los cambios observados
- Siglo XXI: caracterización de los cambios futuros

Resolución espacial:

- Simulaciones regionalizadas: imprescindible para estudios de impactos locales y regionales

Herramientas empleadas:

- Datos in-situ (PdE) y de satélite
- Simulaciones numéricas: anidados en modelos del IPCC
- Metodología IPCC: reanálisis, simus de control y proyecciones futuras

Análisis de incertidumbre:

- Distintos escenarios de emisiones:
 - B1, Escenario “optimista”
 - A1B, Moderado o probable
 - A2, Escenario “pesimista”
- Distintos modelos globales para el *downscaling* de los forzamientos
- Distintas condiciones de contorno

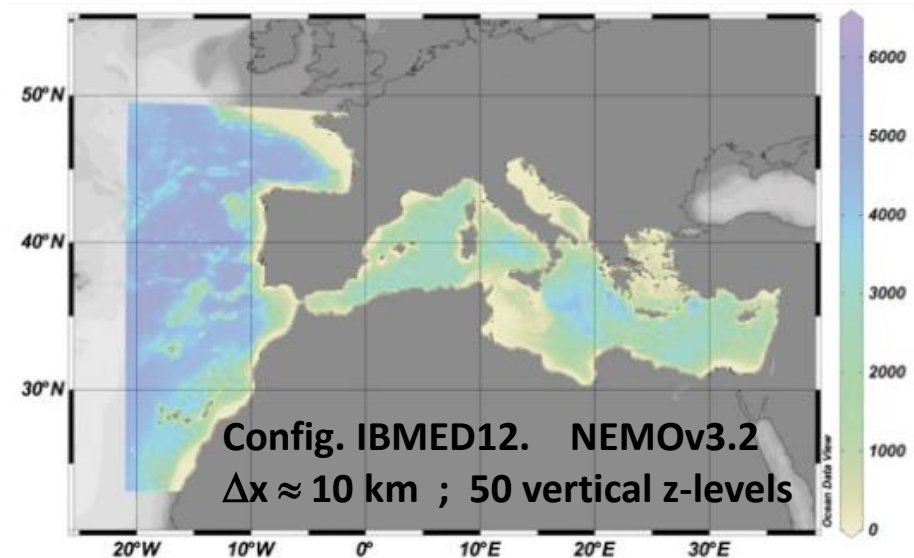
Las simulaciones numéricas (1/2):

Forzamiento atmosférico (para todas las simulaciones):

- Retroanálisis: (1960-2009):
 - modelo RCA3 ($\Delta x = 50$ km): ERA40 y ERA_INTERIM
- Simulaciones de control (1960-2100) y proyecciones (2000-2100):
 - modelo RCA3 ($\Delta x = 50$ km): ARPEGE, HAD3CM-low, HAD3CM-ref, HAD3CM-high, ECHAM5.bajo los escenarios B1, A1B, A2

Simulaciones baroclinas (T, salinidad, corrientes, comp. estérica nivel del mar):

- Modelo empleado: NEMO
- 2 configuraciones: NEMOMED8 (Vanimedat II), IBMED12 (Escenarios)
- Ejecuciones: hindcast + spin-up + simulación de control + proyecciones (escenarios B1, A1B y A2)

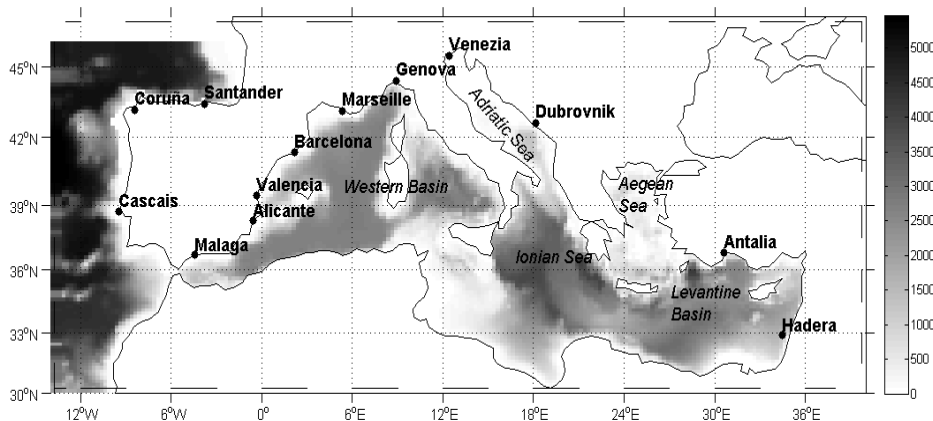


Las simulaciones numéricas (2/2):

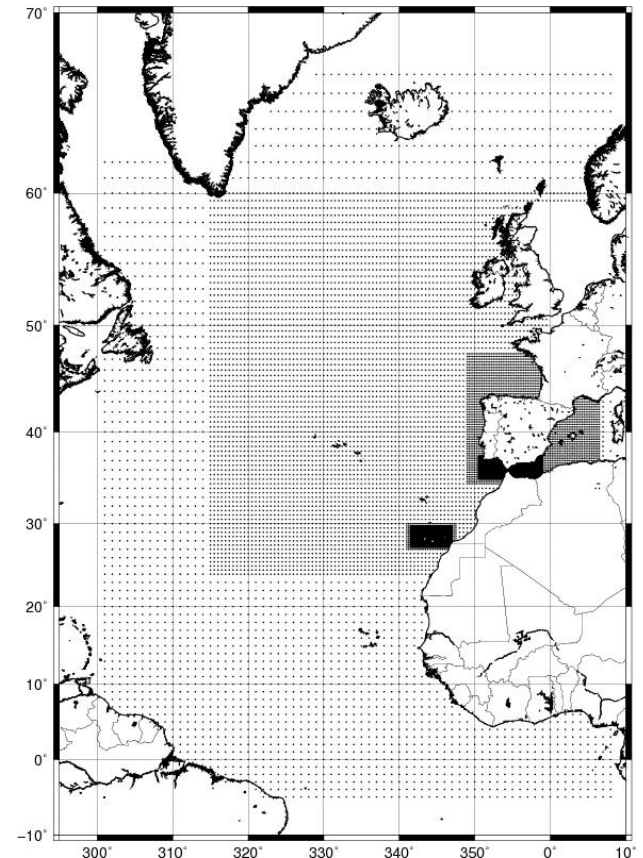
Simulaciones de marea meteorológica y oleaje:

- Mismos modelos que los empleados operacionalmente en Puertos del Estado
- Ejecuciones: hindcast + simulación de control + proyecciones (B1, A1B y A2)

**Modelos para residuos de nivel del mar:
HAMSOM en configuración 2D. $\Delta x \approx 18$ km
Forzamientos de alta frecuencia (1h)**



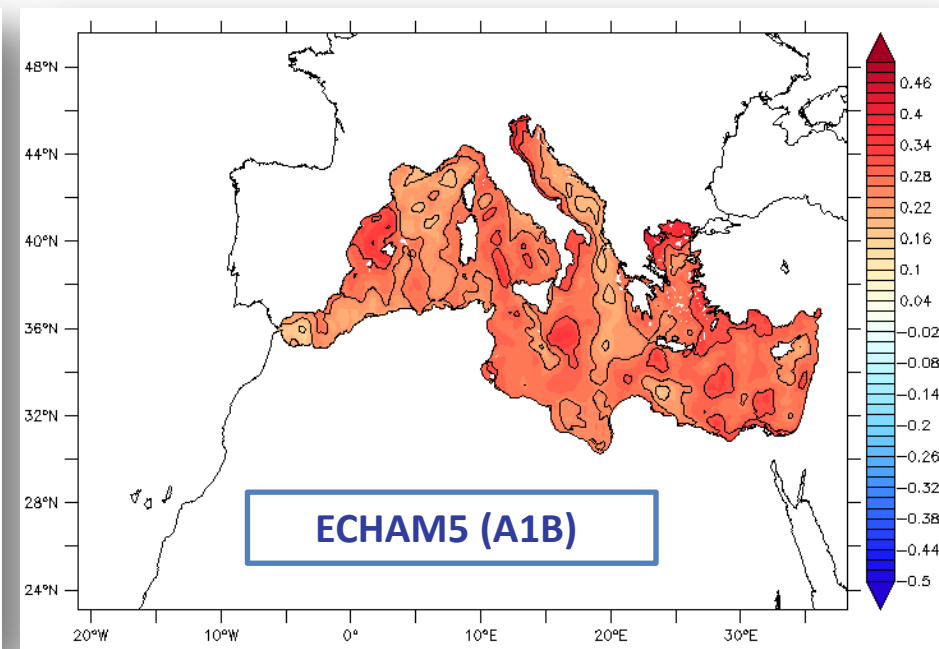
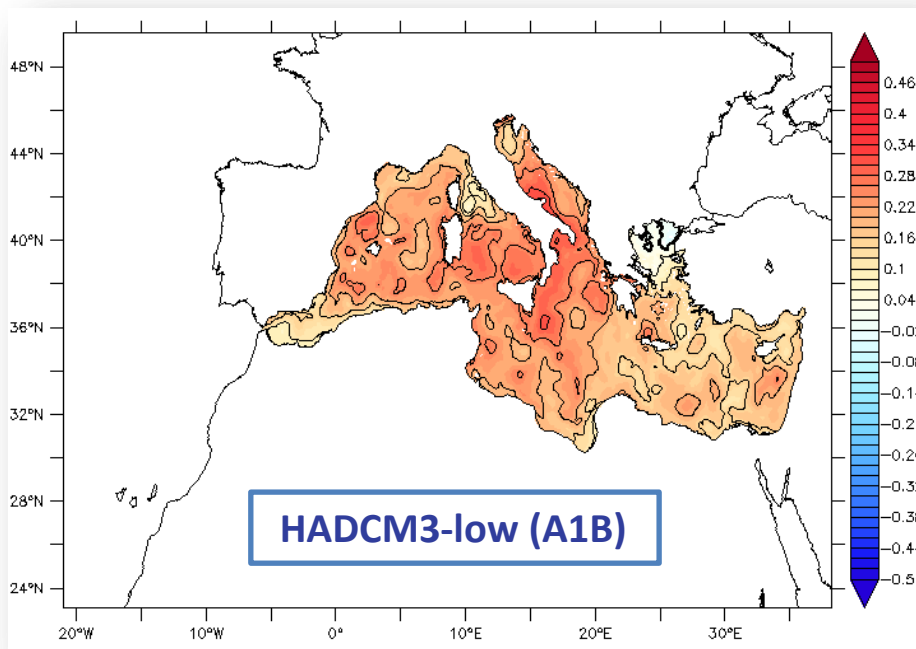
**Modelo de oleaje: WAM. $\Delta x = 2.5-18$ km
Forzamientos de alta frecuencia (1h)**



Proyecciones de SST (1/2):

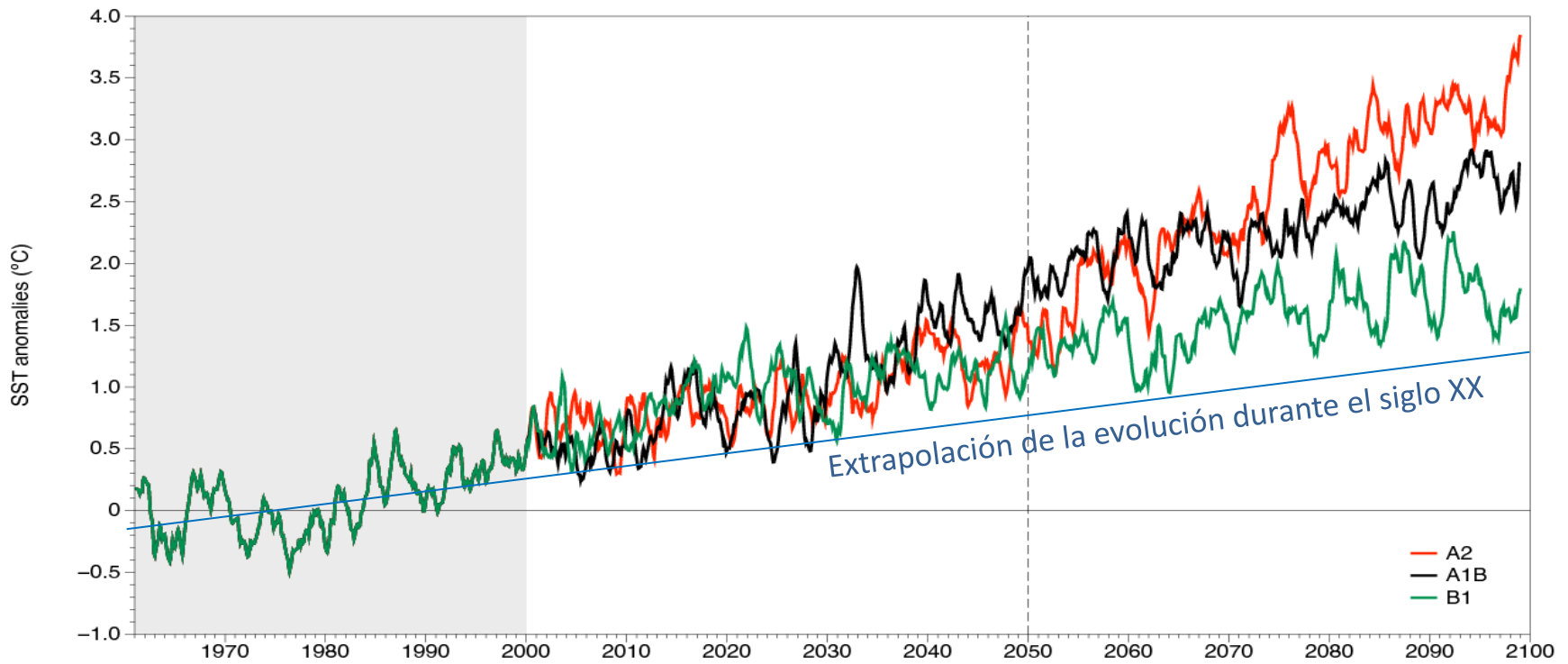
(2000-2050) – (1950-2000)

	Mar Cantábrico	Fachada atlántica	Golfo de Cádiz	Islas Canarias	Alborán y costa de Almería	Mar Catalano-Balear y Baleares
Variación de valor medio	Max: +0,9°C Min: +0,4°C	Max: +0,5°C Min: +0,1°C	Max: +0,8° Min: +0,3°	Max: +1,0°C Min: +0,3°C	Max: +0,6°C Min: +0,6°C	Max: +0,9°C Min: +0,5°C
Variación de percentil 95	Max: +0,9°C Min: +0,9°C	Max: +0,5°C Min: +0,3°C	Max: +1,5°C Min: +0,8°C	Max: +1,1°C Min: +0,6°C	Max: +1,3°C Min: +0,6°C	Max: +1,5°C Min: +1,1°C



Tendencia de SST (en °C/década) en el Mediterráneo para el periodo 2000-2050

Proyecciones de SST (2/2):



Evolución hasta 2100 de la SST promediada sobre toda la cuenca Mediterránea bajo distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero:

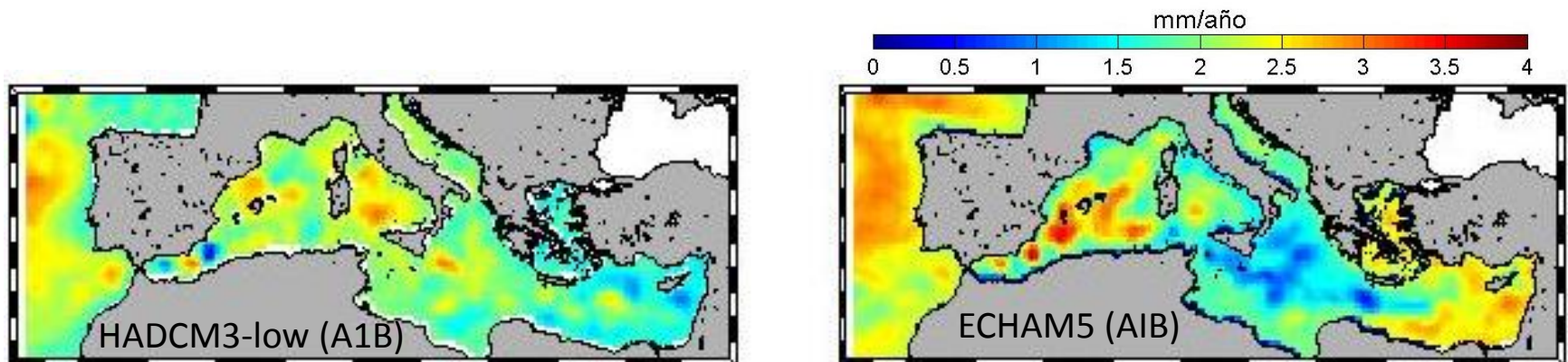
- **B1:** un escenario 'optimista'
- **A1B:** considerado en su día como el más probable, las emisiones presentes están superando con creces dicho escenario
- **A2:** considerado en su día como 'pesimista', las emisiones presentes también lo están superando

Proyecciones de nivel del mar (1/2):

La evolución del nivel medio del mar total es el resultado de tres procesos:

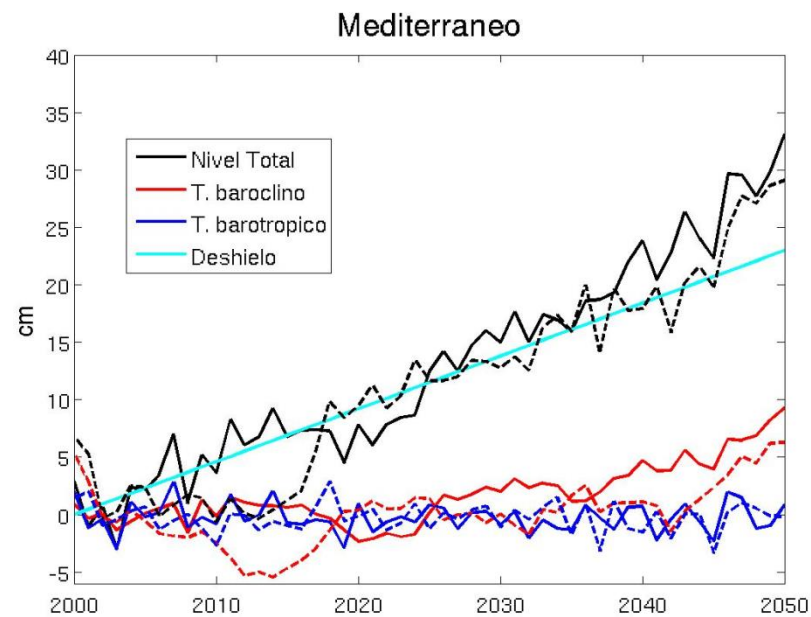
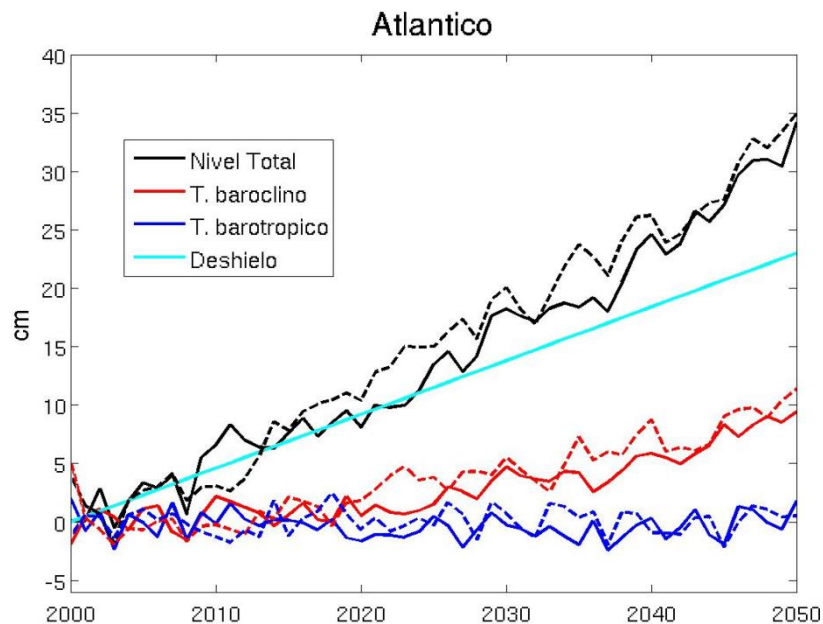
- El estérico: dilatación/contracción del agua debida a cambios de densidad (fundamentalmente a cambios de temperatura) → Simus baroclinas
- El efecto mecánico de la presión atmosférica y viento → Simus barotropas (en nulo a escala global, pero no a escala regional)
- El aumento de agua en los océanos debido a la fusión de hielos continentales → se obtiene de modelos criosféricos globales

Los cambios presentan una elevada variabilidad espacial debido a la componente estérica → Para estudios de impactos locales es fundamental contar con modelos baroclinos regionales y no globales



Tendencias de nivel del mar (sin comp. de deshielo) para el periodo 2010-2050

Proyecciones de nivel del mar (2/2):

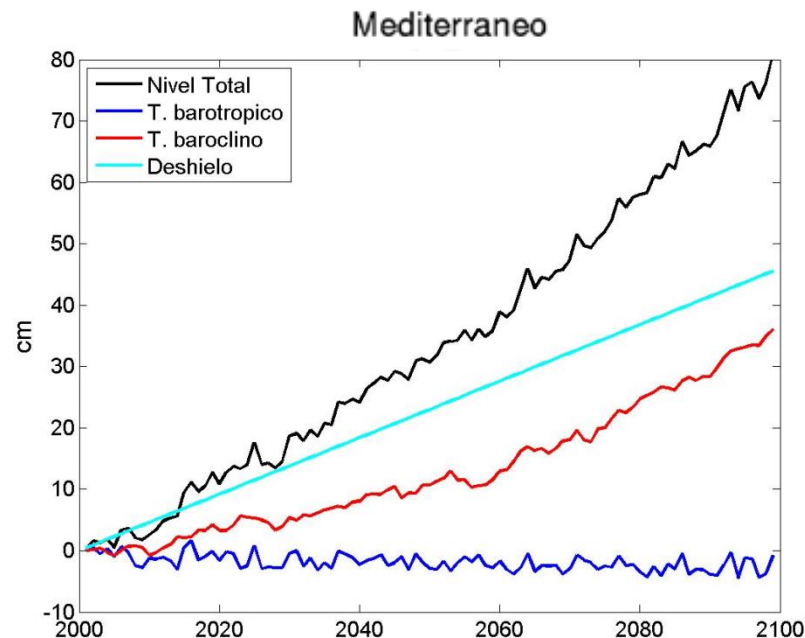


Incremento del nivel medio del mar (A2):

- Hasta 2050: entre 15 y 35 cm

- Hasta 2100: entre 45 y 80 cm

- La magnitud total depende mucho de la contribución del deshielo
- Componente atmosférica casi irrelevante
- La componente baroclina es la que aporta la variabilidad regional

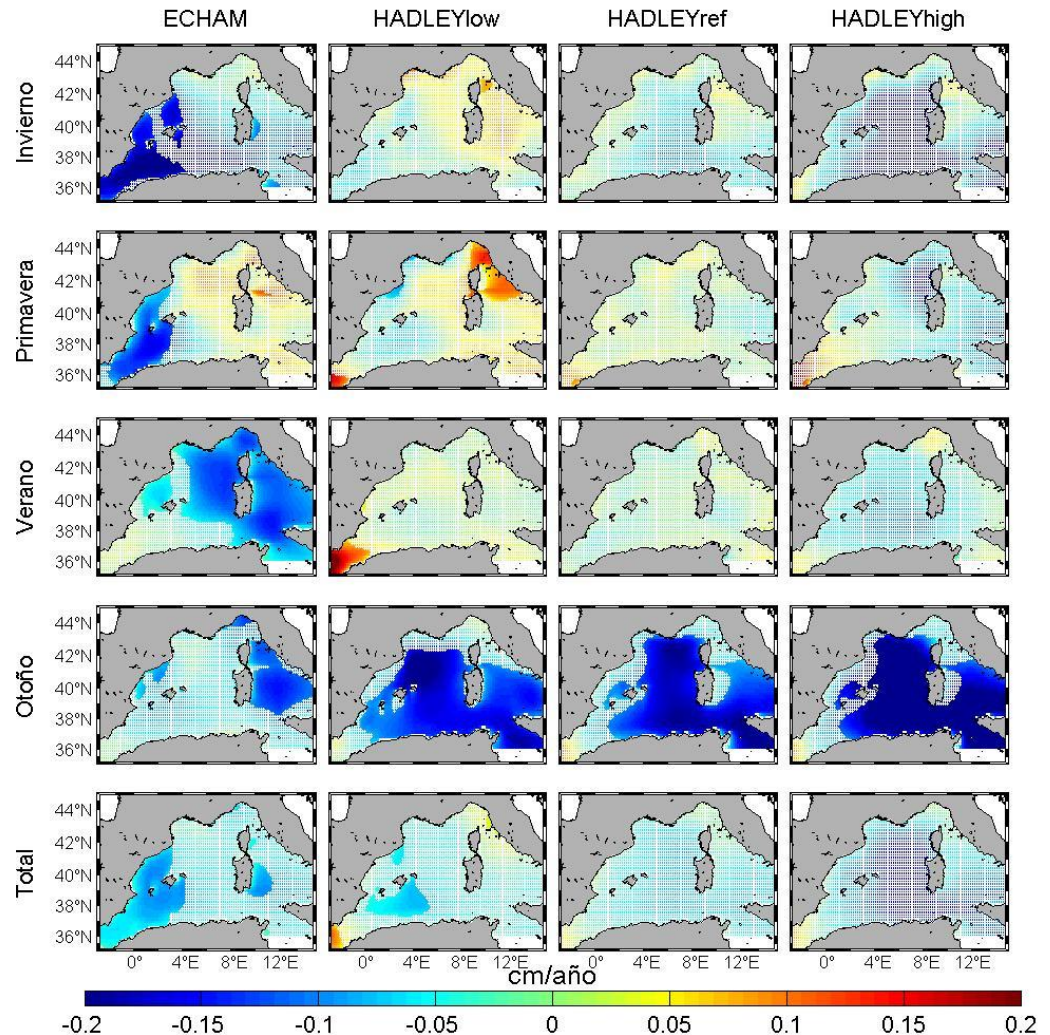


Proyecciones de oleaje (1/2):

Tendencias estacionales y totales de Hs media para el siglo XXI (escenario A1B). Las zonas difuminadas corresponden a tendencias no significativas al nivel de confianza del 95%.

Disminución de la altura de ola significativa: -9% de reducción para el promedio anual, concentrada en otoño-invierno (-20%).

Cerca de costa los cambios proyectados son menores, al menos en valor absoluto.



Productos / Diseminación (1/4)

- Datos y productos de interés para Puertos: disponibles en la web de Puertos del Estado

(<http://www.puertos.es>).

- Datos de otras simulaciones, reconstrucciones y otros datos de interés científico: disponibles en la web del IMEDEA

(<http://marine-climate.uib.es>).

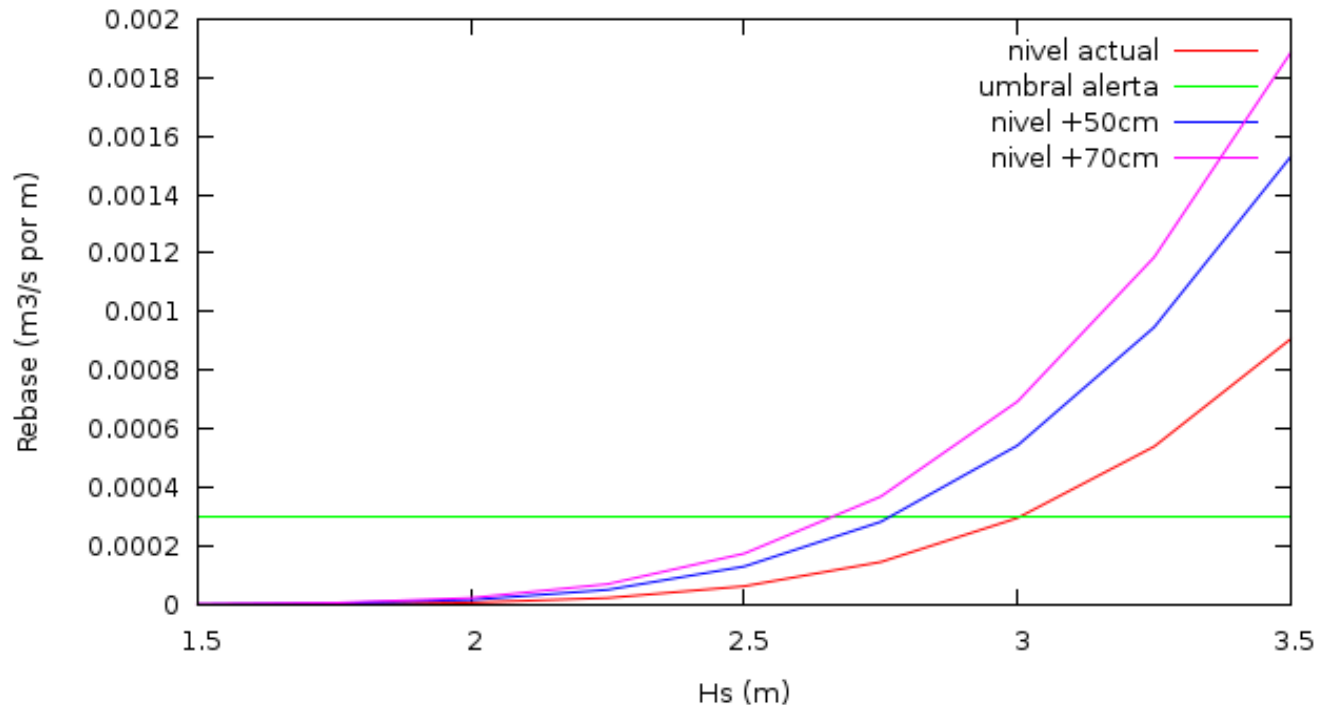
- Aparte de la producción científica... más de 30 artículos publicados en revistas de primera línea.
- En preparación: libro que que, a la manera del IPCC, contendrá resúmenes ejecutivos para cada parámetro de interés.
- Datos de las simulaciones: disponibles a través de la web de AEMET
(http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)

Impactos (estudios en curso)

Impacto sobre los puertos:

Ejemplo de impacto directo: rebase en el dique sur de Barcelona:

- Sistema de alerta operado por Puertos del Estado.
- A partir de un determinado nivel de rebase, se activa el plan de contingencia
- Al subir el nivel medio, cambia el rebase.



Conclusiones

→ Se dispone de las herramientas necesarias (conjunto completo de escenarios climáticos regionalizados) para abordar los estudios de impactos con garantías (i.e., con estimas robustas de las incertidumbres).

Conclusiones escenarios climáticos

- Aumentos de temperatura superficial del mar
- Se prevé un aumento notable del nivel medio del mar.
- Ligera reducción del régimen medio oleaje. En alguna zona puede darse un aumento de los extremos, pero dentro del rango de incertidumbre.

Trabajo futuro

- Colaboración con AA.PP. En estudios de impactos
- Actualización permanente y mejora de información de escenarios
- Necesidad de incluir resultados de clima en actividad de diseño