



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN



# IHCantabria

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

I+D+i para un desarrollo sostenible

## Seminario:

“Impactos y adaptación al cambio climático en el sector del seguro”

27-28 de Noviembre de 2017

## CAMBIO CLIMÁTICO Y EXTREMOS EN LA COSTA

Paula Camus, Cristina Izaguirre, Iñigo J. Losada

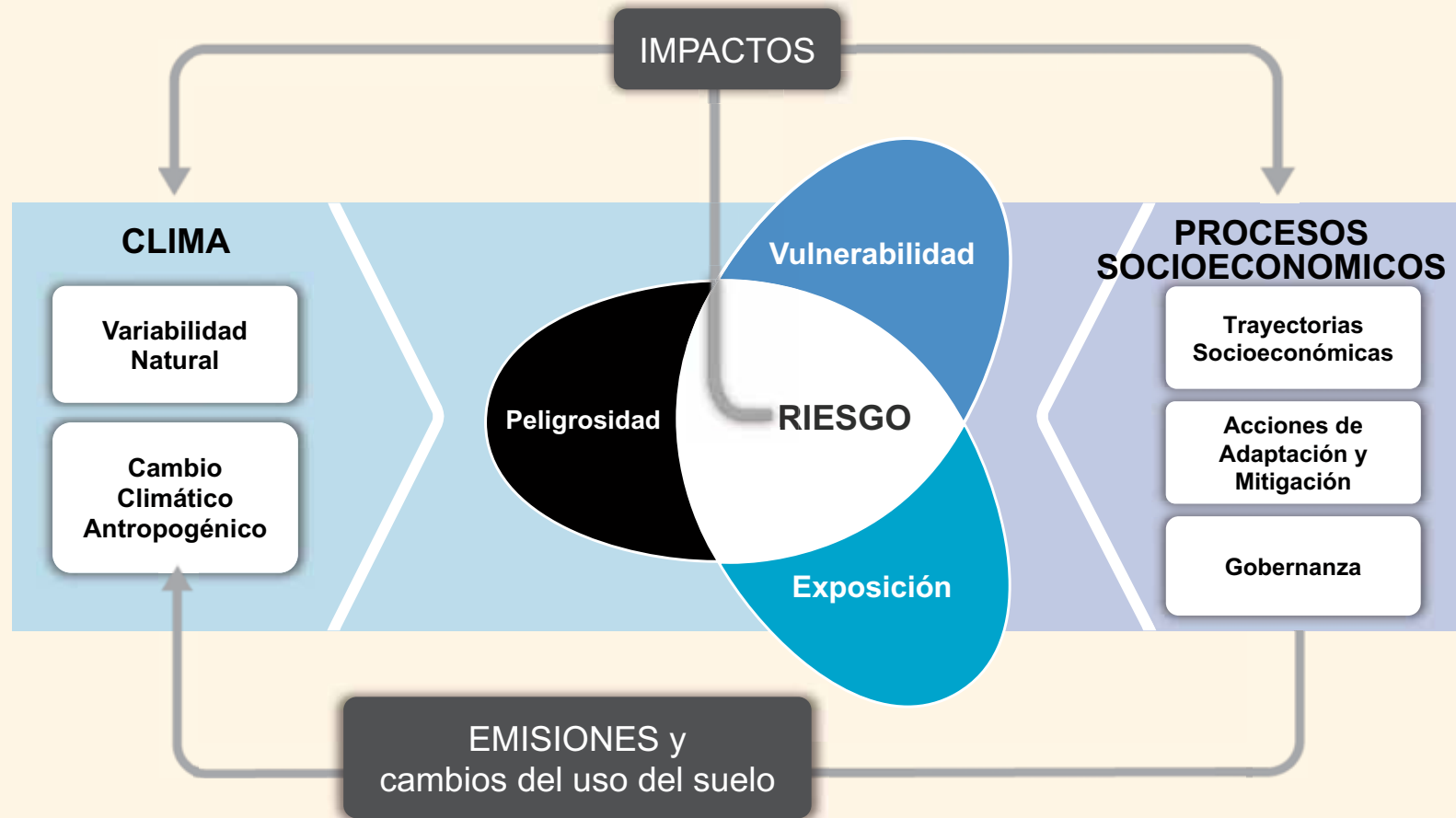
[losadai@unican.es](mailto:losadai@unican.es)

## IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los sistemas costeros son particularmente vulnerables al aumento del nivel medio del mar y a los cambios en la intensidad y frecuencia de las inundaciones.

La **inundación permanente en zonas bajas** y la **erosión en playas** son dos de los impactos del cambio climático más preocupantes.







Baja exposición y baja vulnerabilidad



Alta exposición y vulnerabilidad media



Alta exposición y alta vulnerabilidad



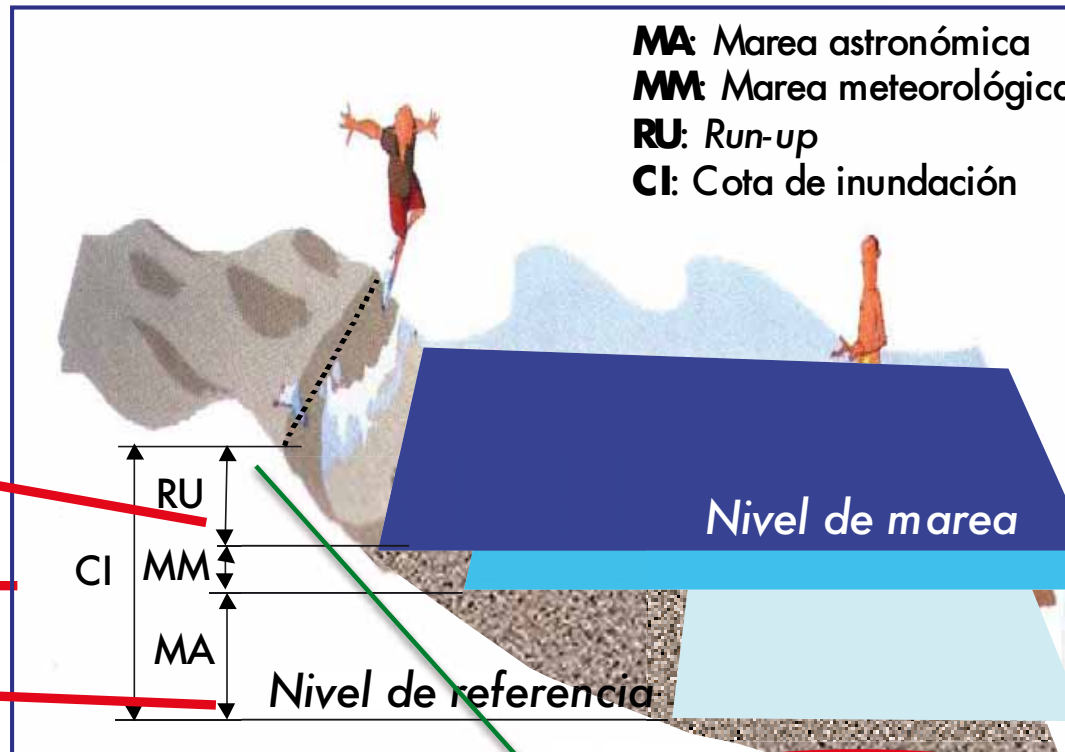
## AUMENTO RELATIVO DEL NIVEL DEL MAR = SLR REGIONAL + Subsistencia/elevación

$$CI = MM + MA + RU + SLR$$

### Inundación:

Efecto combinado !!!

- Olas
- Viento
- Presión atmosférica
- Nivel medio del mar

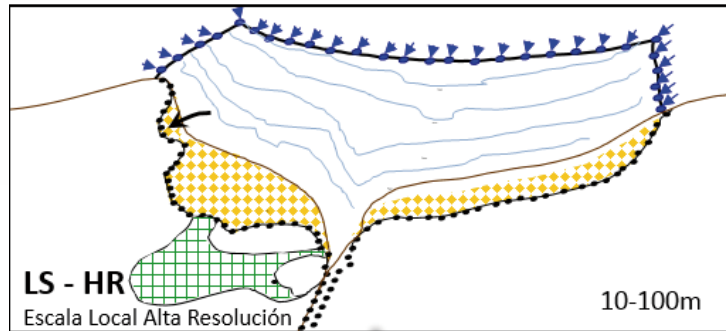


Precipitación + Caudal

(Subsistencia/elevación)

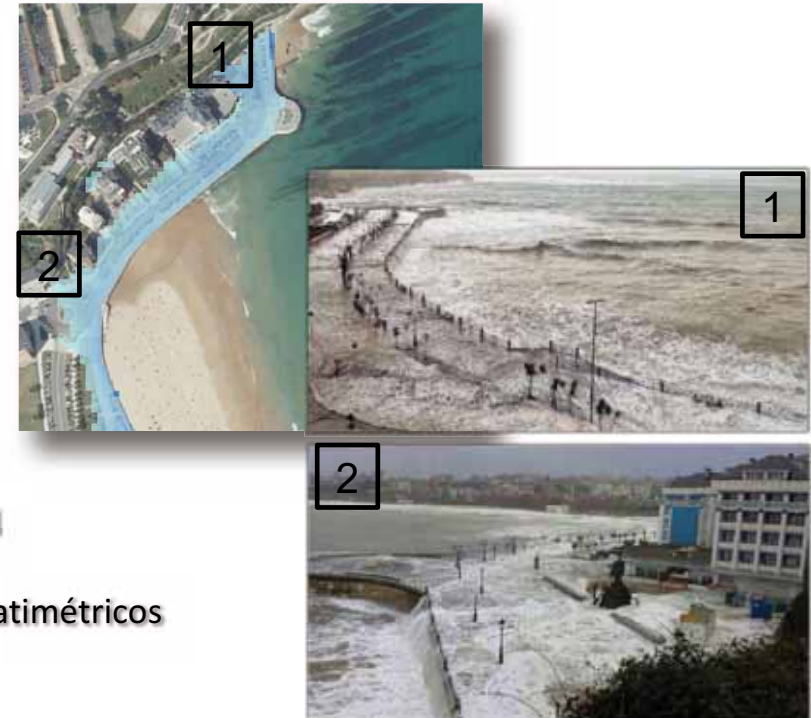


## ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA A APLICAR:



- 1) Datos de partida para la caracterización de las dinámicas
- 2) Modelización de los procesos en la zona de rompientes
- 3) Modelización de la inundación en tierra
- 4) Tipo de análisis
- 5) Escenarios de cambio climático

Calidad  
datos  
topo-batimétricos

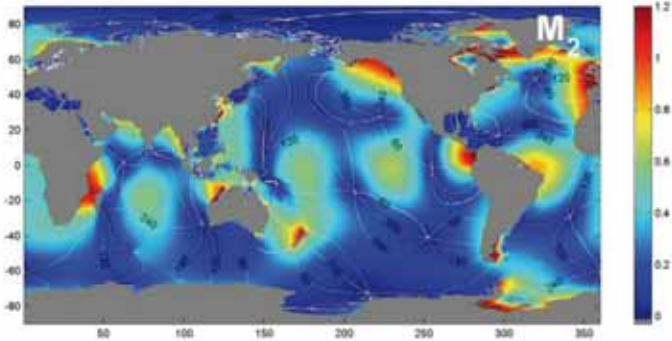


## 1. BASES DE DATOS DE LAS DINÁMICAS GENERADORAS DE LA INUNDACIÓN COSTERA

### Nivel del mar

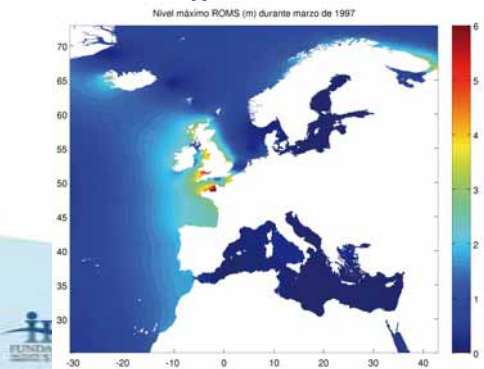
#### Marea Astronómica (MA)

Global Ocean Tides: GOT



#### Marea Meteorológica (MM)

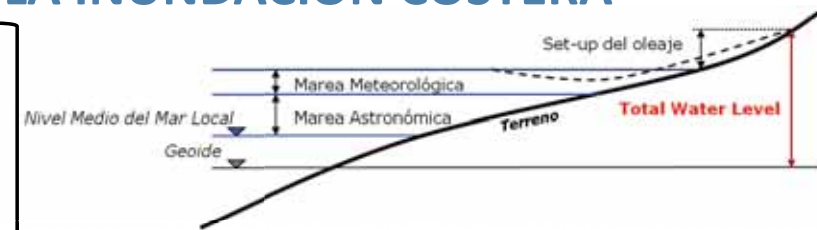
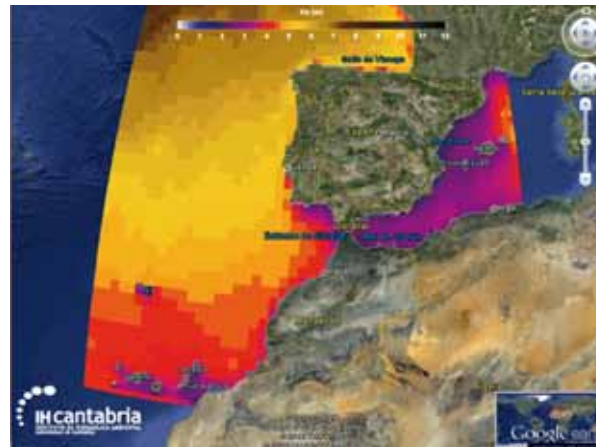
Global Ocean Surges: GOS



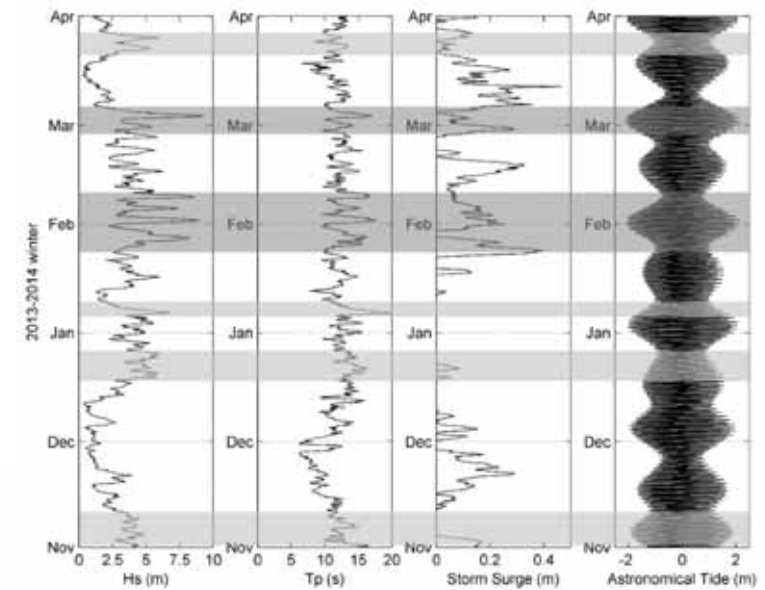
### Oleaje

#### Oleaje en costa

Downscaled Ocean Waves:  
DOW

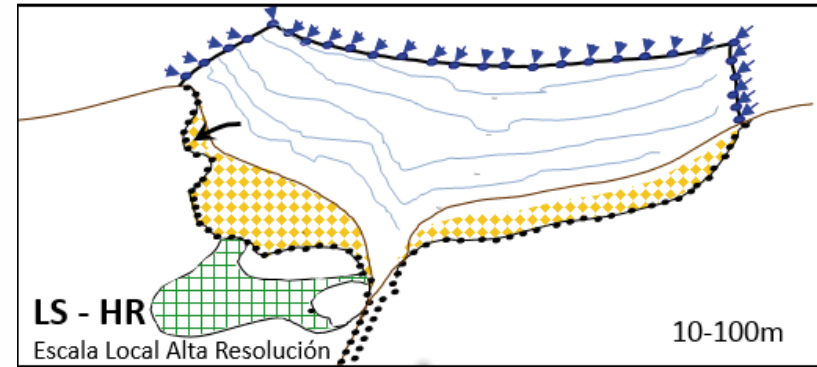


### EXTREMOS DE COTA DE INUNDACIÓN: Combinación de condiciones multivariadas

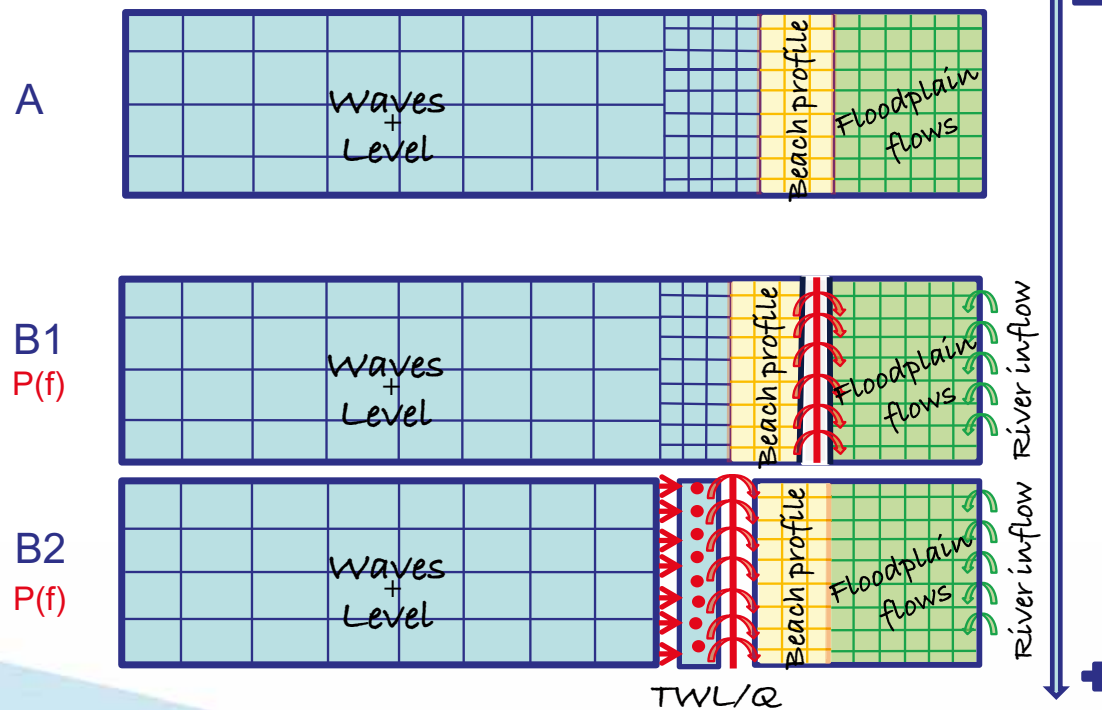


## 2. MODELIZACIÓN DE LA ZONA DE ROMPIENTES

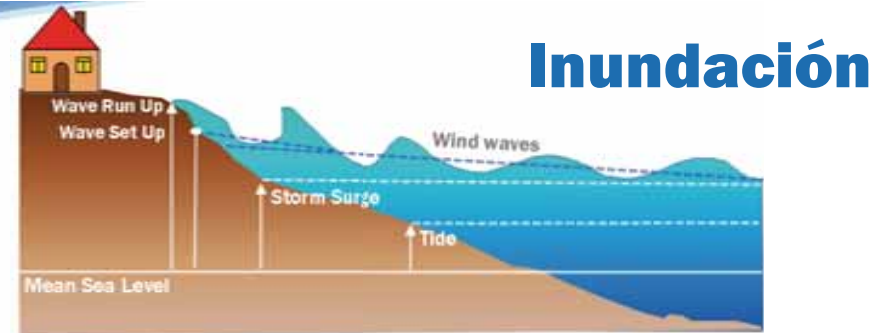
Estrategias numéricas posibles:



Escala espacial



### 3. MODELIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN EN TIERRA



$$CI = MM + MA + Setup + SLR$$

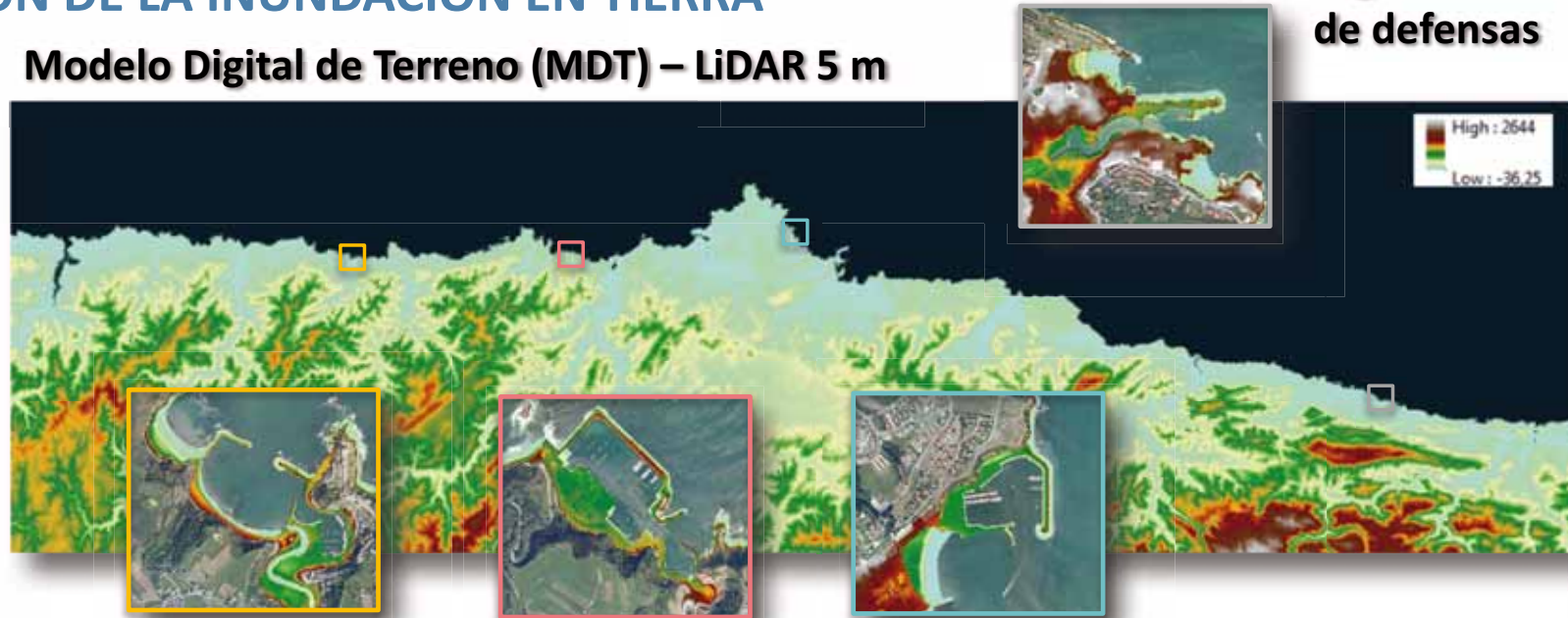


## 3. MODELIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN EN TIERRA

### EXPOSICIÓN

Modelo Digital de Terreno (MDT) – LiDAR 5 m

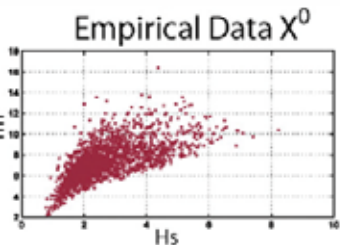
Digitalización  
de defensas



Línea de costa  
de alta  
resolución

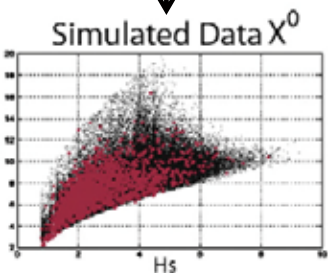
## 4. TIPO DE ANÁLISIS

Dos niveles de complejidad:



### 1) Datos históricos

Simulación estocástica



### 2) Generación estocástica

La simulación estocástica o sintética de eventos sirve para incrementar la población de extremos. Esto nos permite mejorar la definición de periodos de retorno

### Determinación de un periodo de retorno:

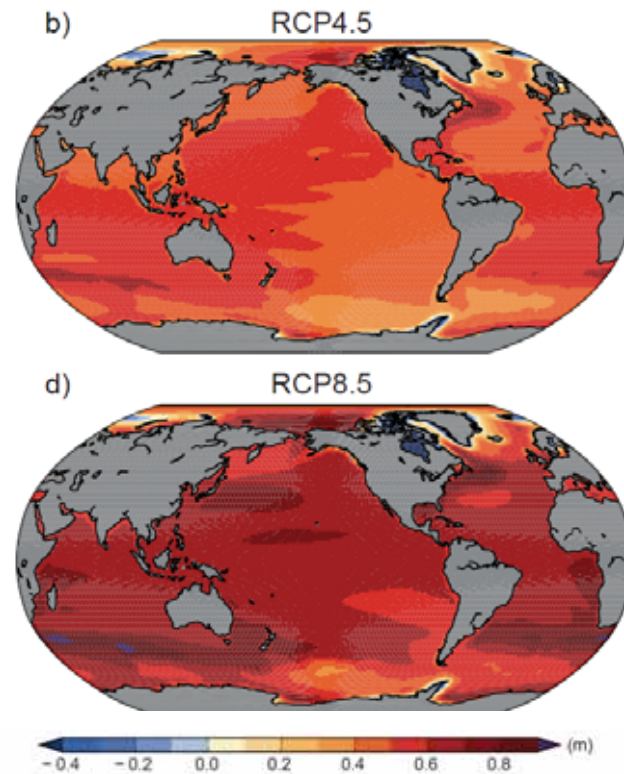
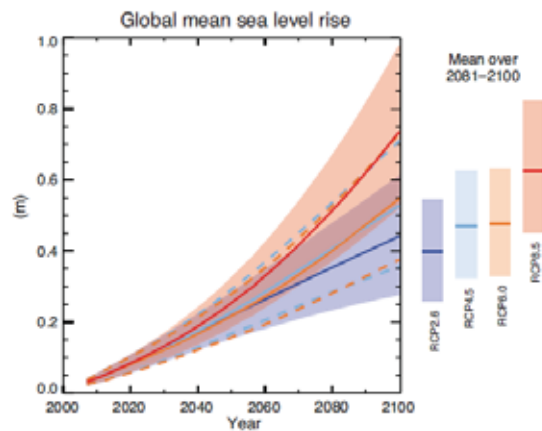
1) Condiciones hidrodinámicas: TWL o Q de 100 años de periodo de retorno, o incluso una combinación estadística de ambos

2) Impacto: inundación de 100 años de periodo de retorno

## 5. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

### Proyecciones Regionales de Nivel Medio del Mar

Slangen et al. (2014)



[IPCC, AR5, 2013]. Ensemble mean regional relative sea level change (metres) evaluated from 21 CMIP5 models between 1986-2005 and 2081-2100.

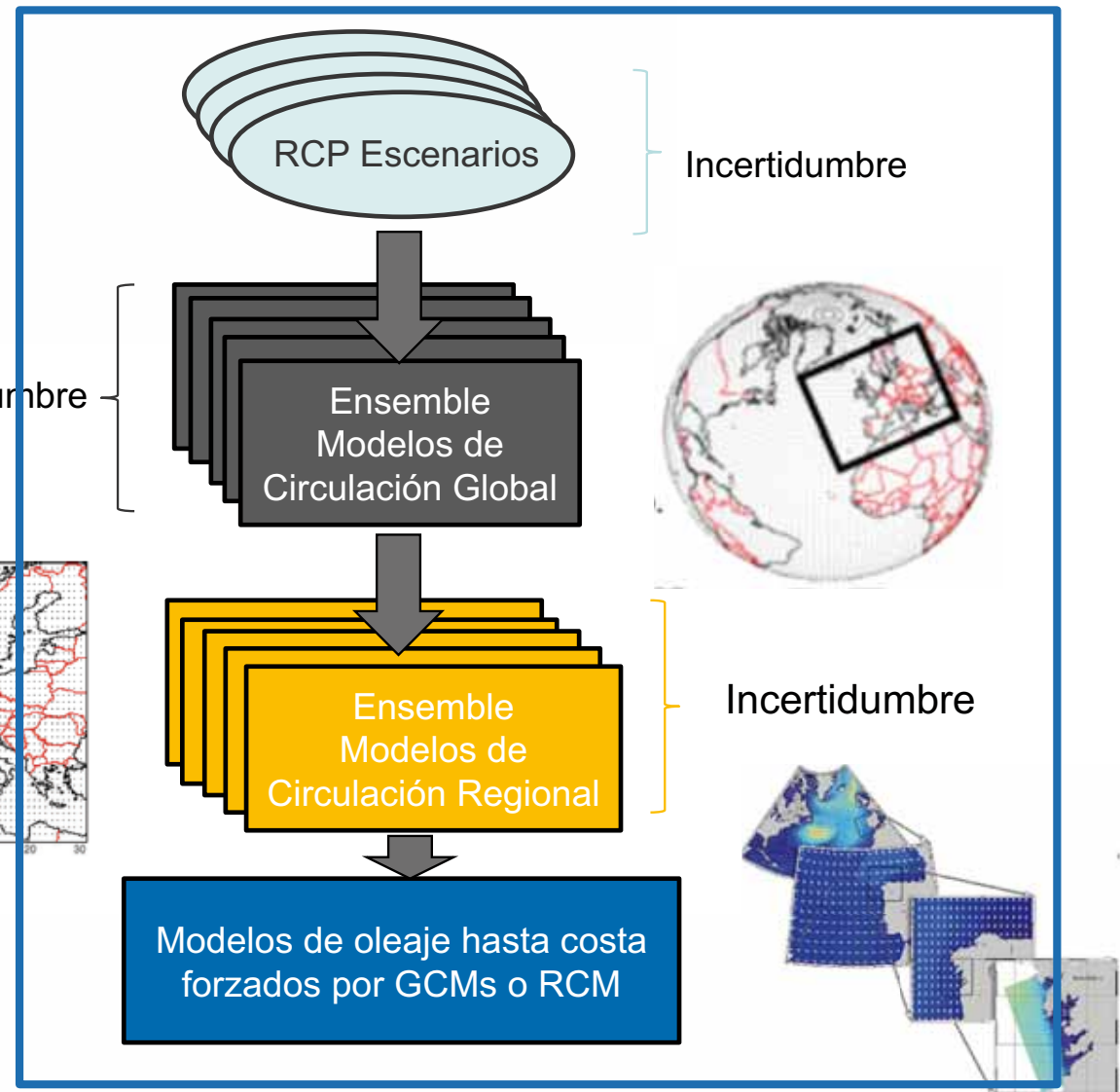
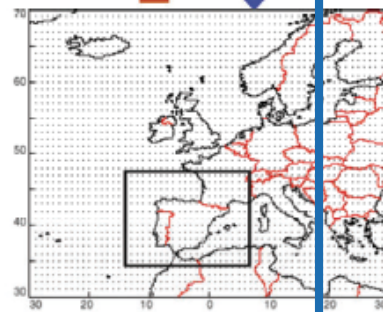
## 5. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

### Proyecciones de Oleaje

#### DOWNSCALING ESTADÍSTICO

Relaciona oleaje local con predictores atmosféricos de los GCMs

$$Y = f(X)$$



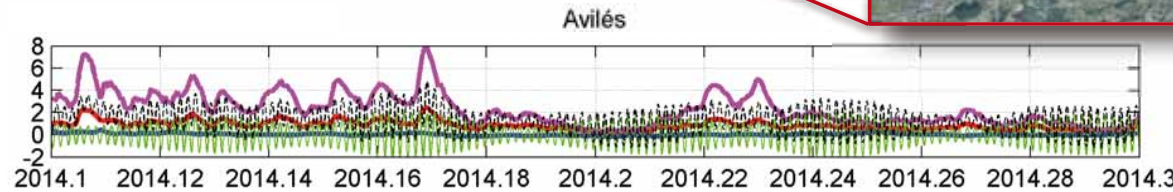


## METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INUNDACIÓN COSTERA: APLICACIÓN EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

### DINÁMICAS GENERADORAS DE LA INUNDACIÓN COSTERA



MA Setup  
MM Hs  
TWL



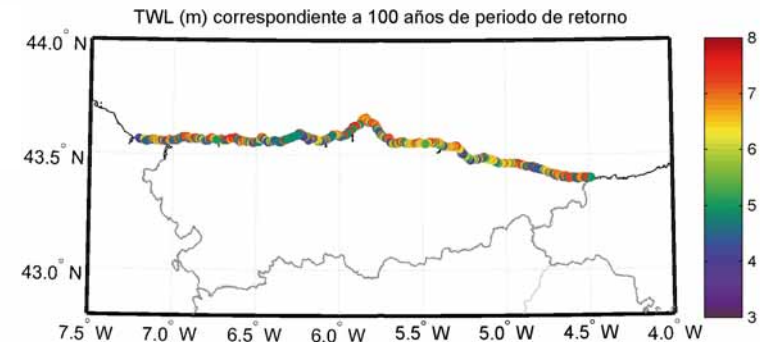
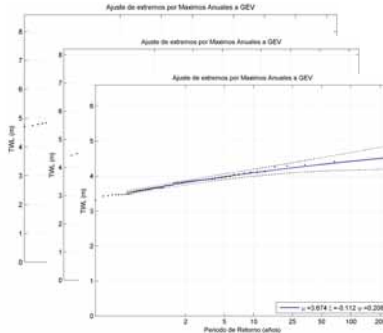
$$Setup = \alpha \sqrt{H_S L_0} \quad (\text{Stockdon et al. 2006})$$

$\alpha = 0.04 \rightarrow$  Playas

$\alpha = 0.08 \rightarrow$  Puertos/Acantilados

CALIBRACION Temporal 4 Feb 2014

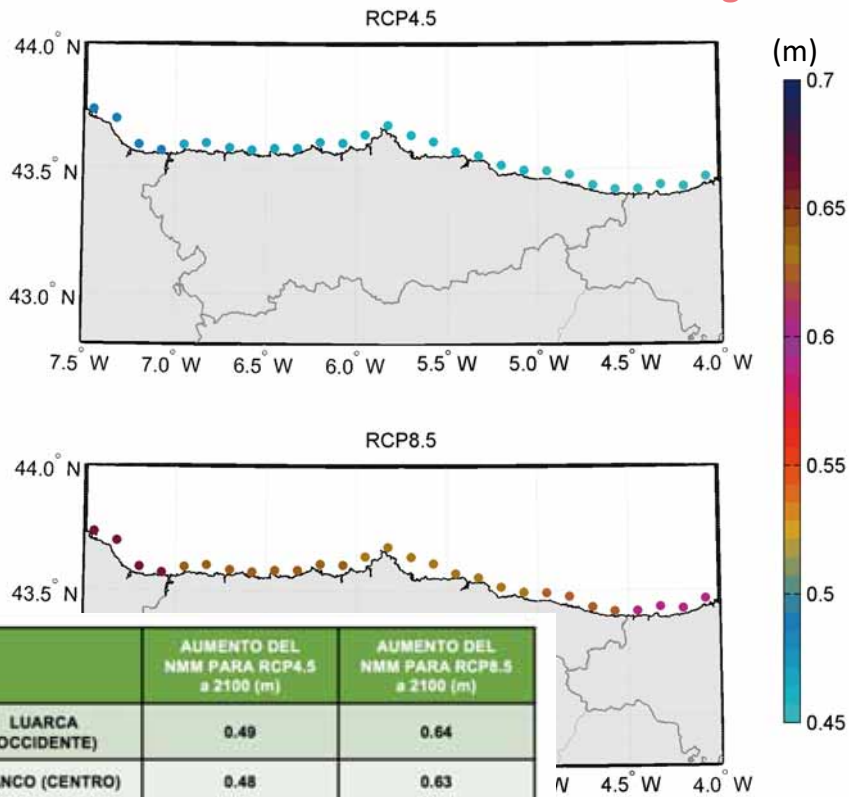
Régimen  
Extremal  
(GEV)



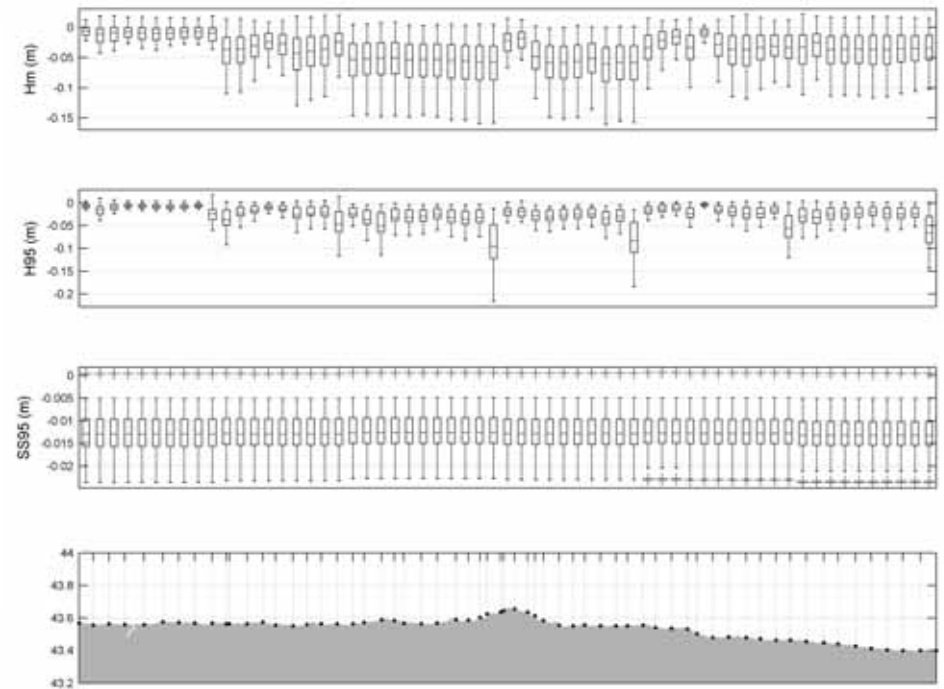
## CAMBIO CLIMÁTICO

### PROYECCIONES DE AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

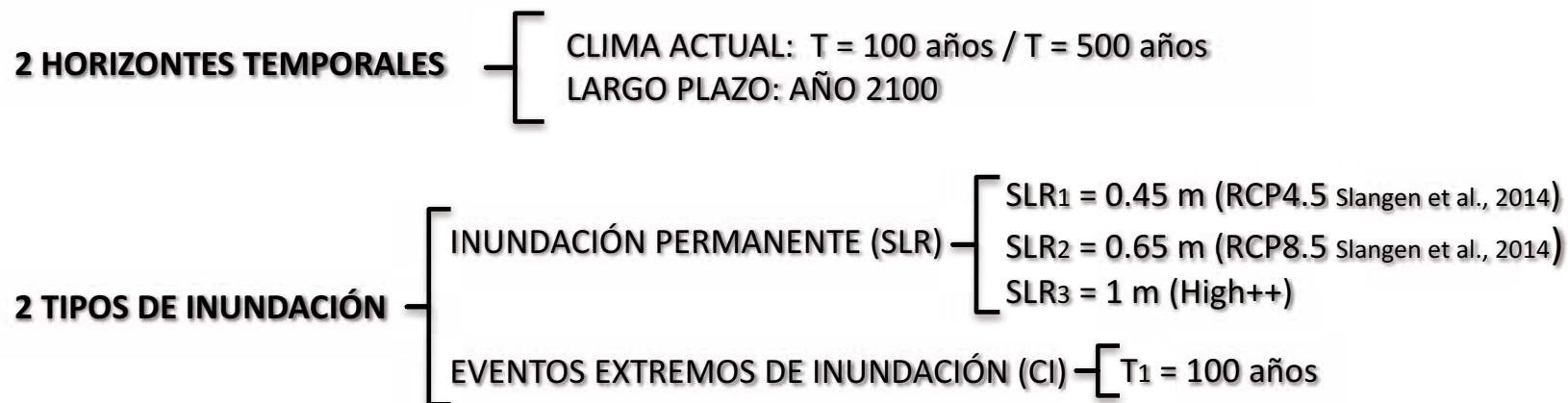
Slangen et al. (2014)



### PROYECCIONES DE OLAJE: CAMBIOS EN $H_m$ , $H_{s95}$ (m) PROYECCIONES DE MAREA METEOROLÓGICA: CAMBIOS EN $MM_{95}$ (m)



## ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO



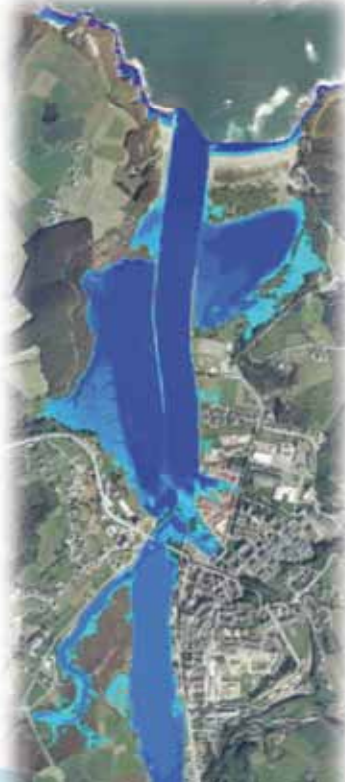
Año horizonte	Tipo de inundación	Escenario	Escenarios climáticos
Actual	CI	E1	T1
2100	SLR	E5	SLR3
	CI	EL6	SLR1+T1
		EL8	SLR1+T1

## MODELADO DE LA INUNDACIÓN

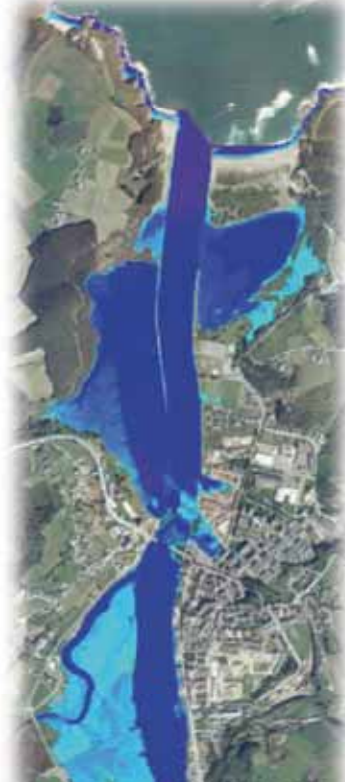
### RFSM-EDA

(Rapid Flood Spreading Method - Explicit Diffusion wave with Acceleration term)

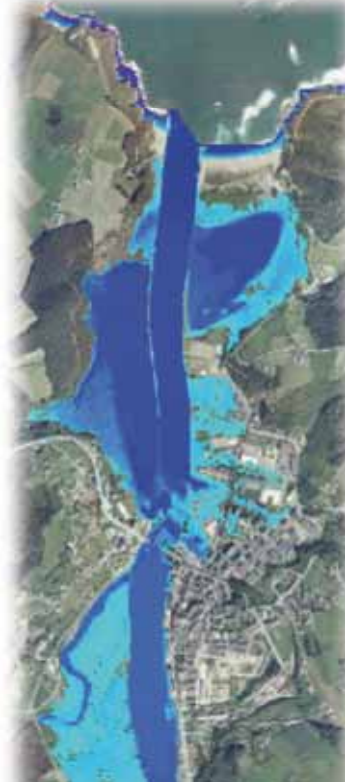
NAVIA



E1 - CLIMA PRESENTE  
T=100



E5 - H=2100  
SLR=1 m



E6 - H=2100  
T=100 + SLR=0.45\* m

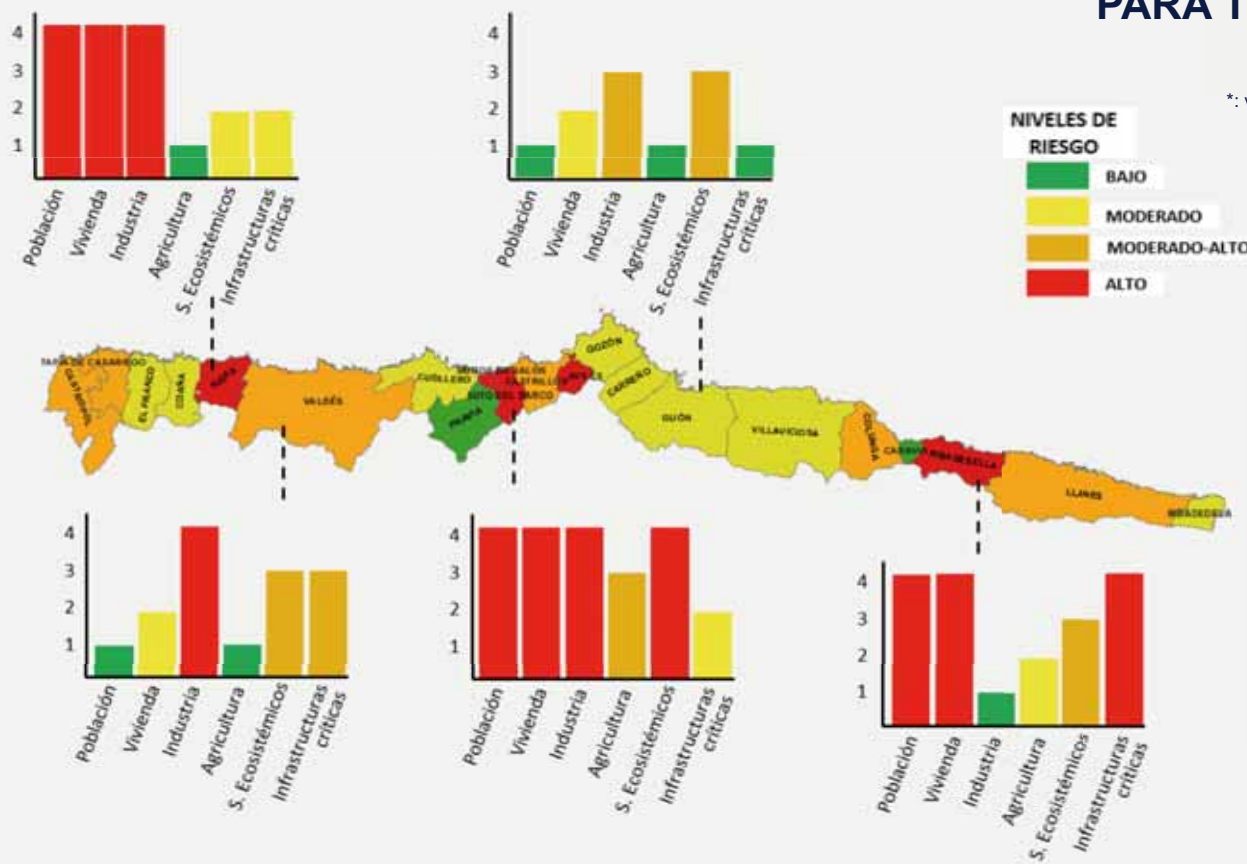


E8 - H=2100  
T=100 + SLR=0.65\* m

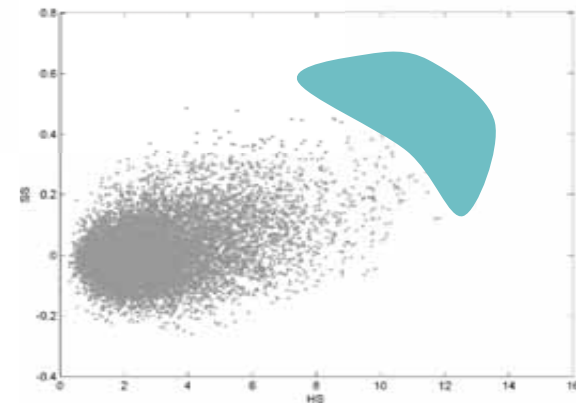
## ANÁLISIS INTEGRADO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

### RIESGO INTEGRADO PARA $Tr=100 + SLR=0.65^* \text{ m}$ (RCP8.5) a 2100

\*: valor medio en Asturias modificado localmente



## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO CON GENERADOR ESTOCÁSTICO



### OBJETIVOS:

- Incrementar la población extremos multivariados
- Caracterización probabilística del impacto (Inundación)

Mediante:

- 1) Modelado de la dependencia de los extremos multivariados (cópulas permite una representación flexible de fenómenos complejos)
- 2) Metodologías de downscaling híbrido para reducir el esfuerzo computacional del impacto por extremos multivariados

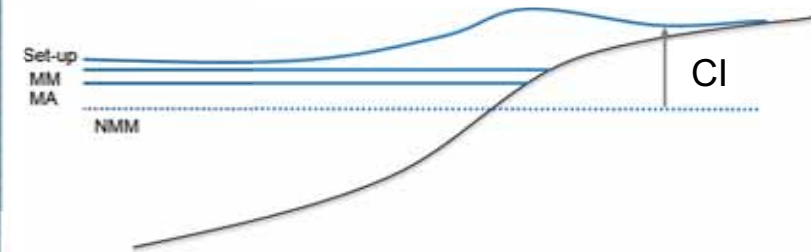
Condiciones climáticas históricas  
Oleaje: Hs, Tm, Dir  
Nivel: MM, MA

GENERADOR ESTOCÁSTICO  
Condiciones climáticas sintéticas  
(Hs, Tm, Dir, Nivel)

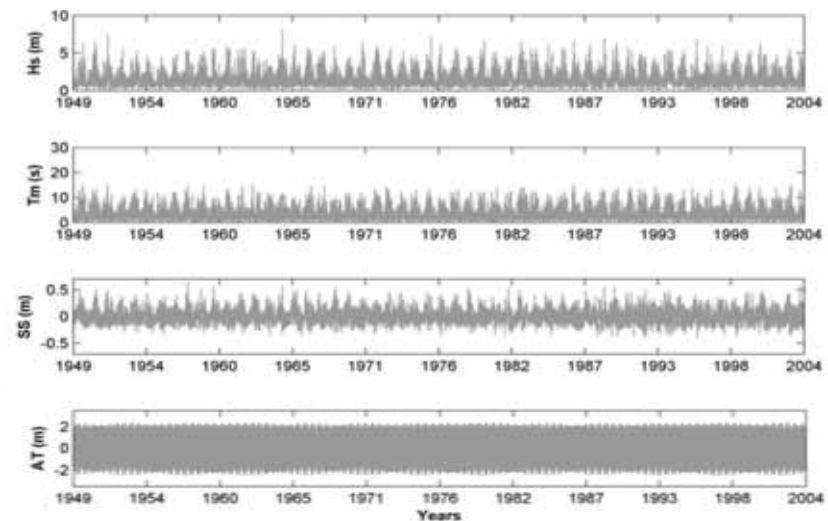
Selección casos  
(Hs, Tm, Dir, Nivel)

Modelo de inundación costera  
(cota/área de inundación)

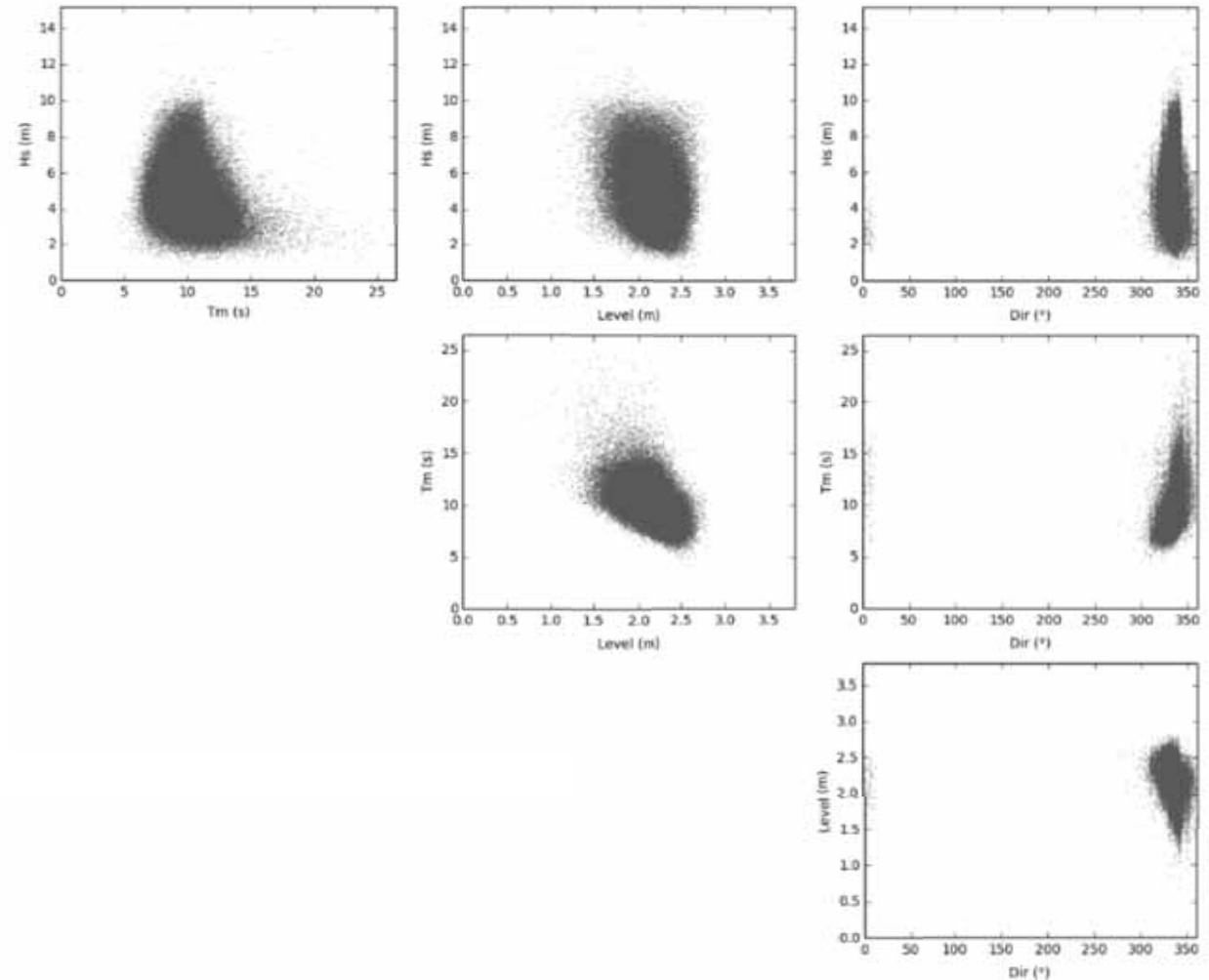
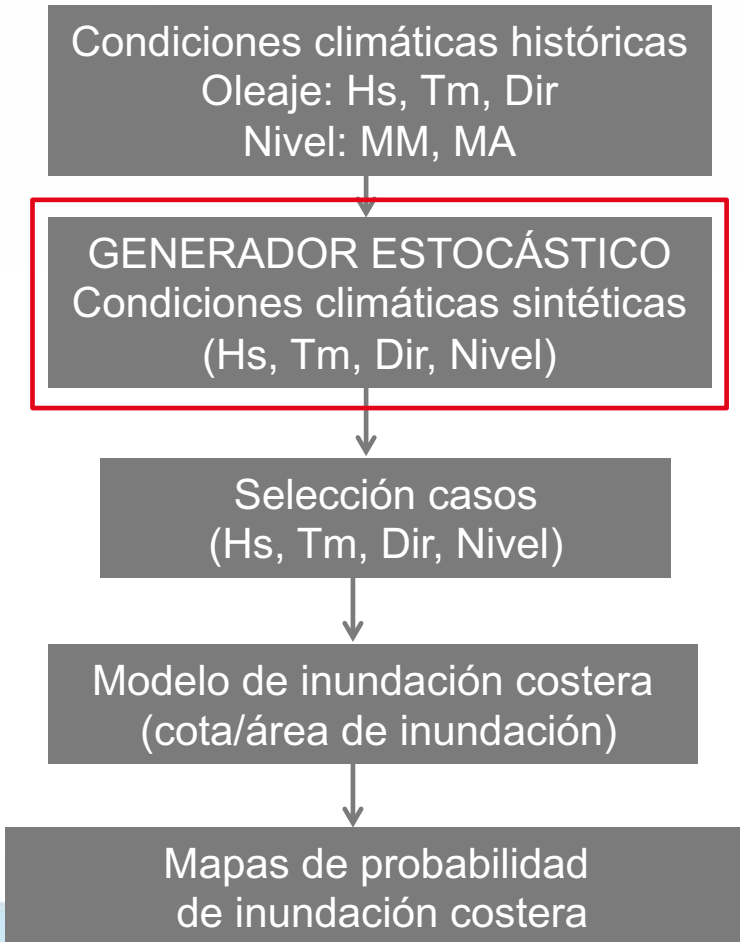
Mapas de probabilidad  
de inundación costera



Condiciones climáticas históricas

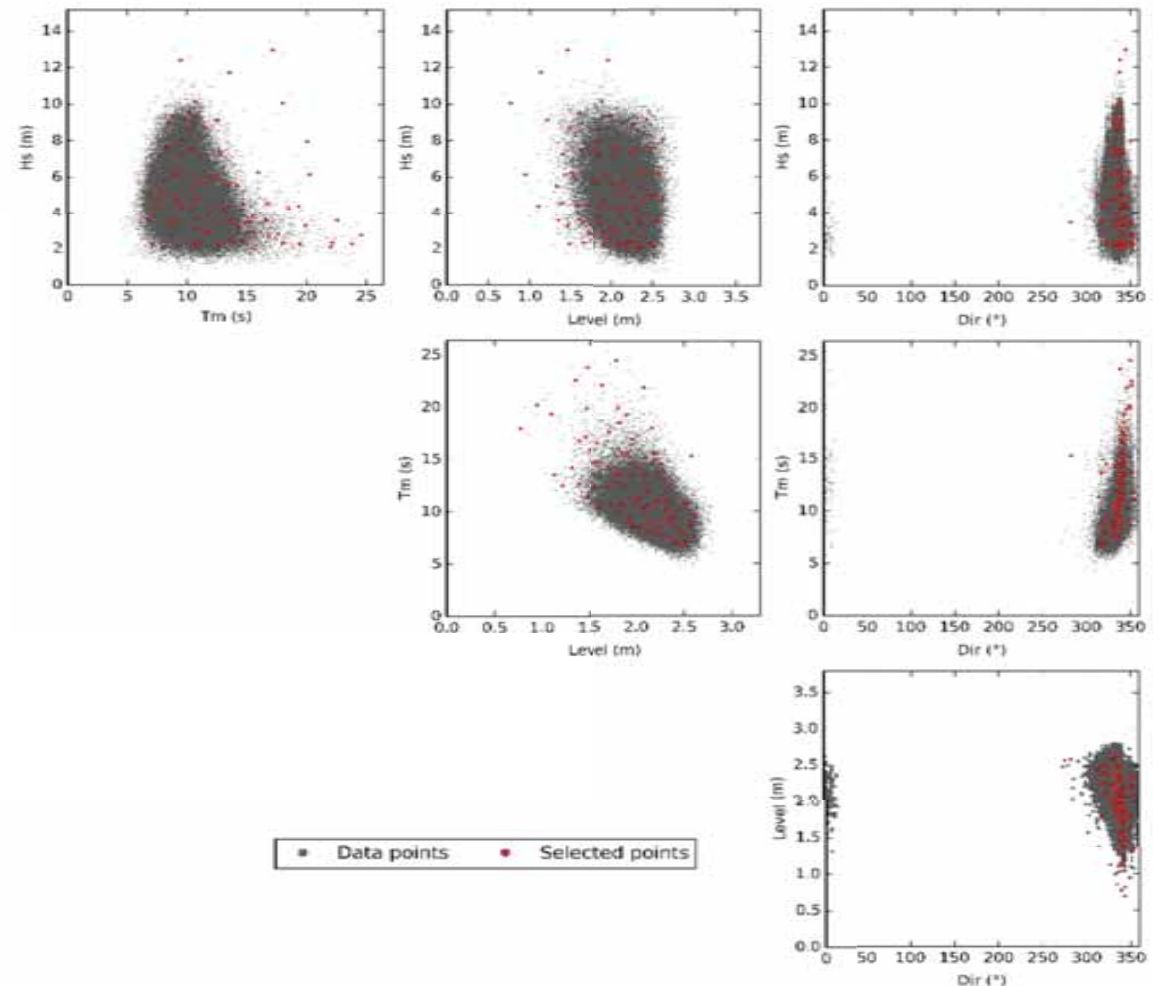
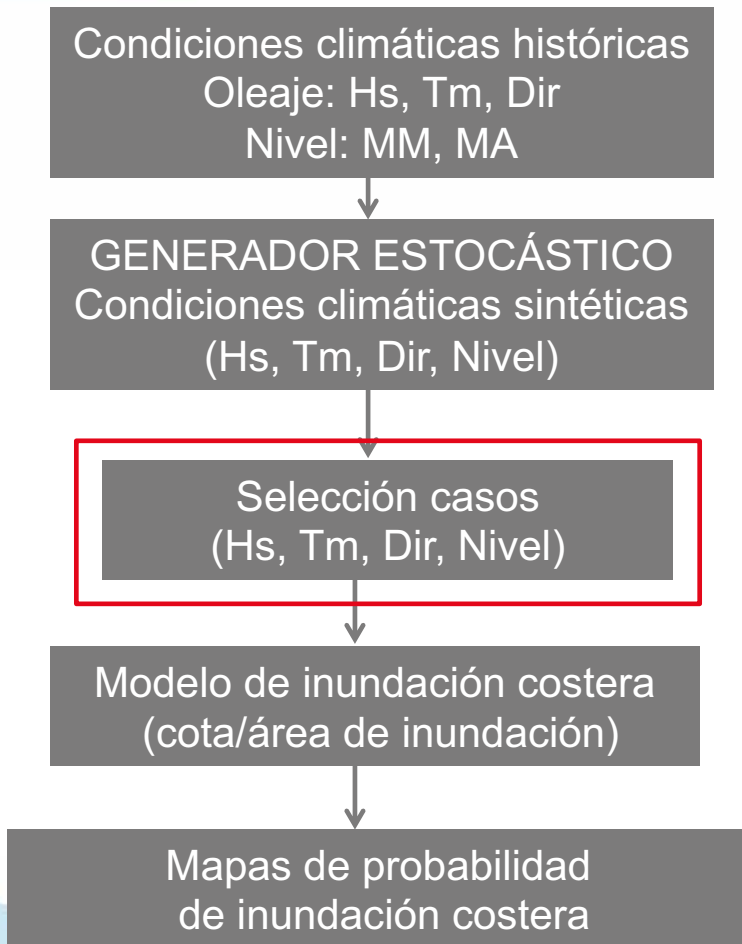


10.000 años de simulaciones de máximos diarios





Selección de un número reducido de condiciones multivariadas (oleaje y nivel) de los 10.000 años de simulaciones sintéticas



Cada caso seleccionado representa a una determinada cantidad (probabilidad) de condiciones multivariadas (oleaje y nivel) de los 10.000 años simulados sintéticamente

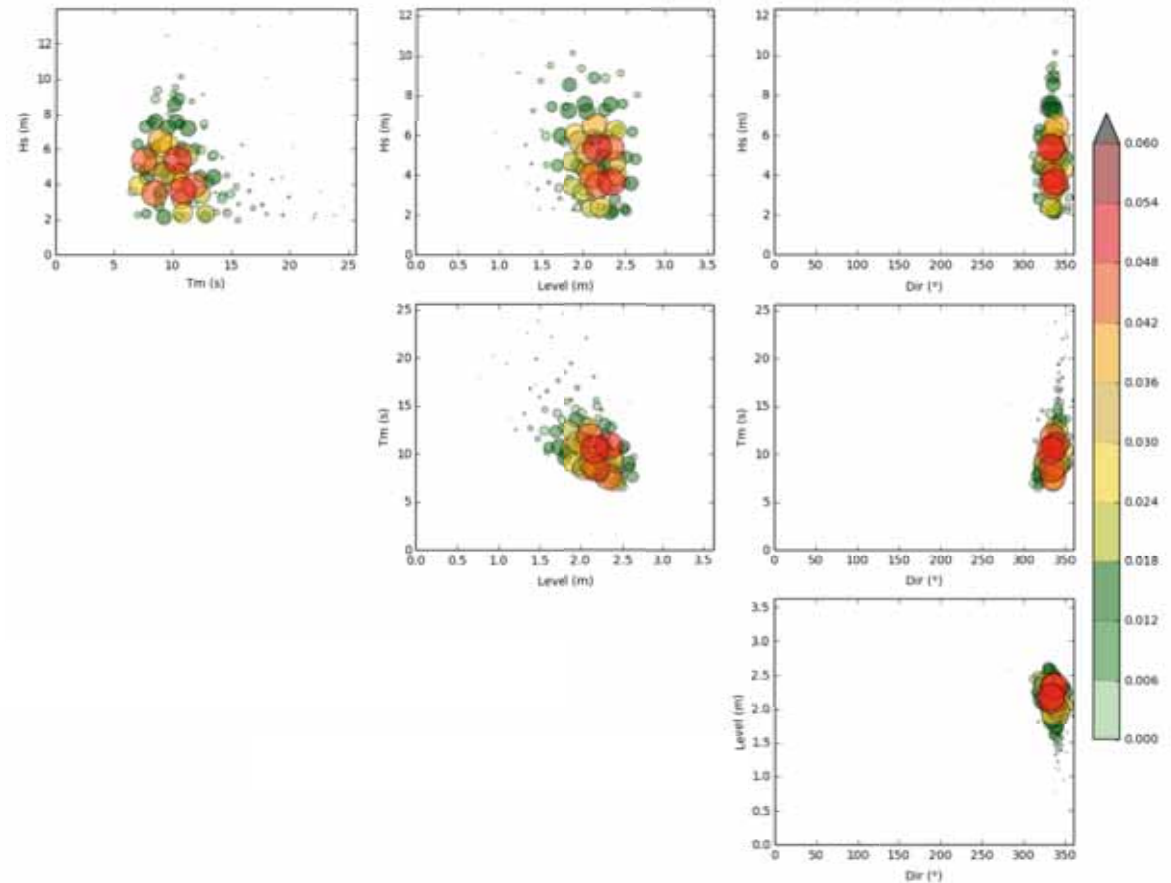
Condiciones climáticas históricas  
Oleaje: Hs, Tm, Dir  
Nivel: MM, MA

GENERADOR ESTOCÁSTICO  
Condiciones climáticas sintéticas  
(Hs, Tm, Dir, Nivel)

Selección casos  
(Hs, Tm, Dir, Nivel)

Modelo de inundación costera  
(cota/área de inundación)

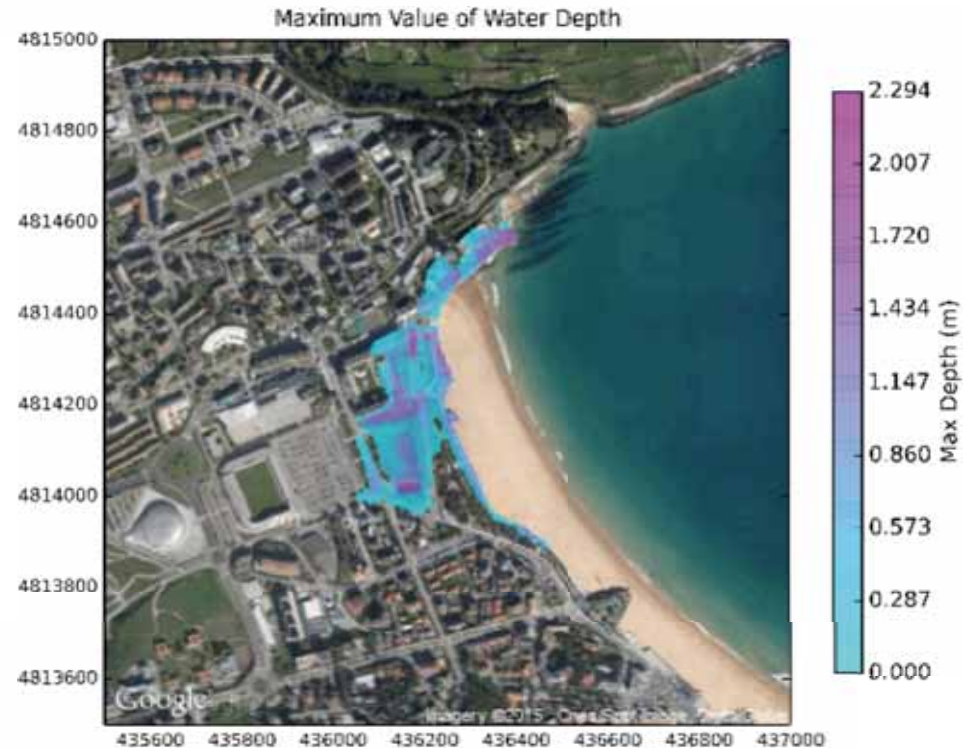
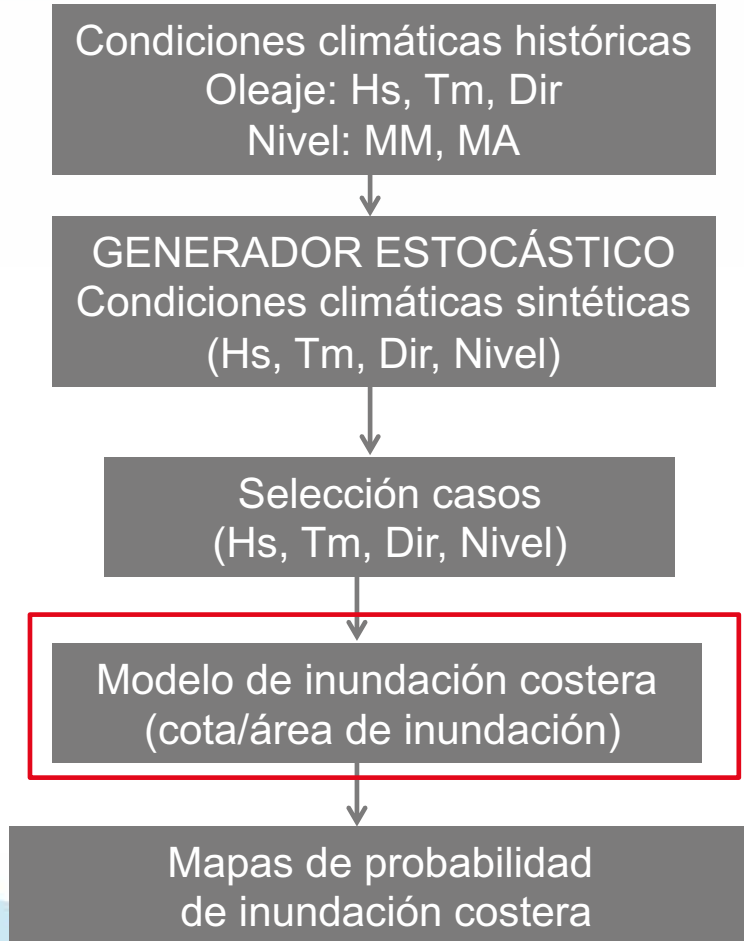
Mapas de probabilidad  
de inundación costera



Se simula numéricamente la inundación generada por cada uno de los casos seleccionados (condiciones multivariadas)

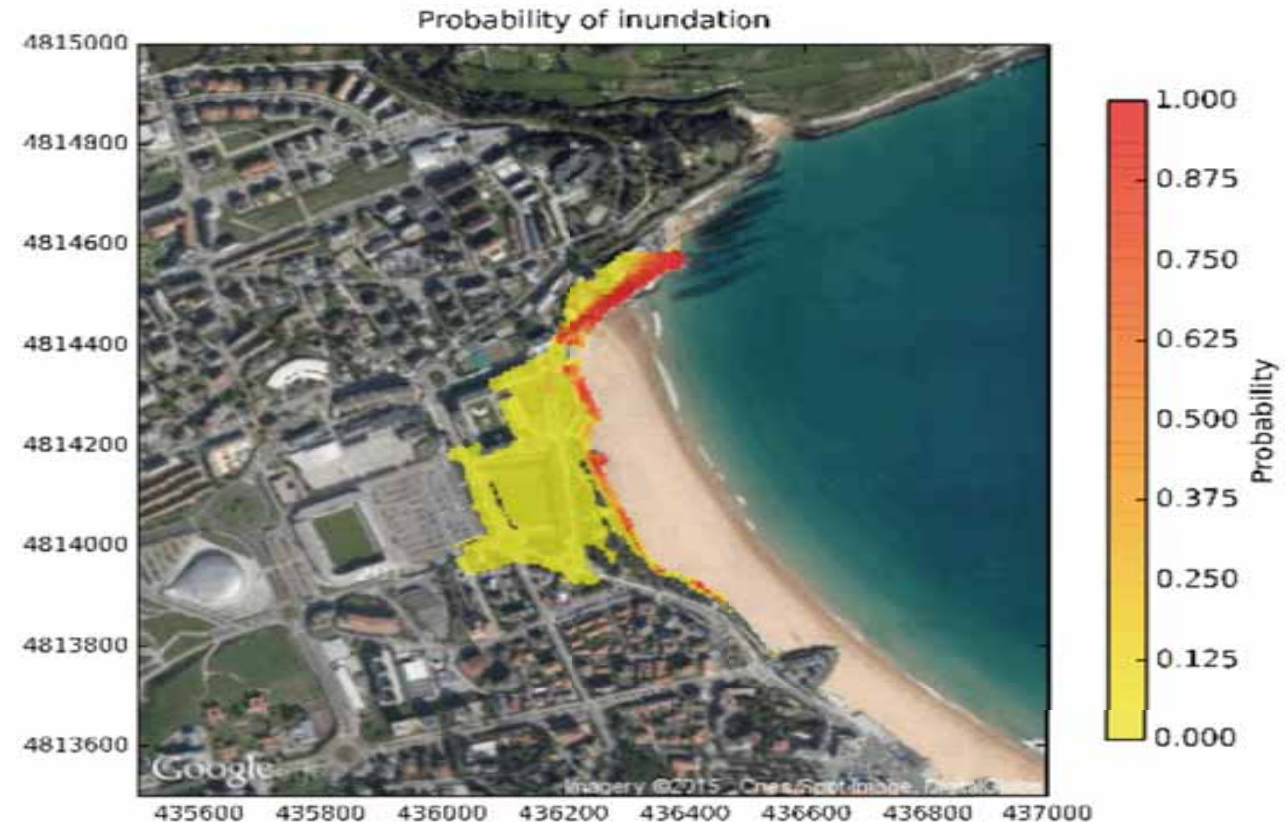
## RFSM-EDA

(Rapid Flood Spreading Method - Explicit Diffusion wave with Acceleration term)



## Mapas de Peligrosidad de Inundación Costera

Se calculan los mapas de probabilidad de inundación a partir de las simulaciones de cada caso seleccionado y su probabilidad



Condiciones climáticas históricas  
Oleaje: Hs, Tm, Dir  
Nivel: MM, MA

GENERADOR ESTOCÁSTICO  
Condiciones climáticas sintéticas  
(Hs, Tm, Dir, Nivel)

Selección casos  
(Hs, Tm, Dir, Nivel)

Modelo de inundación costera  
(cota/área de inundación)

Mapas de probabilidad  
de inundación costera



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN



# IHCantabria

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

I+D+i para un desarrollo sostenible

## Seminario:

“Impactos y adaptación al cambio climático en el sector del seguro”

27-28 de Noviembre de 2017

## CAMBIO CLIMÁTICO Y EXTREMOS EN LA COSTA

Paula Camus, Cristina Izaguirre, Iñigo J. Losada

[losadai@unican.es](mailto:losadai@unican.es)