

## MODELOS DE IMPACTO



**Iñigo Losada Rodríguez**

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

*Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, "IH Cantabria"  
Universidad de Cantabria*

## IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

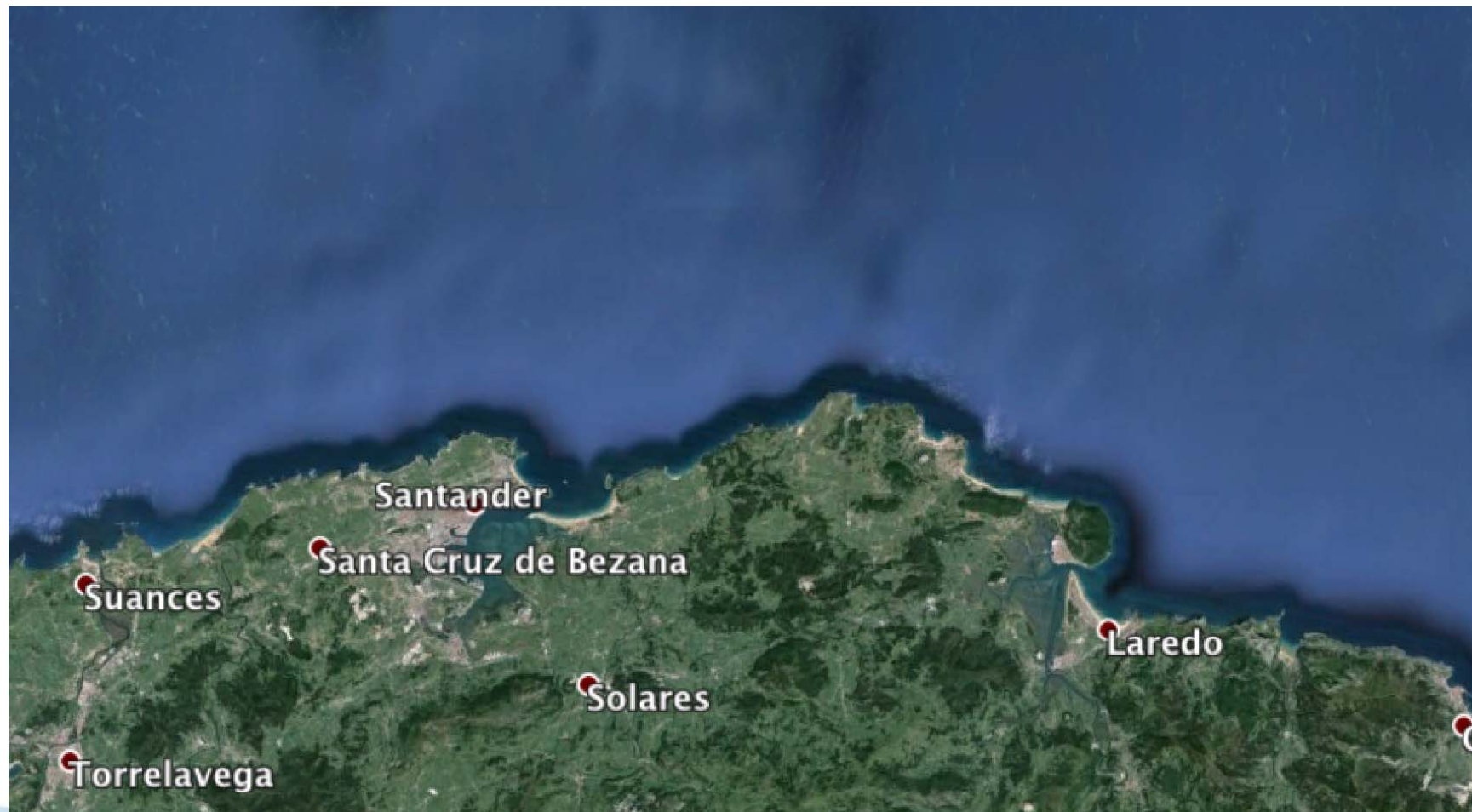
Los sistemas costeros son particularmente vulnerables al aumento del nivel medio del mar y a los cambios en la intensidad y frecuencia de las inundaciones.

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





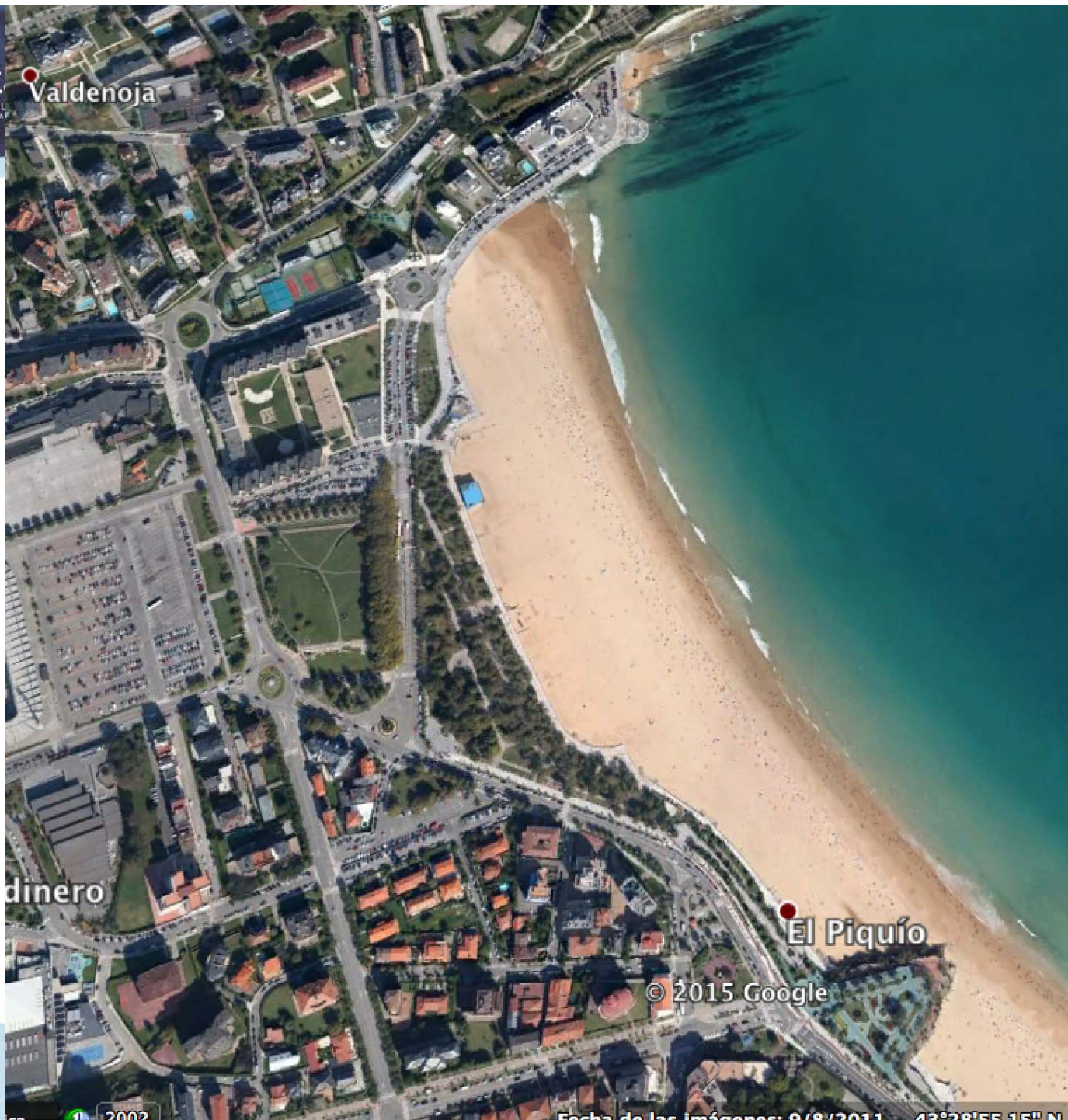












Valdenoja

dinero

El Piquío

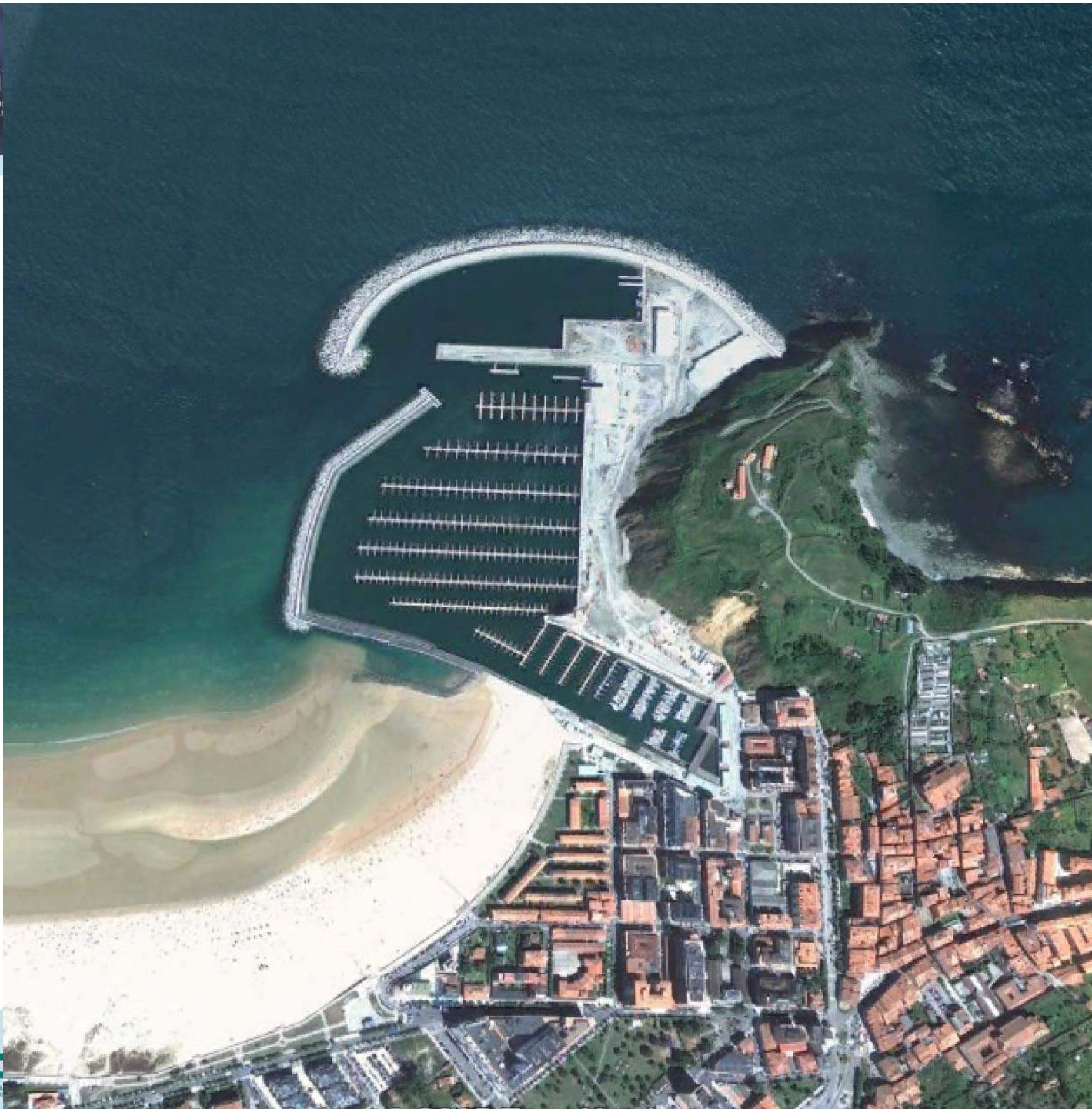
© 2015 Google





© 2015 Google  
Image © 2015 DigitalGlobe  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO



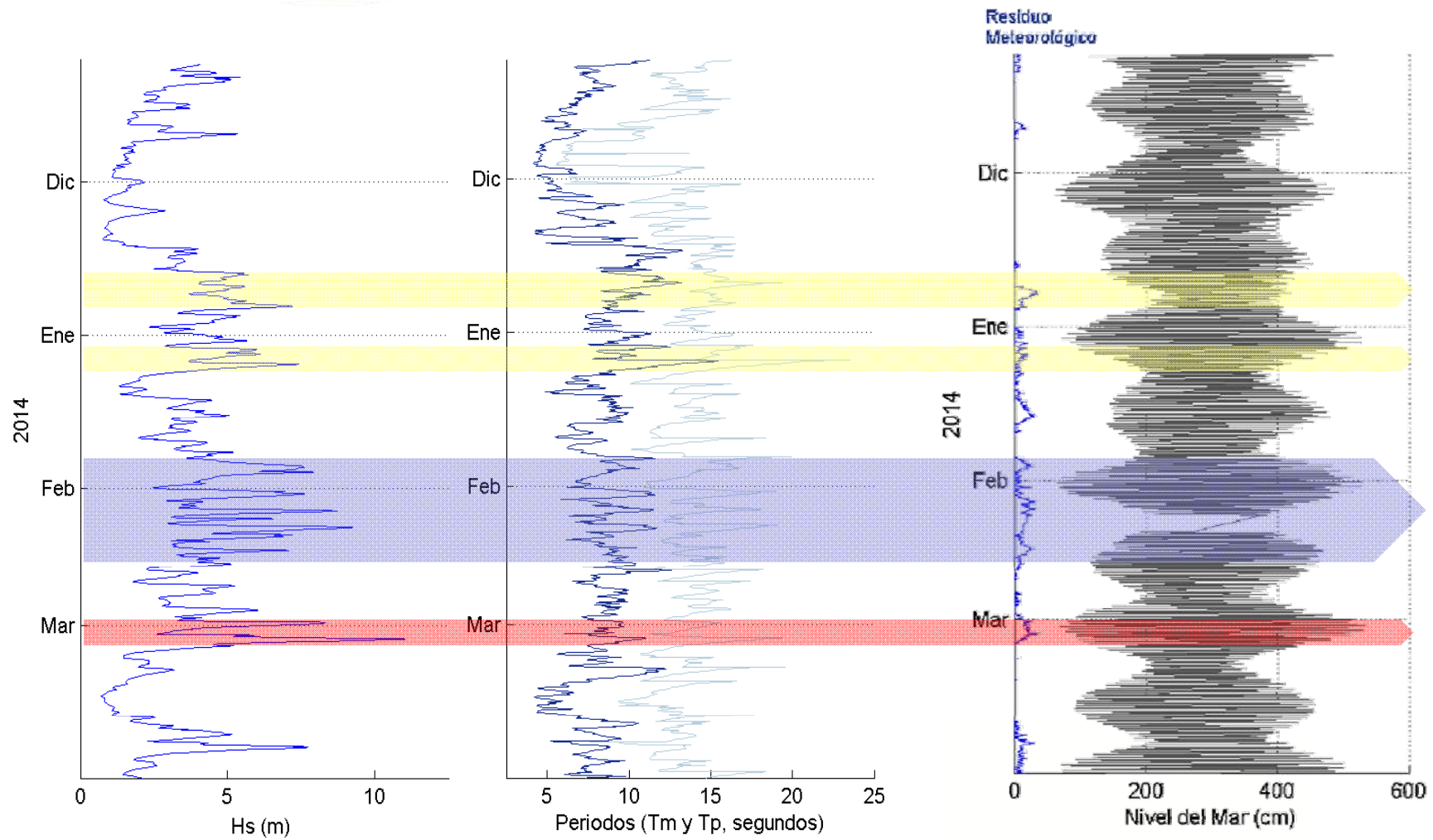




## CARACTERIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN



CI (Cota de inundación) ó Total Water Level (TWL)





















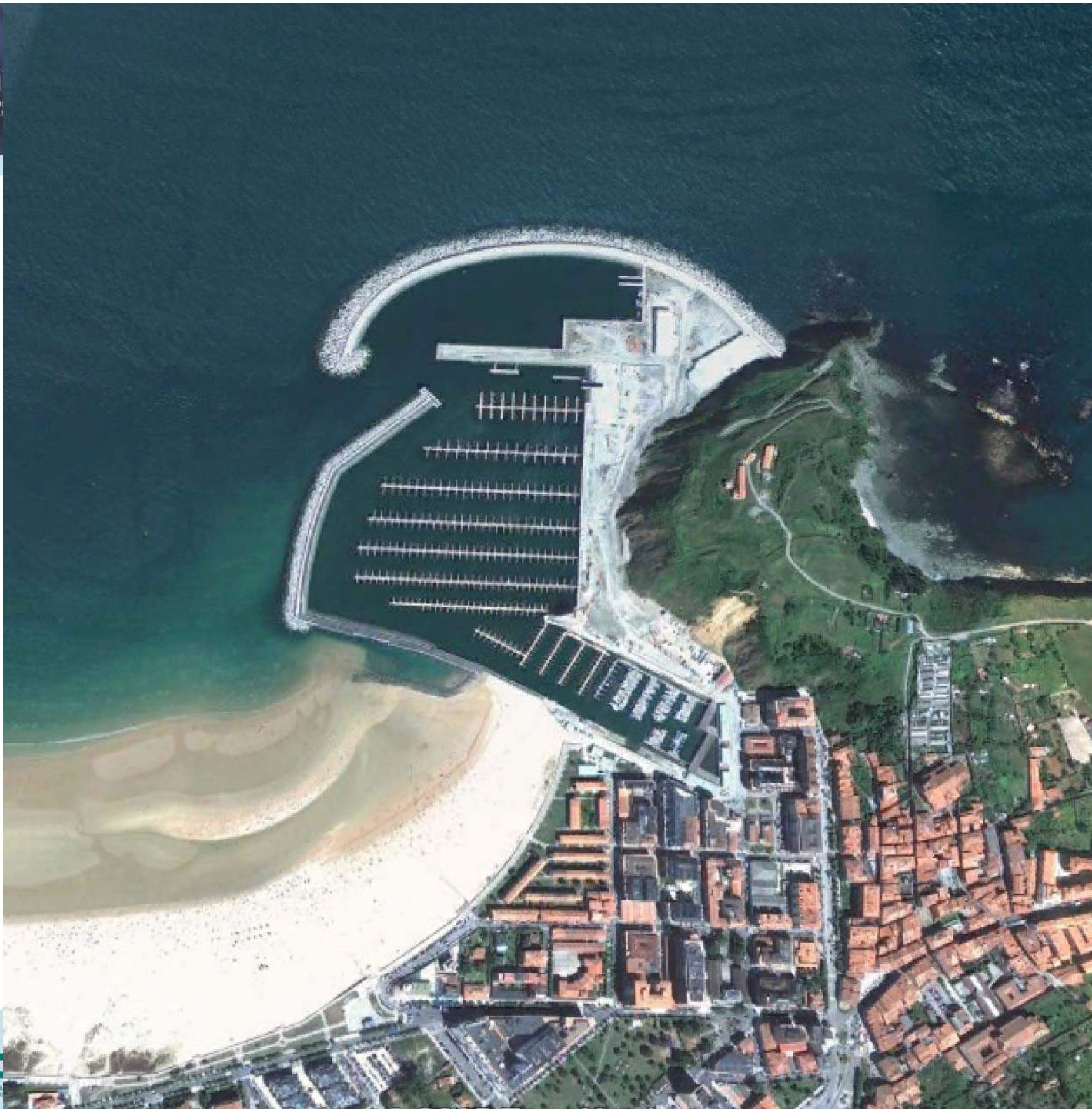






© 2015 Google  
Image © 2015 DigitalGlobe  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO





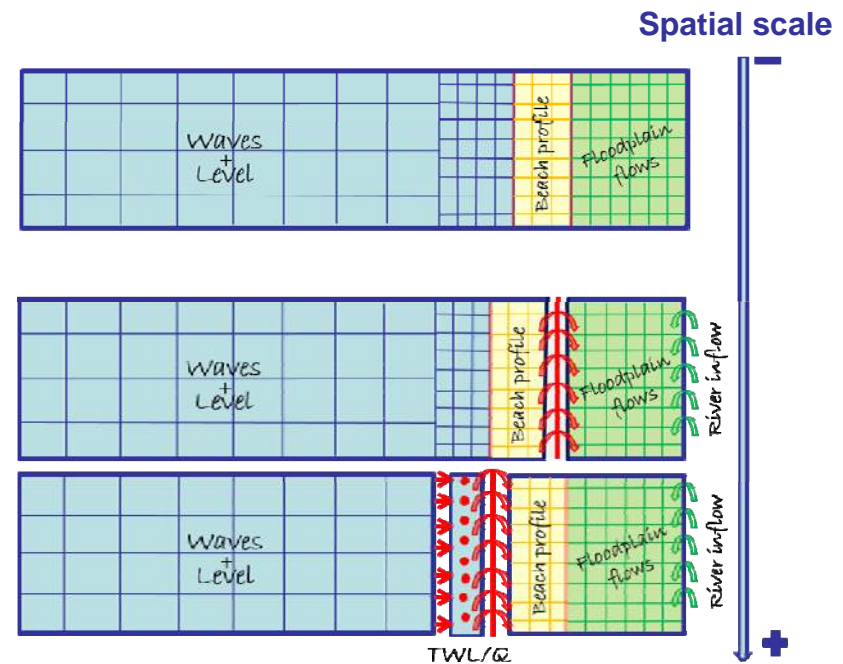
# VIDEO-LAREDO



## DIFERENTES APROXIMACIONES PARA EL MISMO PROBLEMA

La elección de la estrategia depende de:

- I. La region de estudio:
  - Morfología
  - Escala espacial
- II. Datos disponibles:
  - Resolución de la topografía y de la batimetría
- III. Tipo de análisis requerido: forense, probabilístico, etc
- IV. Presupuesto – Tiempo

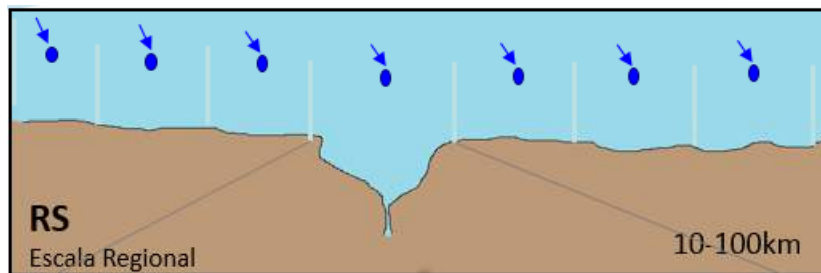


## ¿A QUÉ ESCALA VAMOS A REALIZAR EL ANÁLISIS?

Se pueden distinguir dos niveles en el estudio del impacto de inundación, debiendo haber una homogeneidad y coherencia entre la resolución de la información de las dinámicas y la exposición y la escala espacial del estudio:

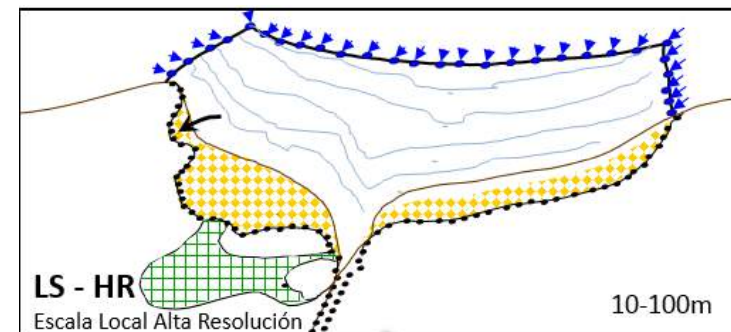
↓

### ESCALA GLOBAL/REGIONAL



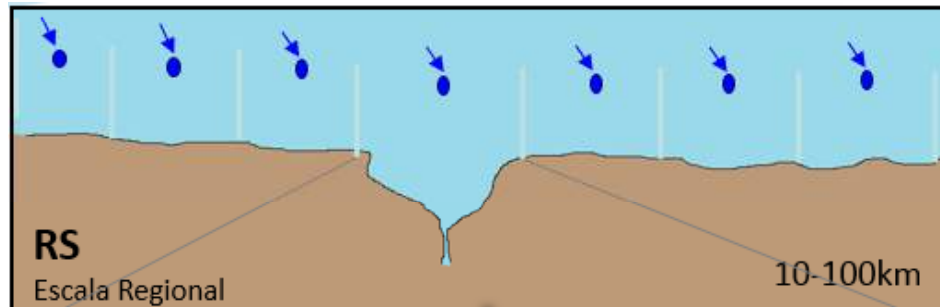
↓

### ESCALA LOCAL





## ESCALA GLOBAL/REGIONAL



- Dinámicas a escala regional
- Caracterización de la inundación mediante:

↗ Índices

↘ Método “bathtub” sobre MDT de 30-60 m de resolución horizontal

### Low-Probability Flood Risk Modeling for New York City

Jeroen C. J. H. Aerts,<sup>1</sup> Ning Lin,<sup>2</sup> W. J. Wouter Botzen,<sup>1</sup> Kerry Emanuel,<sup>3</sup> and Hans de Moel<sup>1</sup>

0272-4332/12/0100-0001\$22.001 © 2013 Society for Risk Analysis

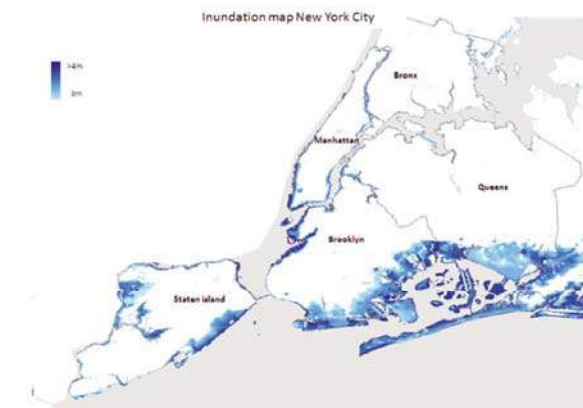
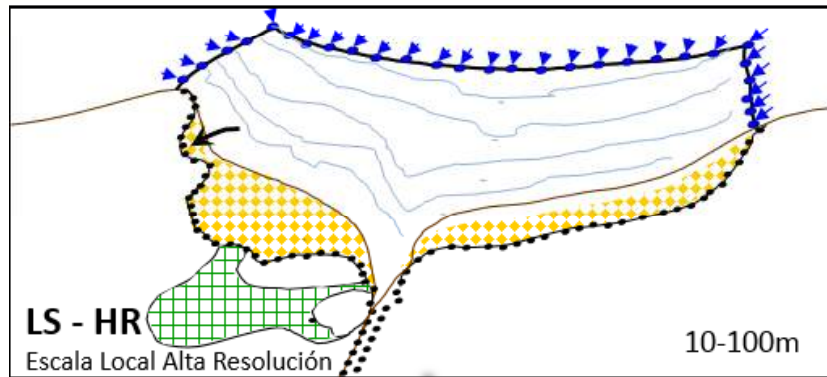


Fig. 4. Example of an inundation map for NYC for a ~1/1,000 storm.

- ✓ Simple
- ✓ Bajo coste computacional
- Sin defensas
- No resuelve la propagación de la inundación en tierra

## ESCALA LOCAL



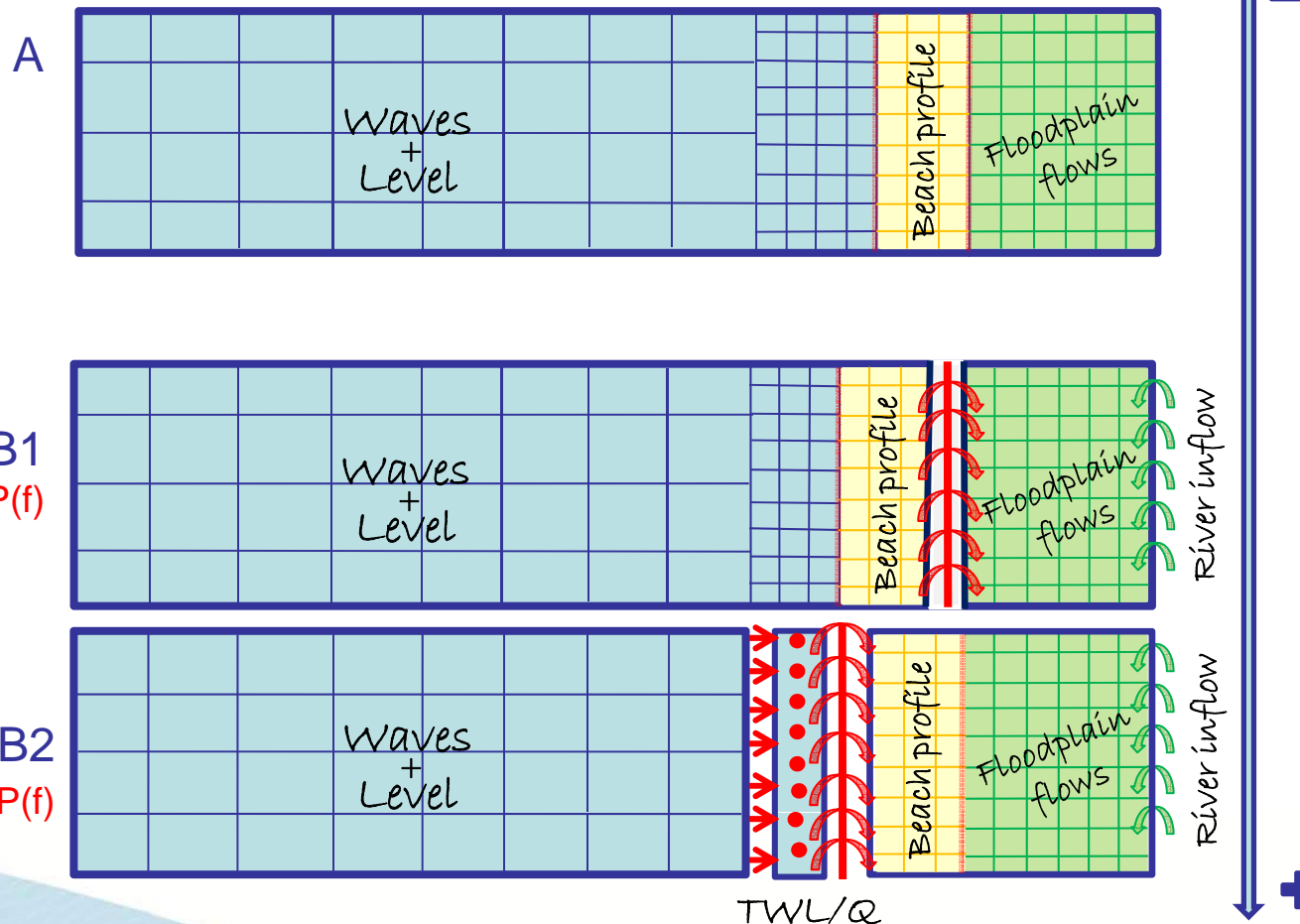
- Dinámicas a alta resolución
- Posibilidad de condiciones hidrodinámicas univariadas o multivariadas
- En función del tipo de análisis que se quiera realizar, de la calidad de los datos topobbatimétricos y de las condiciones hidrodinámicas, existen tres estrategias numéricas distintas



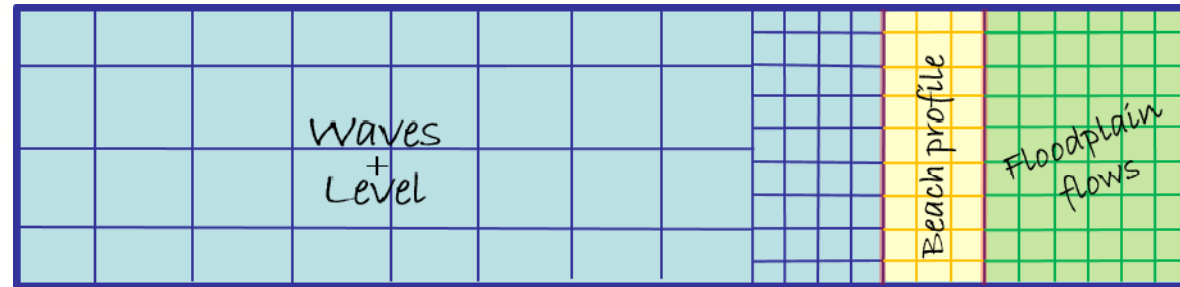
ESCALA LOCAL

Estrategias numéricas posibles:

Spatial scale



- Requiere modelos numéricos que resuelven el run-up y sus componentes (set-up y swash).
- Sólo resuelve la inundación costera.



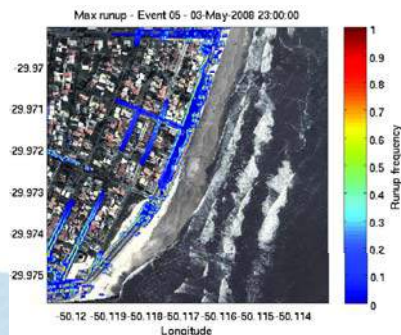
## NLSW 2DH



Numerical simulation of extreme wave runup during storm events in Tramandai Beach, Rio Grande do Sul, Brazil

Pedro Veras Guimarães<sup>a,c,\*</sup>, Leandro Farina<sup>b,c</sup>, Elio Toldo Jr.<sup>a</sup>, Gabriel Diaz-Hernandez<sup>d</sup>, Elena Akhmatkaya<sup>e,f</sup>

<sup>a</sup> I.E.D.U. - Centro de Estudos de Engenharia Litorânea e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Av. Itália Graciosa, 91500-970 Porto Alegre, RS, Brazil  
<sup>b</sup> Instituto de Matemática and CICTO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Av. Itália Graciosa, 91500-970 Porto Alegre, RS, Brazil  
<sup>c</sup> ICAM - Basque Center for Applied Mathematics, Alameda de Marquitos 14, 48009 Bilbo, Bizkaia, Spain  
<sup>d</sup> Instituto de Hidráulica Ambiental 'IH Cantabria', Ciudad Tecnológica S.S. Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011 Santander, Spain  
<sup>e</sup> IZRS/ASQ/CE, Basque Foundation for Science, E-48957 Bilbo, Spain



- ✓ Resuelve complejos procesos como la rotura del oleaje, interacciones no lineales y runup
- Inestable
- Elevado coste computacional (15 min ~1 semana)
- Aplicable en áreas reducidas (~1km)

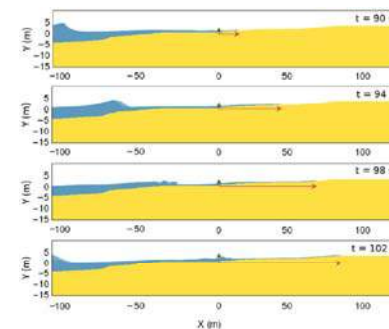
## RANS 2DV



A methodology to estimate wave-induced coastal flooding hazard maps in Spain

A. Tomás<sup>1</sup>, F.J. Méndez<sup>1</sup>, R. Medina<sup>1</sup>, F.F. Jaime<sup>1</sup>, P. Higuera<sup>1</sup>, J.L. Lara<sup>1</sup>, M.D. Ortiz<sup>2</sup> and M.F. Álvarez de Eulate<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Environmental Hydraulics Institute 'IH Cantabria', Universidad de Cantabria, Santander, Spain  
<sup>2</sup> Dirección General para la Sostenibilidad de la Costa y el Mar, Environment Spanish Ministry, MAGRAMA, Madrid, Spain



- ✓ Resuelve con precisión la hidrodinámica en la zona de rotura
- Elevado coste computacional (1 estado de mar ~ 4 días)
- La unidimensionalidad de la inundación aumenta la incertidumbre



## NLSW 2DH



Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage

T.W. Gallien<sup>a,b</sup>, B.F. Sanders<sup>a,\*</sup>, R.E. Flick<sup>c</sup>

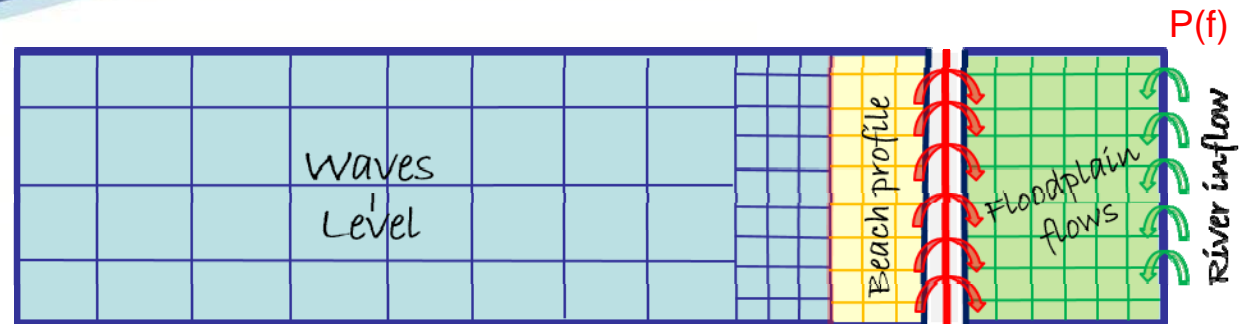
<sup>a</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Irvine, United States

<sup>b</sup> Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, United States

<sup>c</sup> Department of Routing and Waterways, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, United States



## 1. MODELADO DE INUNDACIÓN



- ✓ Resuelve modulaciones de energía de onda a la escala de grupos y sus ondas infragravitatorias asociadas
- Asume teoría lineal para la propagación de oleaje en la zona de rotura

- Resuelve la inundación en tierra debida a condiciones hidrodinámicas costeras y continentales: oleaje, caudal, precipitación, etc.
- Las hidrodinámicas de costa se resuelven mediante modelos numéricos.
- Acoplamiento de un modelo de inundación 2D para la simulación en tierra.
- Posibilidad de análisis probabilístico de la inundación.

## MODELO DE INUNDACIÓN 2D



### A highly efficient 2D flood model with sub-element topography

- Sam R. Jamieson MSc  
PhD Candidate, Heriot-Watt University, Edinburgh in partnership with HR Wallingford, Wallingford, UK
- Julien Lhomme MSc, PhD  
Senior Scientist, HR Wallingford, Wallingford, UK
- Grant Wright MEng, PhD  
Lecturer, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK
- Ben Gouldby BSc  
Principal Scientist, HR Wallingford, UK and IH Cantabria, Spain

- ✓ Rápida ejecución
- ✓ Análisis estadístico de la inundación
- ✓ Posibilidad de modelar diversas fuentes de descarga
- ✓ Sensibilidad a la rugosidad de Manning
- ✓ Tasa de infiltración
- ✓ Análisis de la evolución de la inundación



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

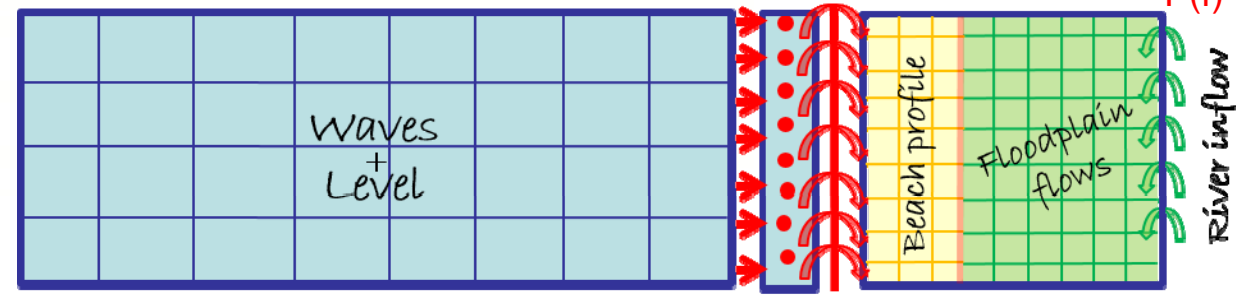
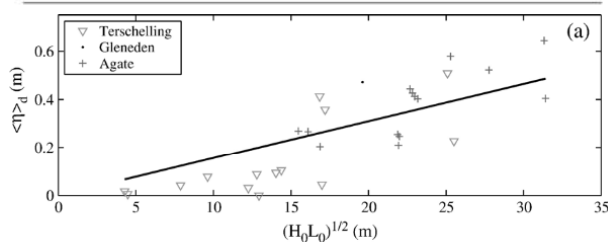
Coastal Engineering 53 (2006) 573–588

Coastal Engineering  
An International Journal for Coastal, Estuarine and Offshore Engineers  
www.elsevier.com/locate/coastaleng

Empirical parameterization of setup, swash, and runup

Hilary F. Stockdon <sup>a,\*</sup>, Rob A. Holman <sup>b</sup>, Peter A. Howd <sup>a</sup>, Asbury H. Sallenger Jr. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Center for Coastal and Watershed Studies, U.S. Geological Survey, St. Petersburg, FL, United States  
<sup>b</sup> College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, OR, United States  
Received 27 May 2005; received in revised form 19 December 2005; accepted 21 December 2005  
Available online 21 February 2006

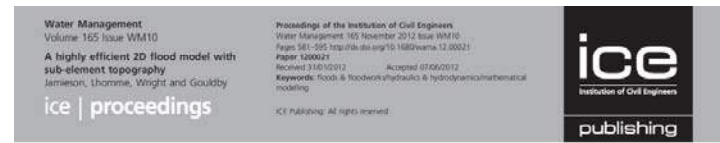


FORMULACIÓN SEMI-EMPÍRICA

MODELO DE INUNDACIÓN 2D

- ✓ Sin coste computacional
- Asumen muchas simplificaciones
- Su aplicación no es universal sino que está sujeta al rango en el que han sido ensayados

- Resuelve la inundación en tierra debida a condiciones hidrodinámicas costeras y continentales: oleaje, caudal, precipitación, etc.
- Las hidrodinámicas de costa se aproximan mediante formulaciones semi-empíricas.
- La simulación en tierra se resuelve con un modelo de inundación 2D.
- Adecuado para análisis probabilístico de la inundación.



A highly efficient 2D flood model with sub-element topography

■ Sam R. Jamieson MSc, PhD Candidate, Heriot-Watt University, Edinburgh in partnership with HR Wallingford, Wallingford, UK  
 ■ Julien Lhomme MSc, PhD Senior Scientist, HR Wallingford, Wallingford, UK  
 ■ Grant Wright MEng, PhD Lecturer, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK  
 ■ Ben Gouldby BSc Principal Scientist, HR Wallingford, UK and IH Cantabria, Spain

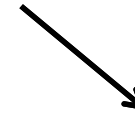
- ✓ Rápida ejecución
- ✓ Análisis estadístico de la inundación
- ✓ Posibilidad de modelar diversas fuentes de descarga
- ✓ Sensibilidad a la rugosidad de Manning
- ✓ Tasa de infiltración
- ✓ Análisis de la evolución de la inundación
- Incertidumbre en el TWL/Q



**LA CARACTERIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN COSTERA PUEDE  
ALCANZAR DISTINTOS NIVELES DE COMPLEJIDAD, POR ELLO, ES  
NECESARIO ANALIZAR CUÁLES SON LOS OBJETIVOS A LOS QUE  
QUEREMOS LLEGAR:**



**QUÉ RESULTADOS  
QUEREMOS  
OBTENER**



**CUÁLES SON LAS  
CONDICIONES  
HIDRODINÁMICAS**

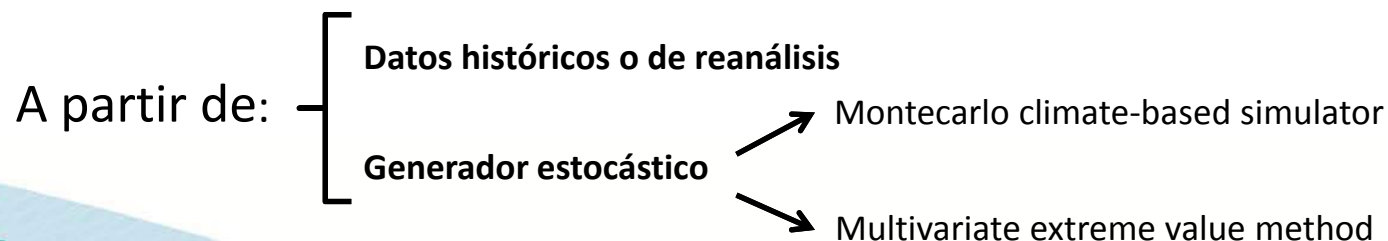
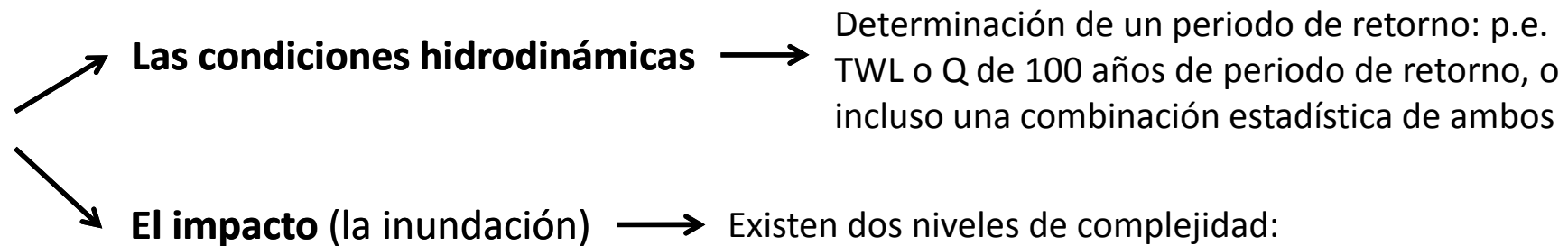
...La distinta combinación de opciones conlleva, en muchos casos, una limitación a la hora de escoger una determinada estrategia numérica

## QUÉ RESULTADOS QUEREMOS OBTENER

- 1 **Análisis forense:**  
reconstrucción de  
eventos históricos a partir  
de series temporales



- 2 **Análisis probabilístico**, que puede realizarse sobre:



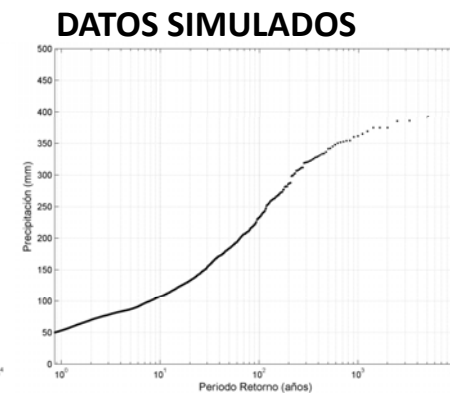
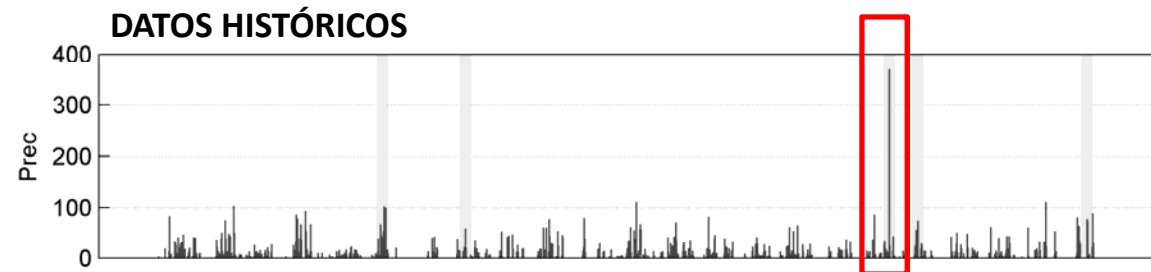
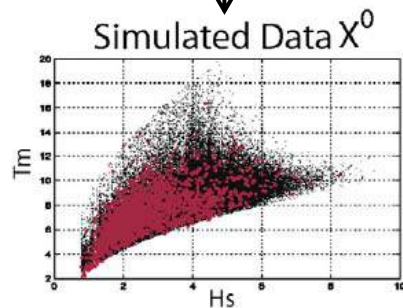
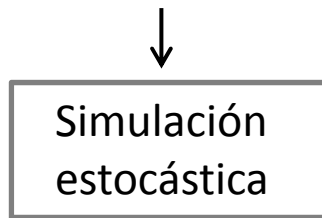
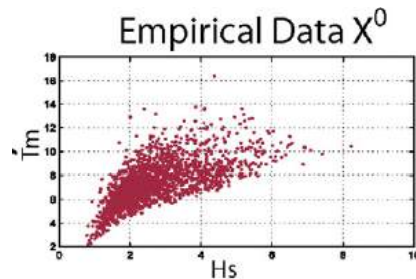


## QUÉ RESULTADOS QUEREMOS OBTENER

### ¿Para qué utilizamos la generación estocástica?

La simulación estocástica o sintética de eventos sirve para incrementar la población de extremos. Esto nos permite una mayor precisión en la determinación de periodos de retorno.

Por ejemplo, partiendo de los siguientes datos históricos:



Aumentando la muestra con una simulación sintética, podemos mejorar la definición del régimen extremal.

## CUÁLES SON LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

### 1 Dinámicas costeras

Oleaje y nivel del mar, que pueden combinarse p.e. en el TWL o en el cálculo del caudal de rebase



Indicador del nivel del mar total "TWL"



Caudal de rebase



### 2 Dinámicas continentales

Caudal



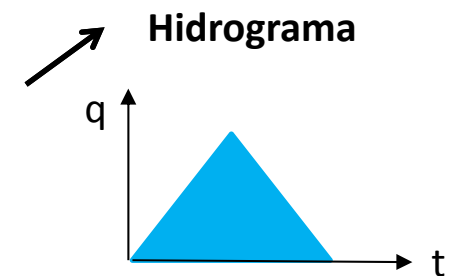
Precipitación



Escorrentía

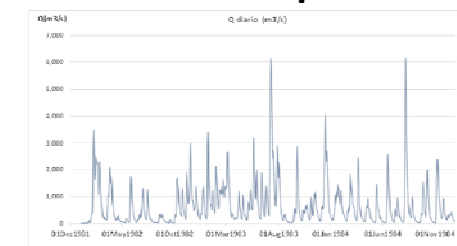


A su vez, estas condiciones, dependiendo del tipo de resultados que queramos obtener, pueden definirse como:



Donde el pico puede corresponder a un periodo de retorno de la variable considerada. Estos hidrogramas pueden adoptar diversas geometrías.

Serie temporal



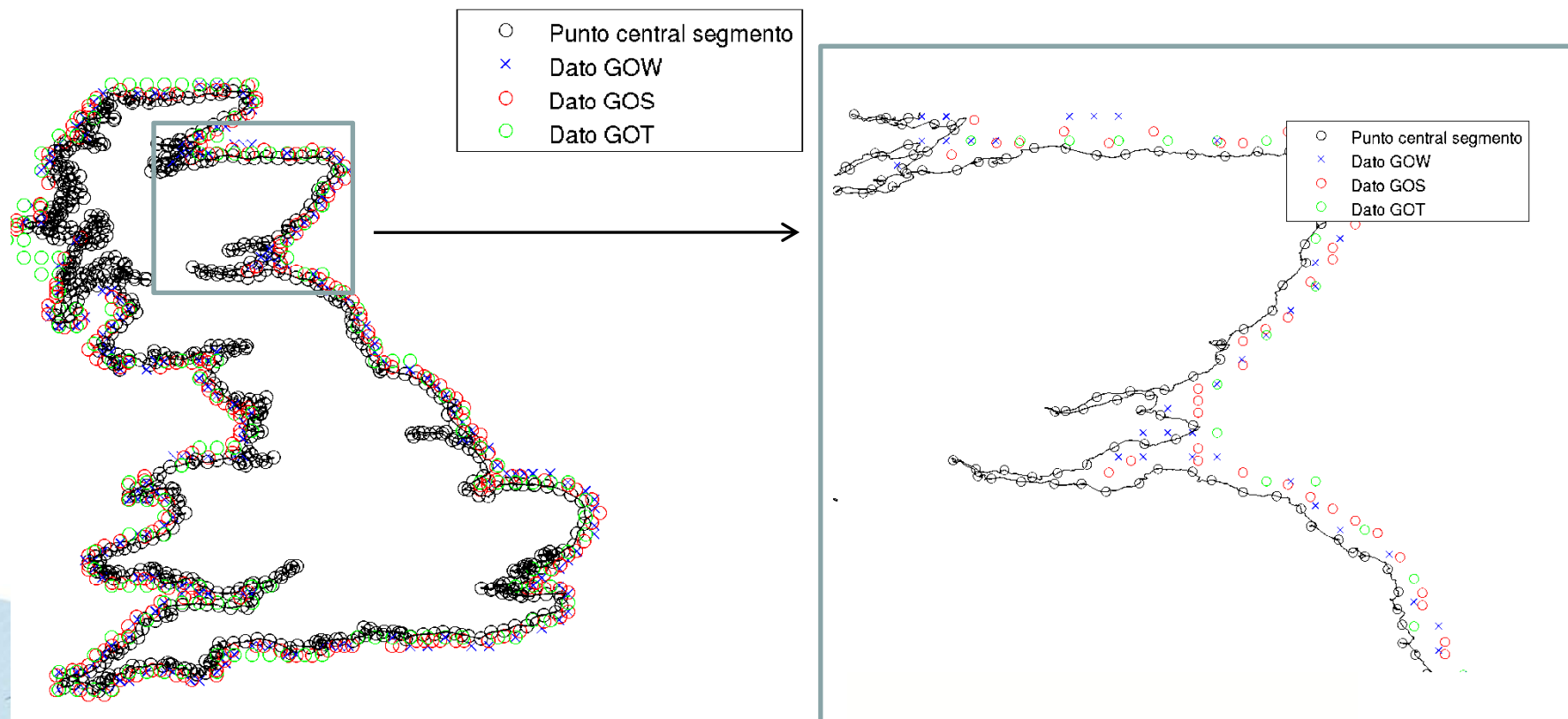


## **ALGUNAS APLICACIONES...**

## ESCALA REGIONAL

### SEGMENTACIÓN DE LA COSTA

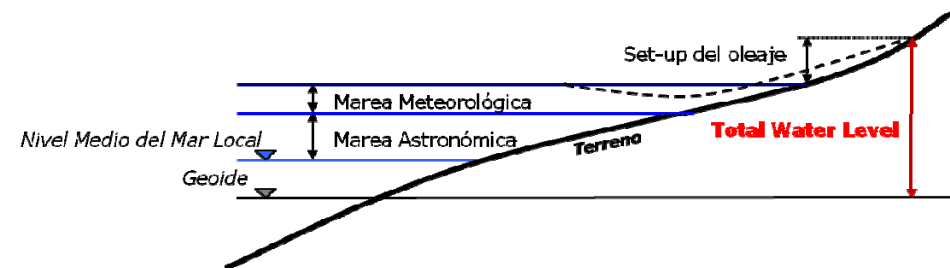
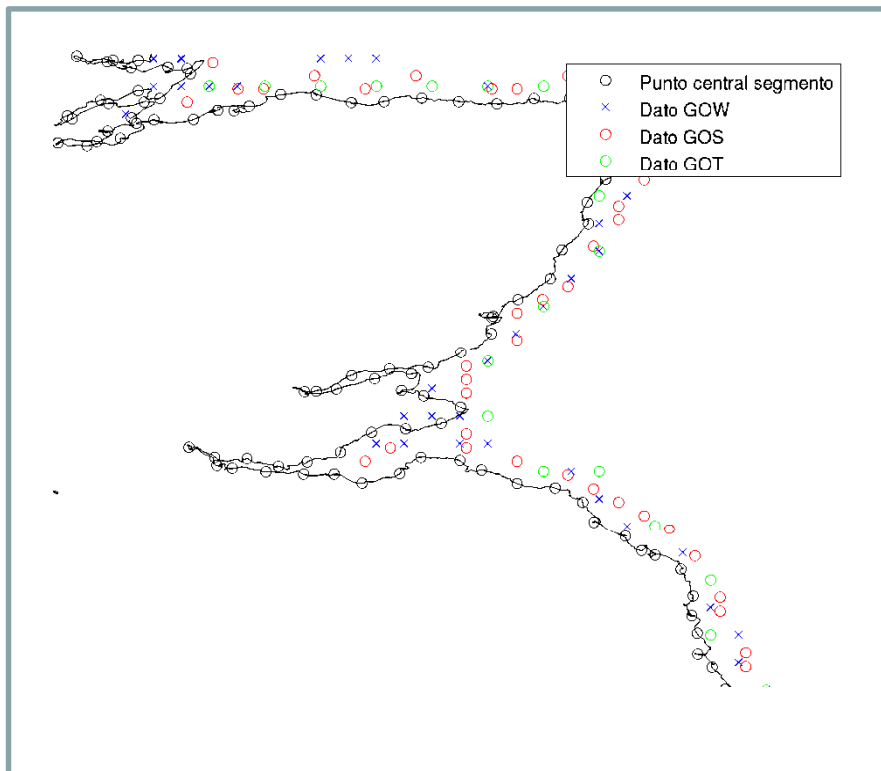
- Se caracterizan las dinámicas en cada segmento a partir de los datos históricos de las dinámicas marinas.
- Se selecciona el nodo más próximo de los datos de oleaje y nivel





## ESCALA REGIONAL

- En cada segmento de la costa se calcula el índice de nivel del mar total (TWL)



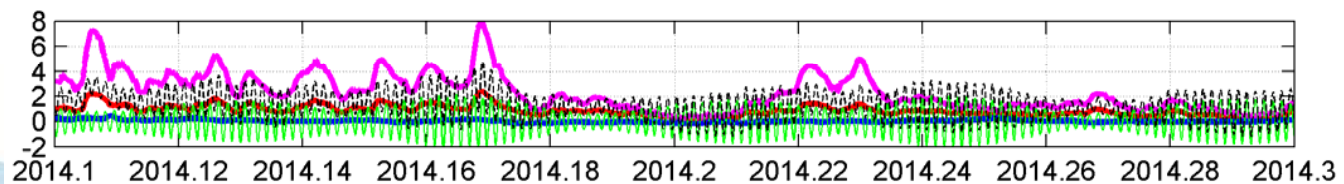
Índice de nivel del mar total:  
TWL (Total Water Level)

$$TWL = MM + MA + Setup + SLR$$

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

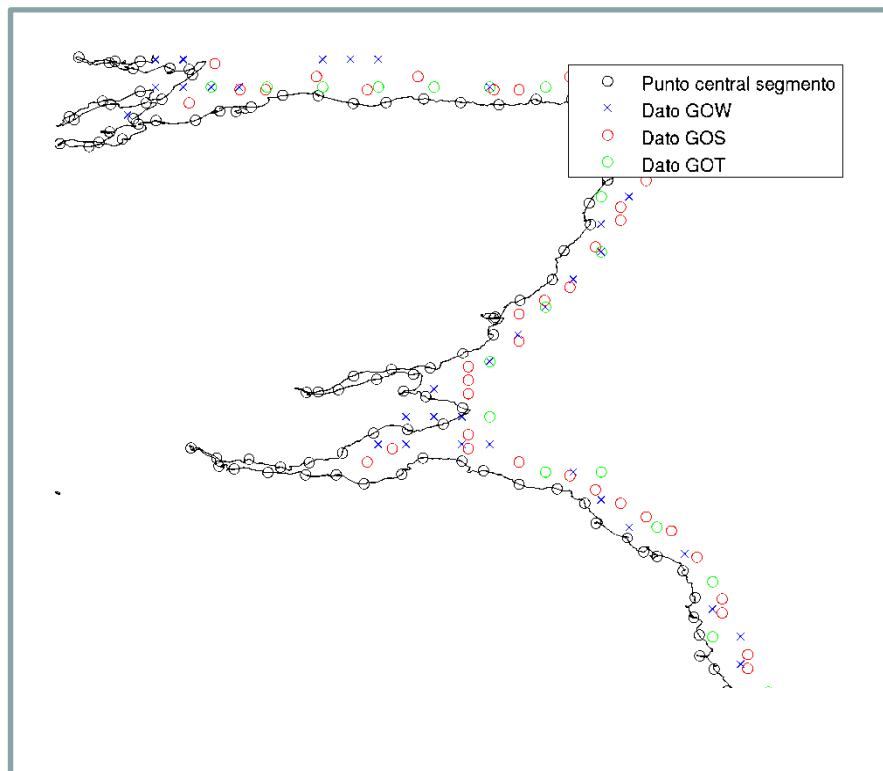
MA Hs  
MM Setup

TWL

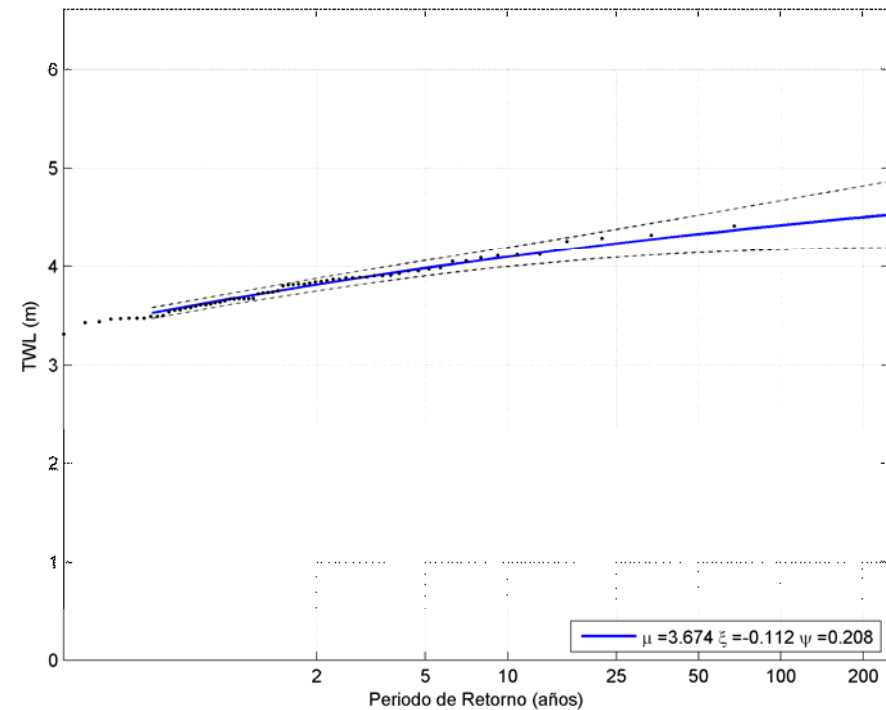


## ESCALA REGIONAL

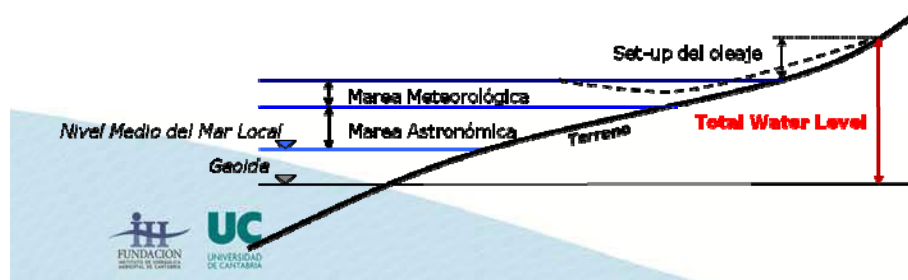
- Se calcula el régimen extremal del TWL en cada segmento de la costa



### Régimen Extremal (GEV)



Periodos de retorno TWL  
100 años / 500 años



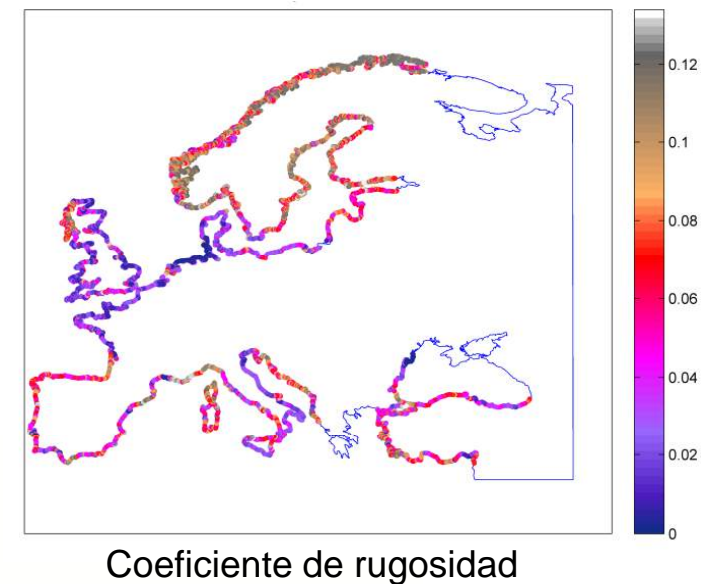
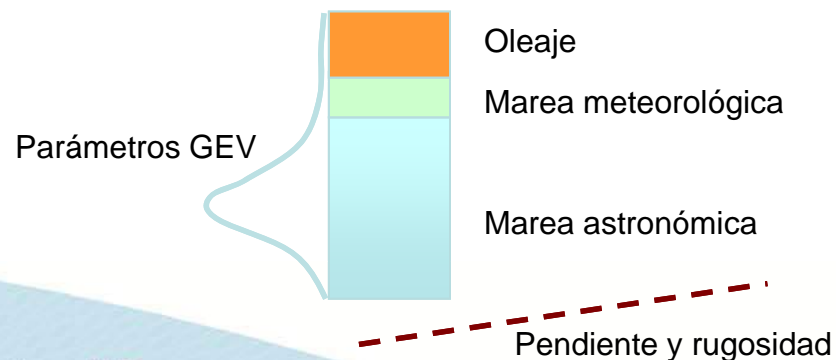


## ESCALA REGIONAL

- Peligrosidad (**P**) y exposición (**E**) se integran en la definición de un **índice** para la caracterización de la inundación en cada segmento de la costa:

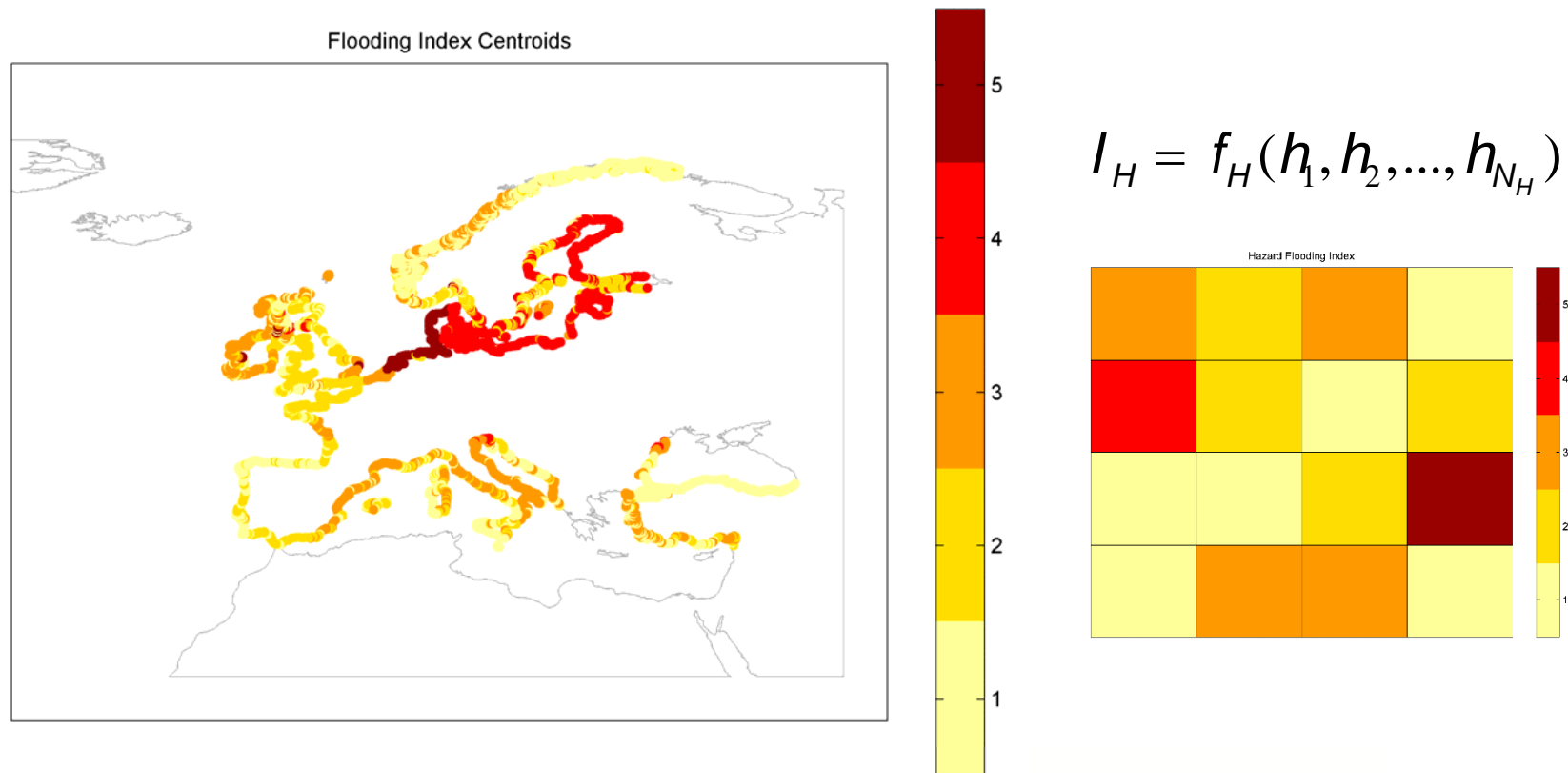
- P** {
- ✓ Parámetros de la distribución extremal TWL
    - $\mu, \sigma, \xi$
  - ✓ Influencia de cada una de las dinámicas (oleaje, marea meteorológica, marea astronómica) en la inundación?
    - $\alpha_{Gos}, \alpha_{Got}, \alpha_{SetUp}$

- E** {
- ✓ Características topográficas del terreno ?
    - Pendiente media
  - ✓ Rugosidad media (Coeficiente de Manning n) dependiendo del tipo de suelo (acantilado, estuarios, ...)



## ESCALA REGIONAL

- **Índice de inundación** en cada segmento de la costa. Integra la **peligrosidad** (dinámicas) y la **exposición** (sensibilidad del receptor) en 5 niveles

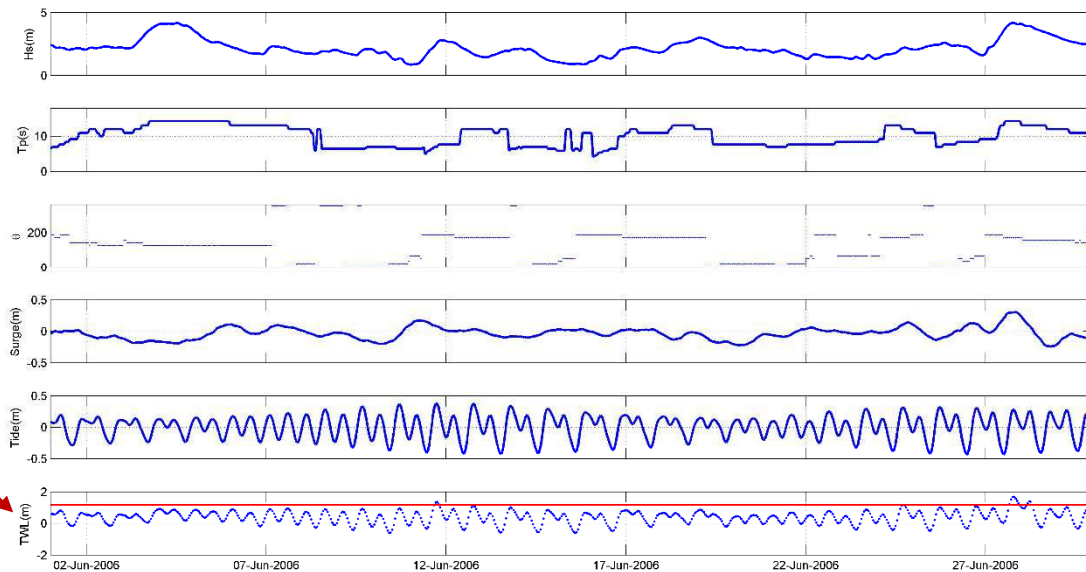
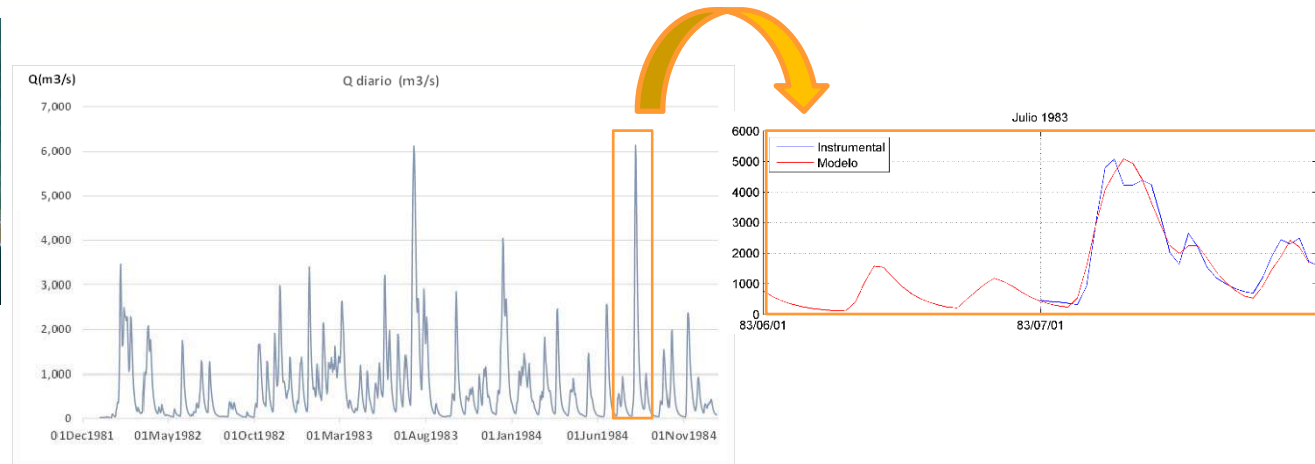
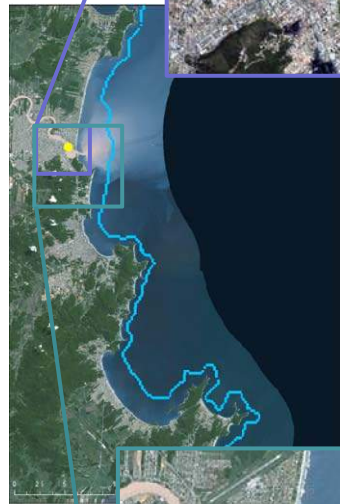


$$\text{FloodingIndex} = \text{Coeff}_{\text{manning}} \times \frac{\text{TWL}_{100\text{YRP}} \times (\alpha_{\text{GOS}} + \alpha_{\text{SETUP}})}{\text{Slope}_{\text{mdt}}}$$



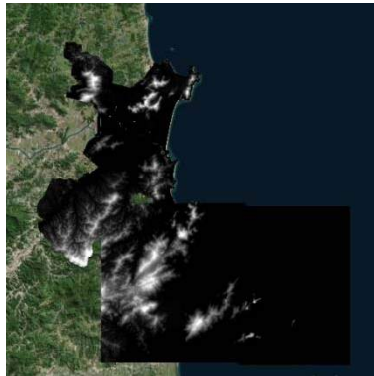
## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS FORENSE

### DINÁMICAS GENERADORAS



## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS FORENSE

### EXPOSICIÓN



**MODELOS DIGITALES  
DE TERRENO (MDT)  
DE 1 m DE  
RESOLUCIÓN  
(UFSC)**



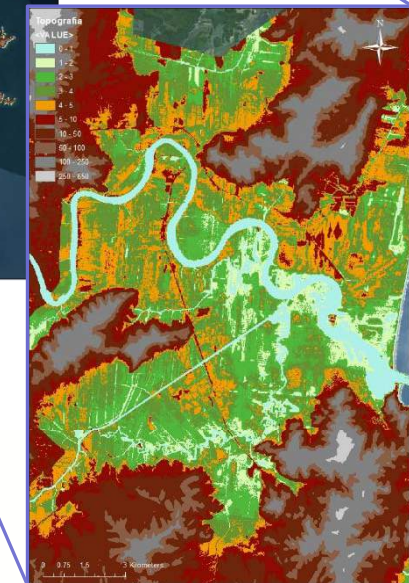
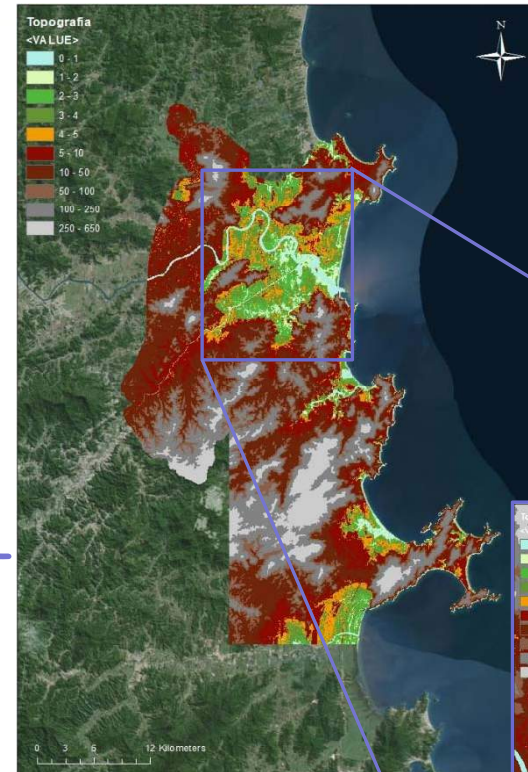
**LÍNEA DE COSTA DE ALTA RESOLUCIÓN  
(Elaboración propia)**



**MDT DE 30 METROS DE RESOLUCIÓN GDEM  
(NASA).**



**LIMPIEZA Y RECTIFICACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA**

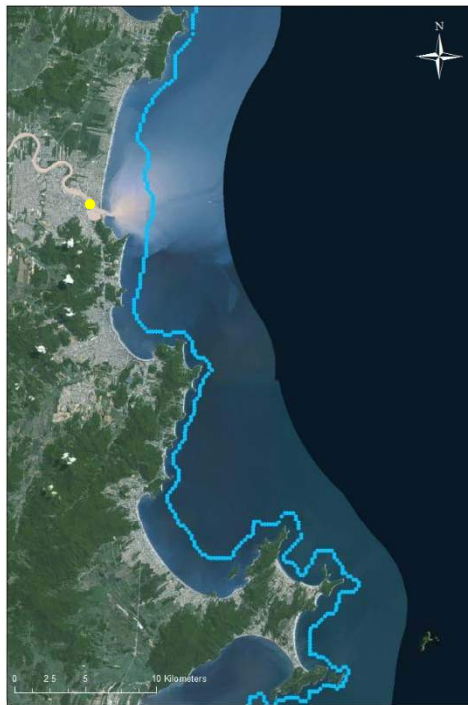


## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS FORENSE

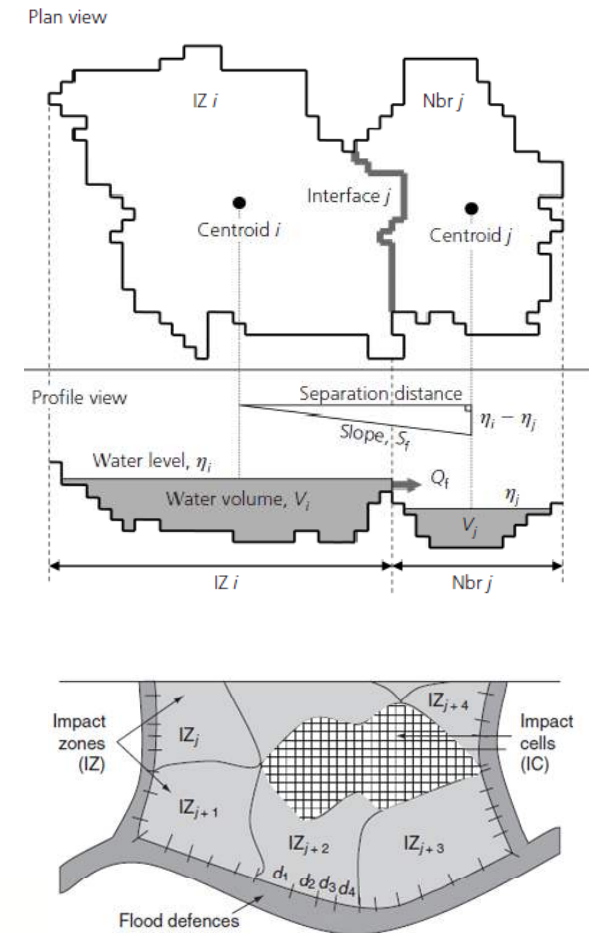
### MODELADO DE INUNDACIÓN

### RFSM-EDA

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



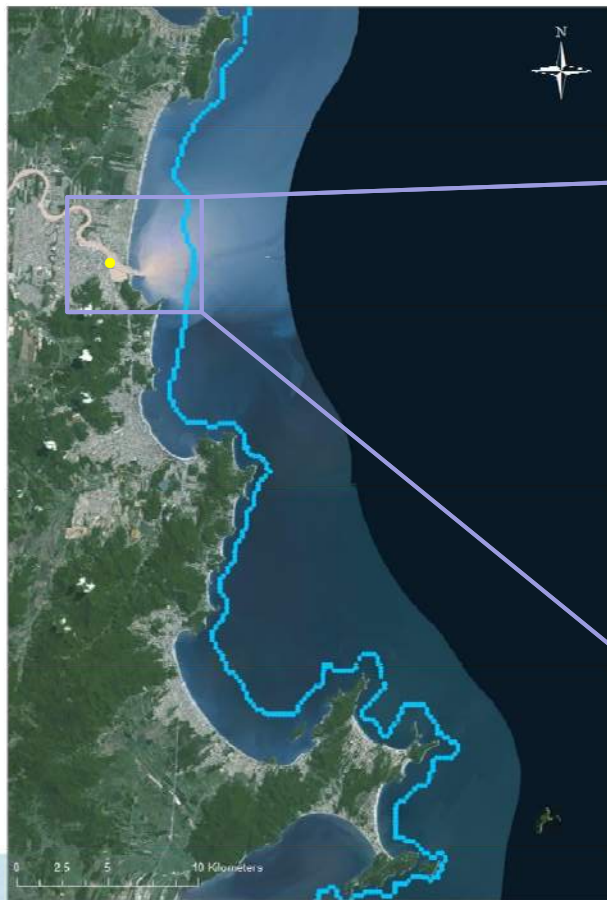
- ✓ Modelo 2D de almacenamiento de celdas (Gouldby et al., 2008)
- ✓ Basado en una aproximación difusiva de las SWE con inercia local
- ✓ Malla computacional formada por Impact Zones con sub-elemento topografía
- ✓ Proporciona la altura de columna de agua en cada celda y velocidades





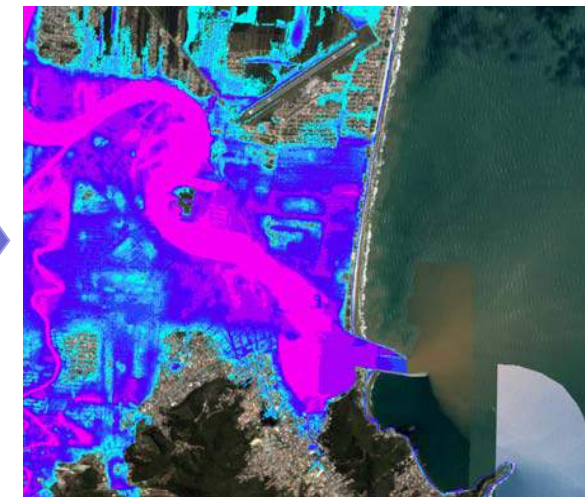
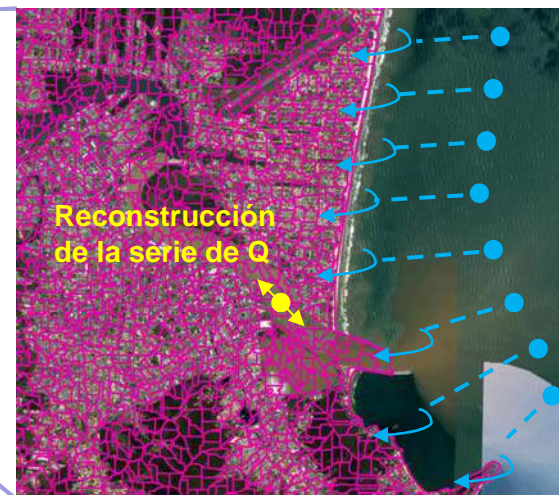
## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS FORENSE

### MODELADO DE INUNDACIÓN



Para cada evento histórico y escenarios seleccionados:

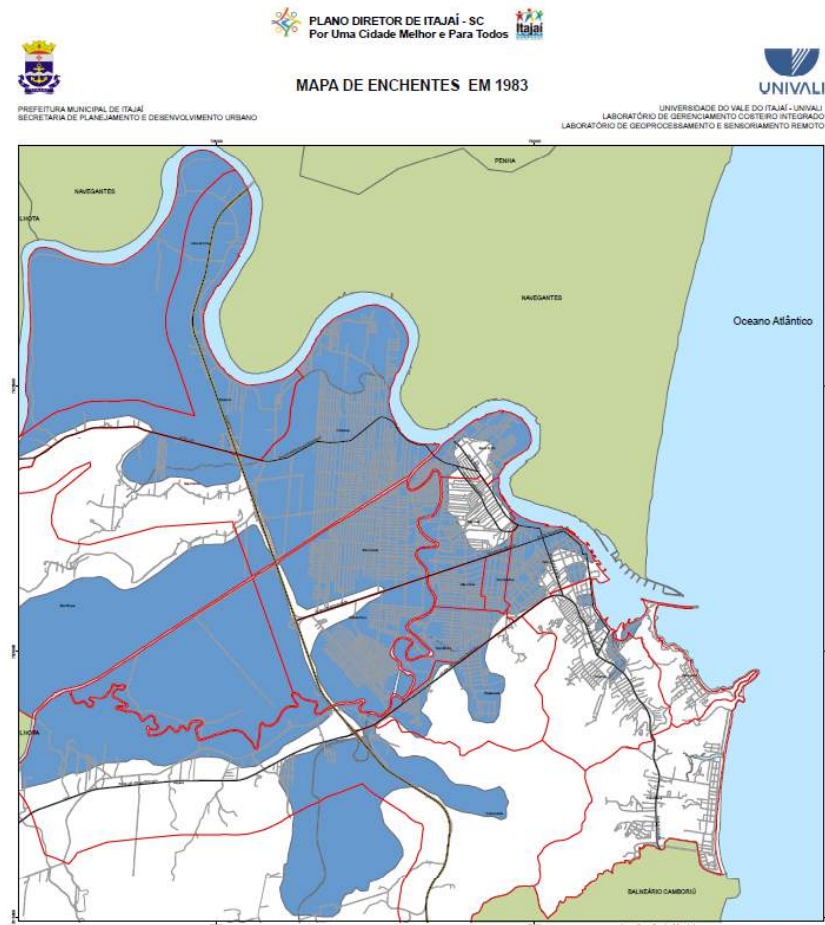
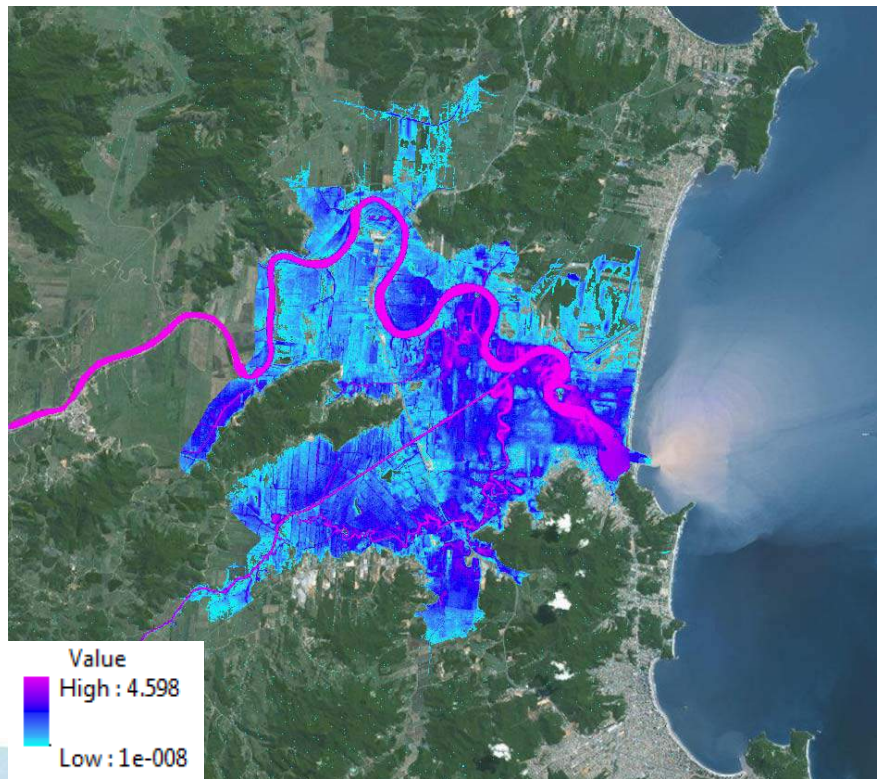
Reconstrucción de  
las series de TWL



## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS FORENSE

### RESULTADOS - VALIDACIÓN

#### EVENTO DE INUNDACIÓN DE JULIO 1983





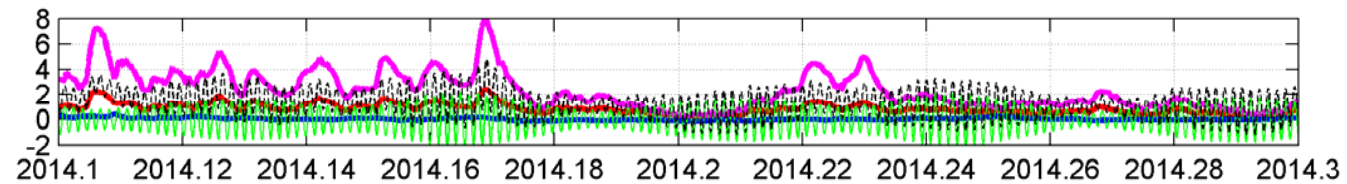
## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

### DINÁMICAS GENERADORAS

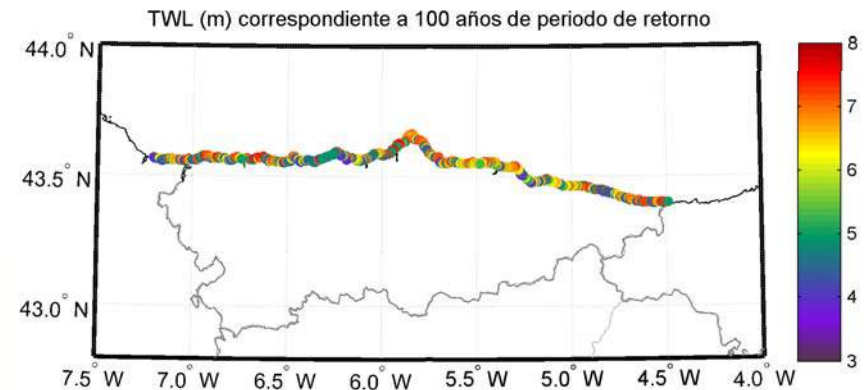
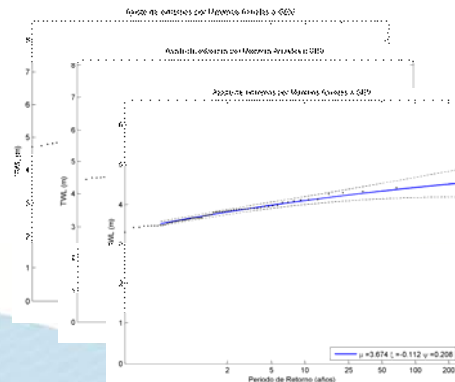


Avilés

MA Hs  
MM Setup  
TWL



Régimen  
Extremal  
(GEV)

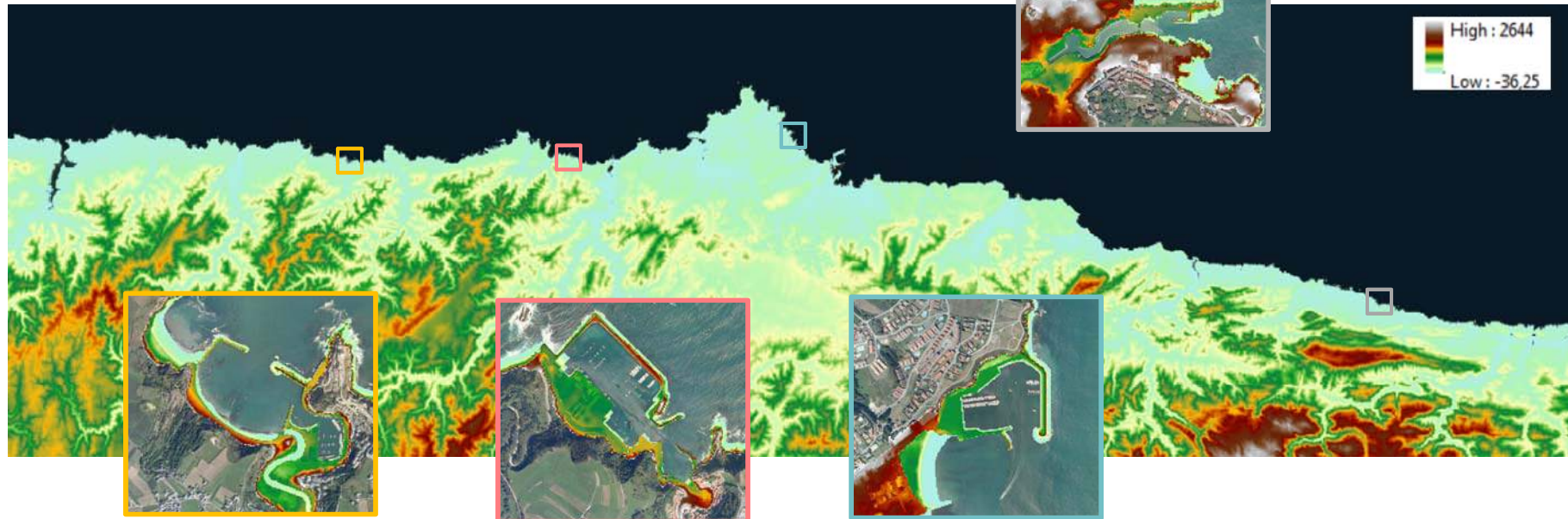




## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

### EXPOSICIÓN

Modelo Digital de Terreno (MDT) – LiDAR 5 m (IGN)



Línea de costa  
de alta resolución

## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

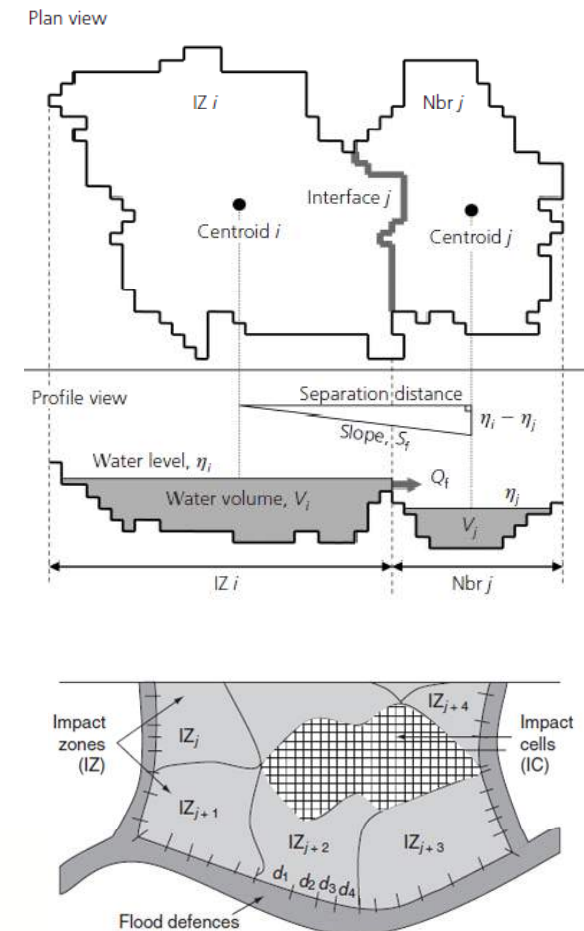
### MODELADO DE INUNDACIÓN



### RFSM-EDA

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

- ✓ Modelo 2D de almacenamiento de celdas Basado en una aproximación difusiva de las SWE con inercia local
- ✓ Malla computacional formada por Impact Zones con sub-elemento topografía
- ✓ Proporciona la altura de columna de agua en cada celda y velocidades



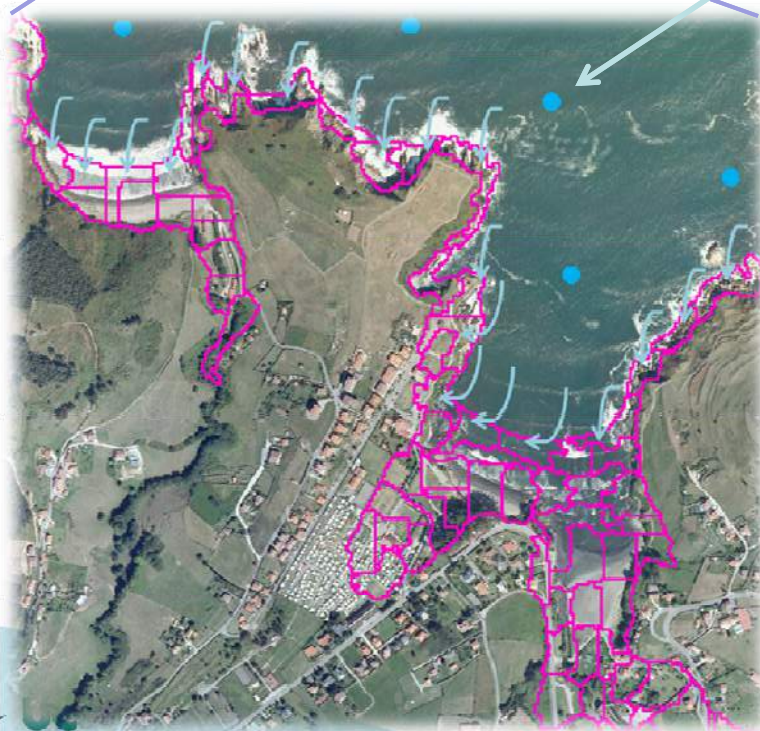
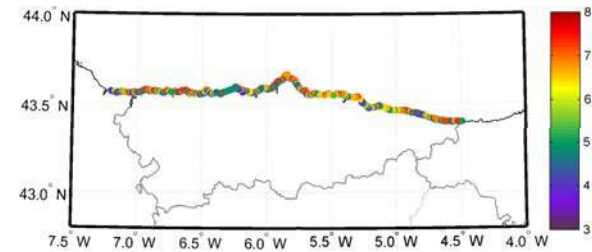


## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

### MODELADO DE INUNDACIÓN



### Clima Presente: TWL – T = 100 años





## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

### ESCENARIOS CLIMÁTICOS

**2 HORIZONTES TEMPORALES** — [ CLIMA ACTUAL: T = 100 años / T = 500 años  
LARGO PLAZO: AÑO 2100

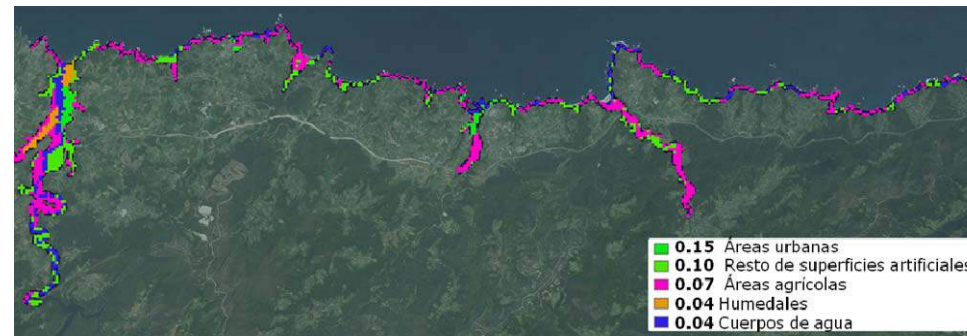
**2 TIPOS DE INUNDACIÓN** — [ INUNDACIÓN PERMANENTE (SLR) — [ SLR<sub>1</sub> = 0.45 m (RCP4.5 Slangen et al., 2014)  
SLR<sub>2</sub> = 0.65 m (RCP8.5 Slangen et al., 2014)  
SLR<sub>3</sub> = 1 m (High++)  
EVENTOS EXTREMOS DE INUNDACIÓN (CI) — [ T<sub>1</sub> = 100 años

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

## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

### FACTORES IMPORTANTES EN LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DE LA INUNDACIÓN

DISTRIBUCIÓN  
ESPACIAL DE  
RUGOSIDADES  
 $n$  DE MANNING



MAREA  
ASTRONÓMICA  
PRECIPITACIÓN  
LOCAL  
CAUDAL

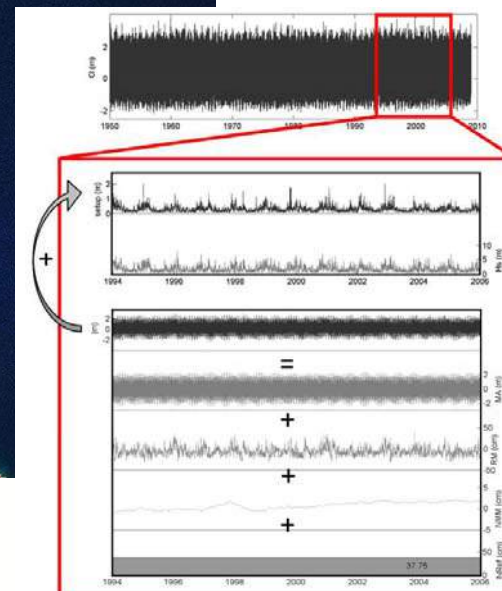
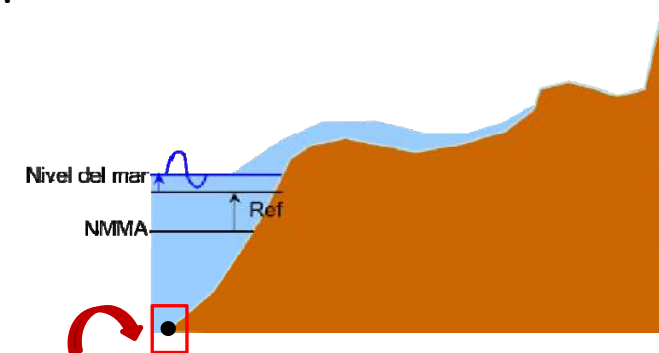




## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON DATOS DE REANÁLISIS

### SEGMENTACIÓN DE LA COSTA

- Se trazan perfiles a lo largo de toda la costa cada 200 m.



- Las dinámicas a pie de perfil se caracterizan mediante bases de datos horarias de más de 60 años (1948-2008) del proyecto C3E.

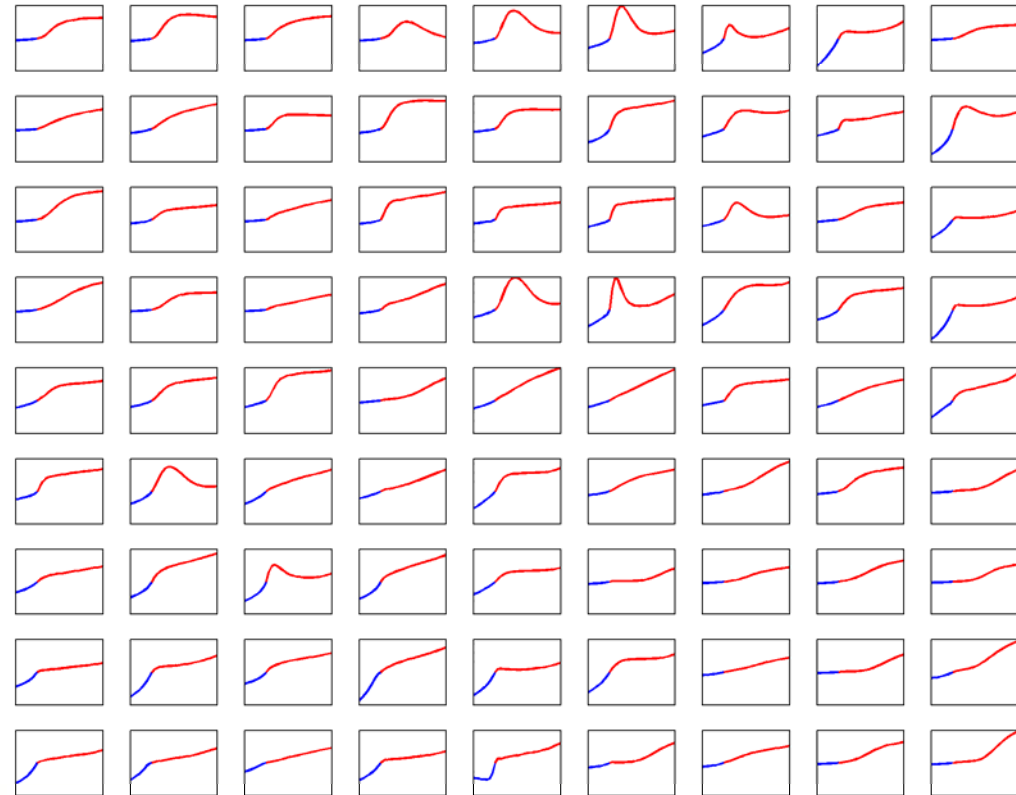


## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON DATOS DE REANÁLISIS

### CLASIFICACIÓN DE PERFILES ADIMENSIONALES

- Se definen perfiles adimensionales que incorporan la información de la geometría real del perfil (dunas, cambios de pendientes, etc.) y de la dinámica actuante ( $H_s$ ,  $T_p$ , Nivel).
- Los 5000000 perfiles se agrupan en 121 tipos, que serán los que finalmente se simularán con el modelo numérico.

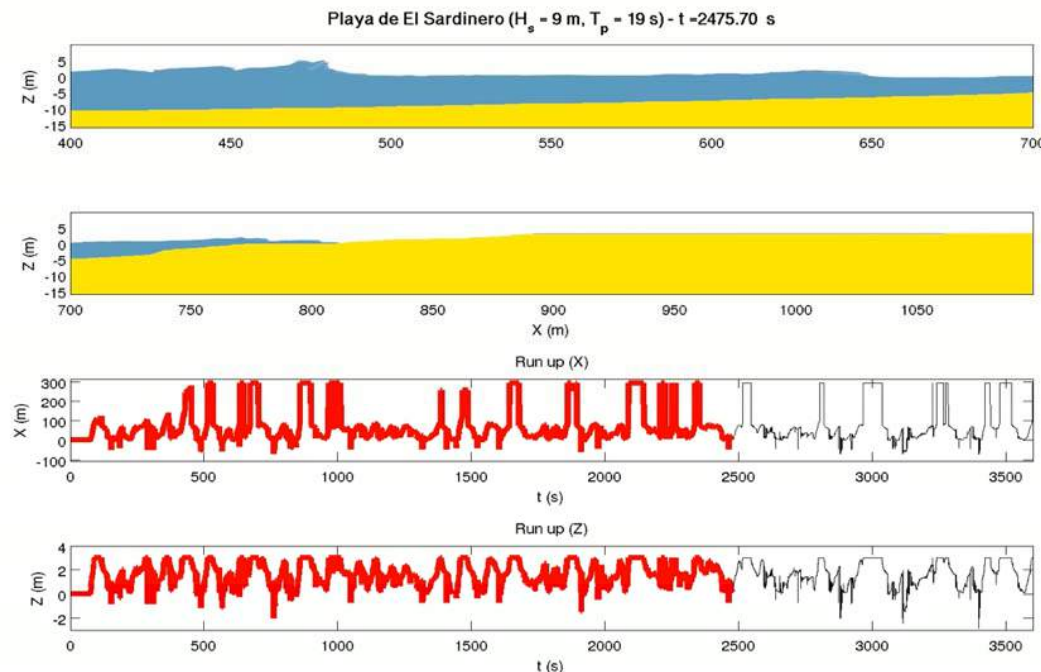
K-medias 11 x 11



## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON DATOS DE REANÁLISIS

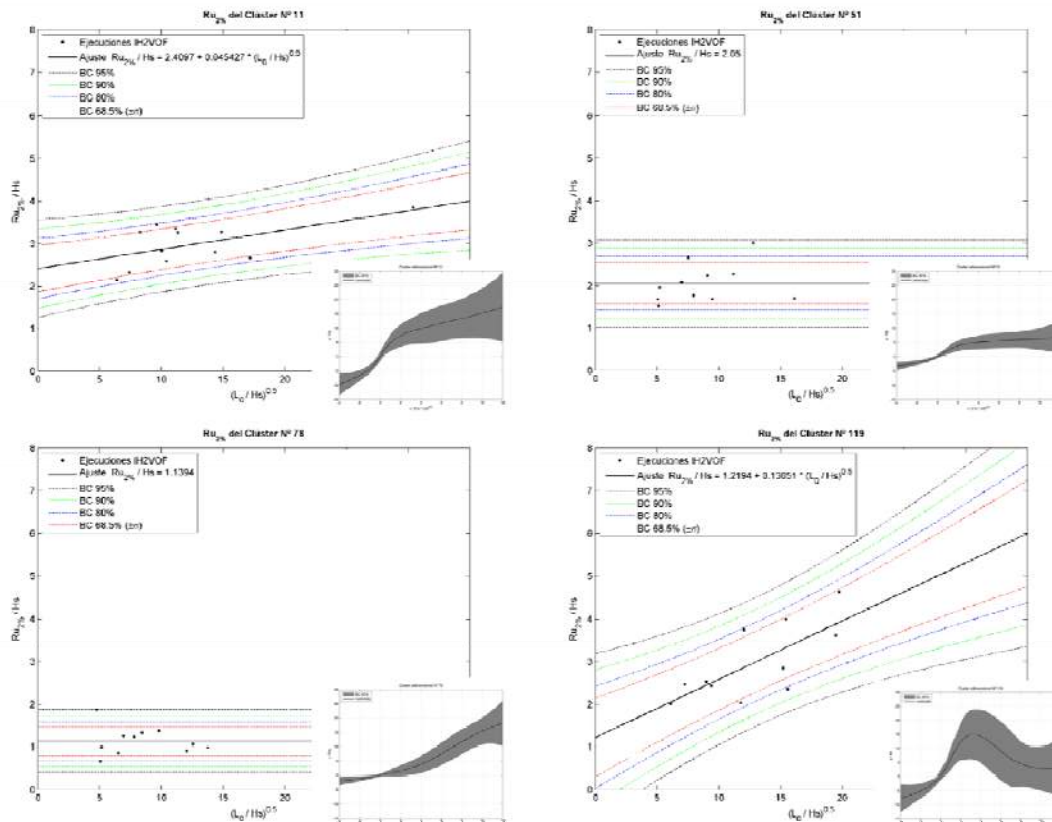
### MODELADO NUMÉRICO

- En cada tipo de perfil se seleccionan los 10-15 estados de mar ( $H_s$ ,  $T_p$  y Nivel) más distintos entre sí y se determina su perfil real.
- Se realizan **1000** ejecuciones numéricas para sacar  $Ru_{2\%}$  e  $I_{2\%}$ .

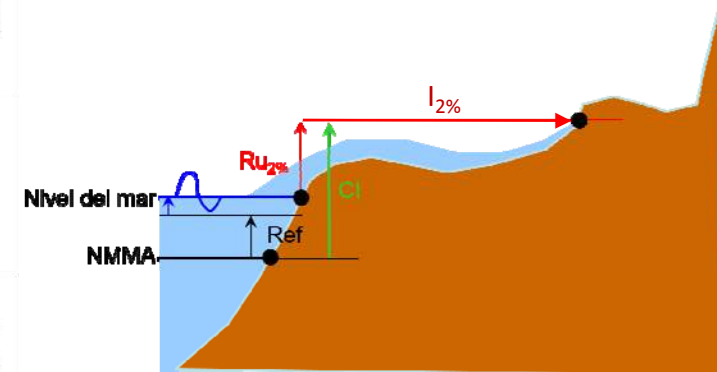


## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON DATOS DE REANÁLISIS

### GENERACIÓN DE FORMULACIONES SEMI-EMPÍRICAS



- Se genera una colección de fórmulas IH2VOF para  $Ru_{2\%}$  e  $L_{2\%}$  válidas para todas las dinámicas actuantes en las costas españolas y geometrías de perfil (salvo acantilados)

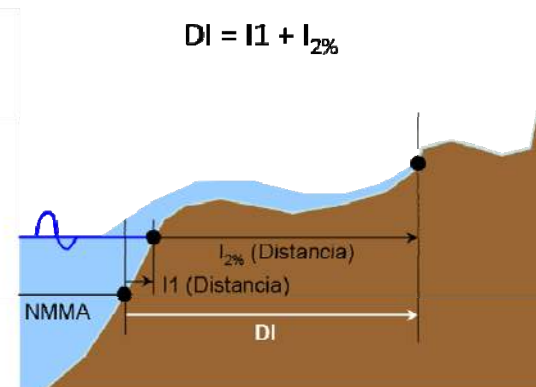
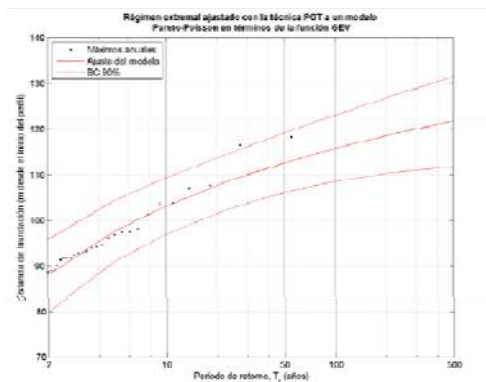
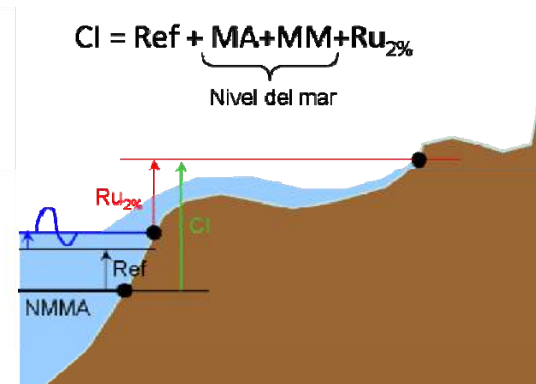
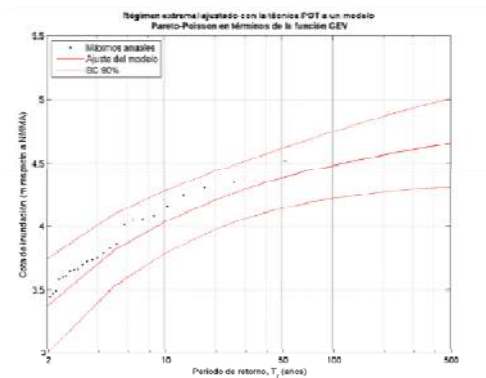




## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON DATOS DE REANÁLISIS

### ANÁLISIS EXTREMAL

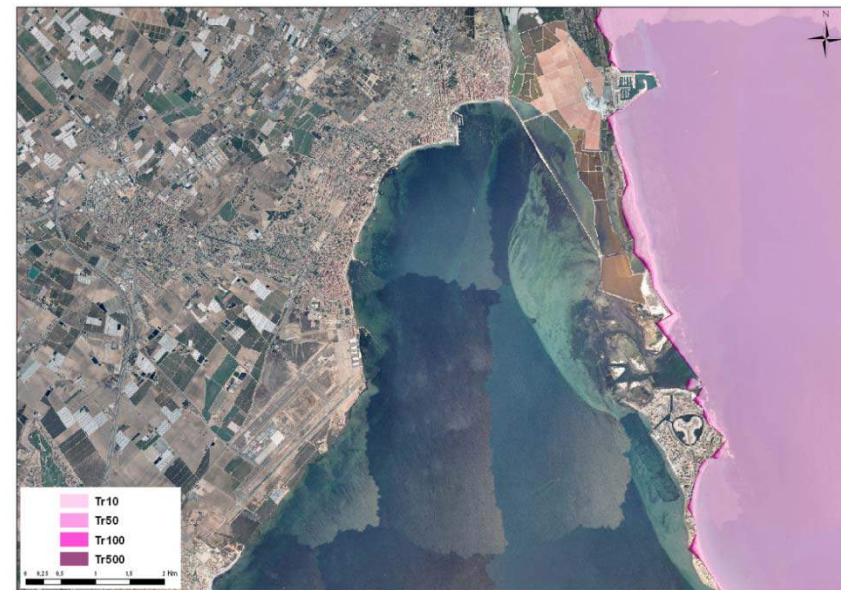
- La formulación permite obtener series históricas de cota y distancia de inundación y ajustar el régimen extremal POT.



## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON DATOS DE REANÁLISIS

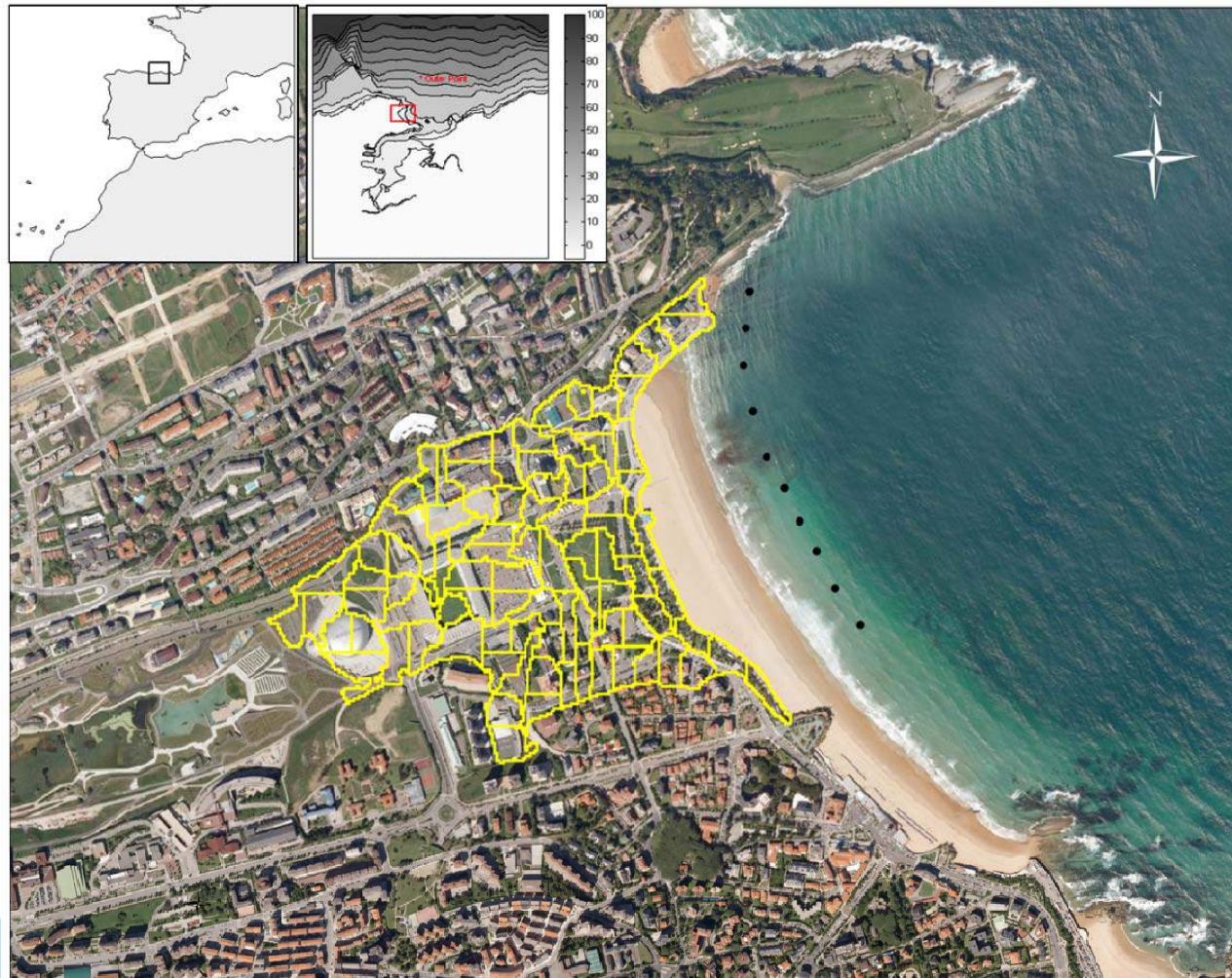
### GENERACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN

- Se calcula la extensión de la inundación para distintos periodos de retorno ( $Tr$ ): 10, 50, 100 y 500 años.



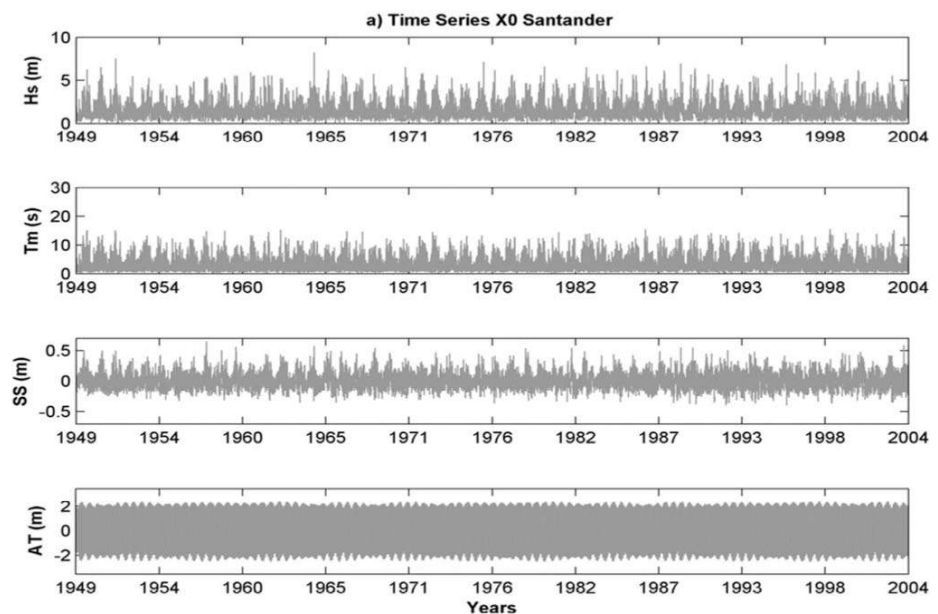
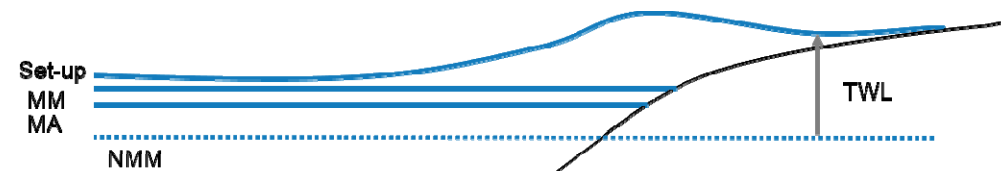


## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON GENERADOR ESTOCÁSTICO

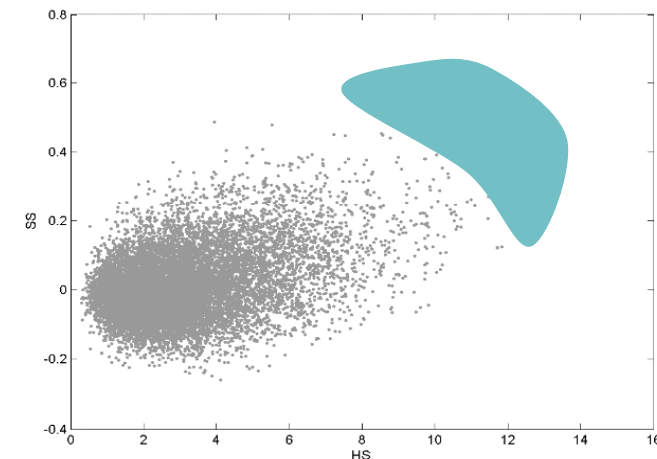
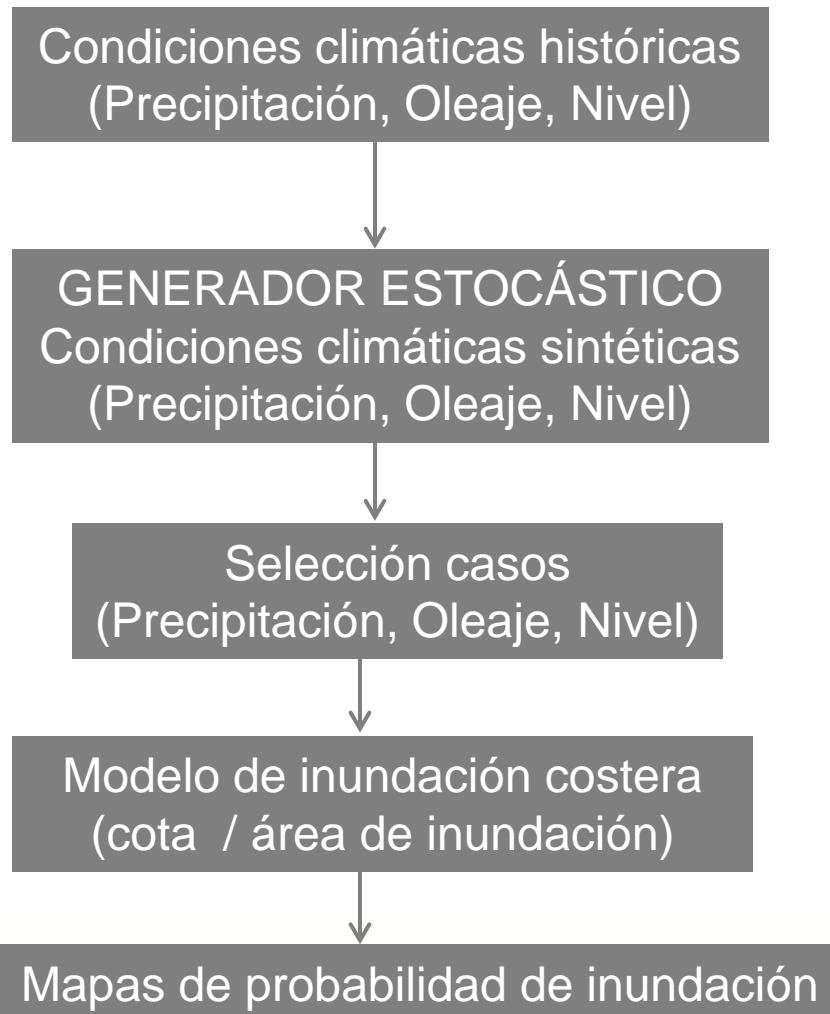




ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL  
 IMPACTO. CON GENERADOR ESTOCÁSTICO



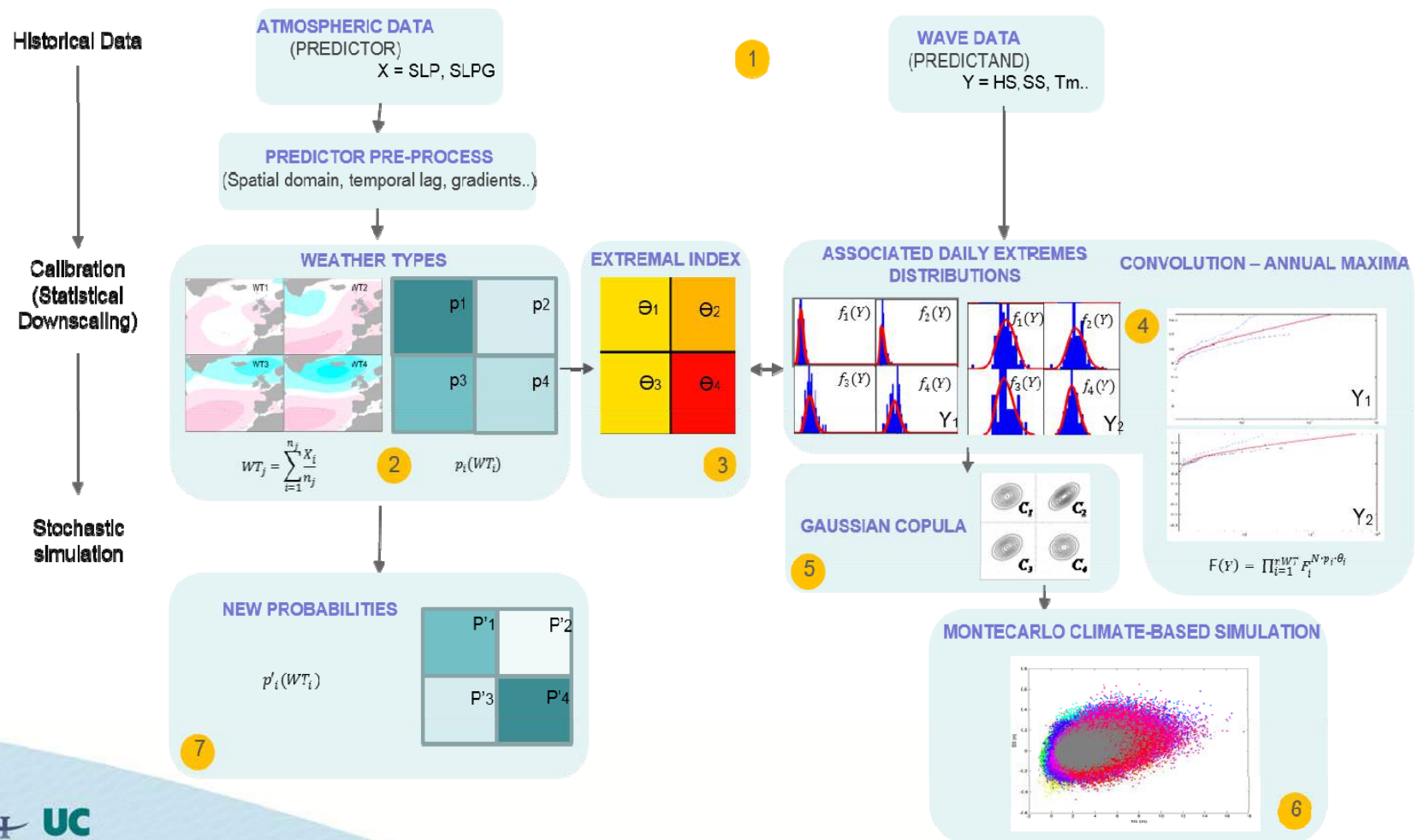
## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON GENERADOR ESTOCÁSTICO



OBJETIVO:  
Incrementar la población  
multivariada de extremos

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

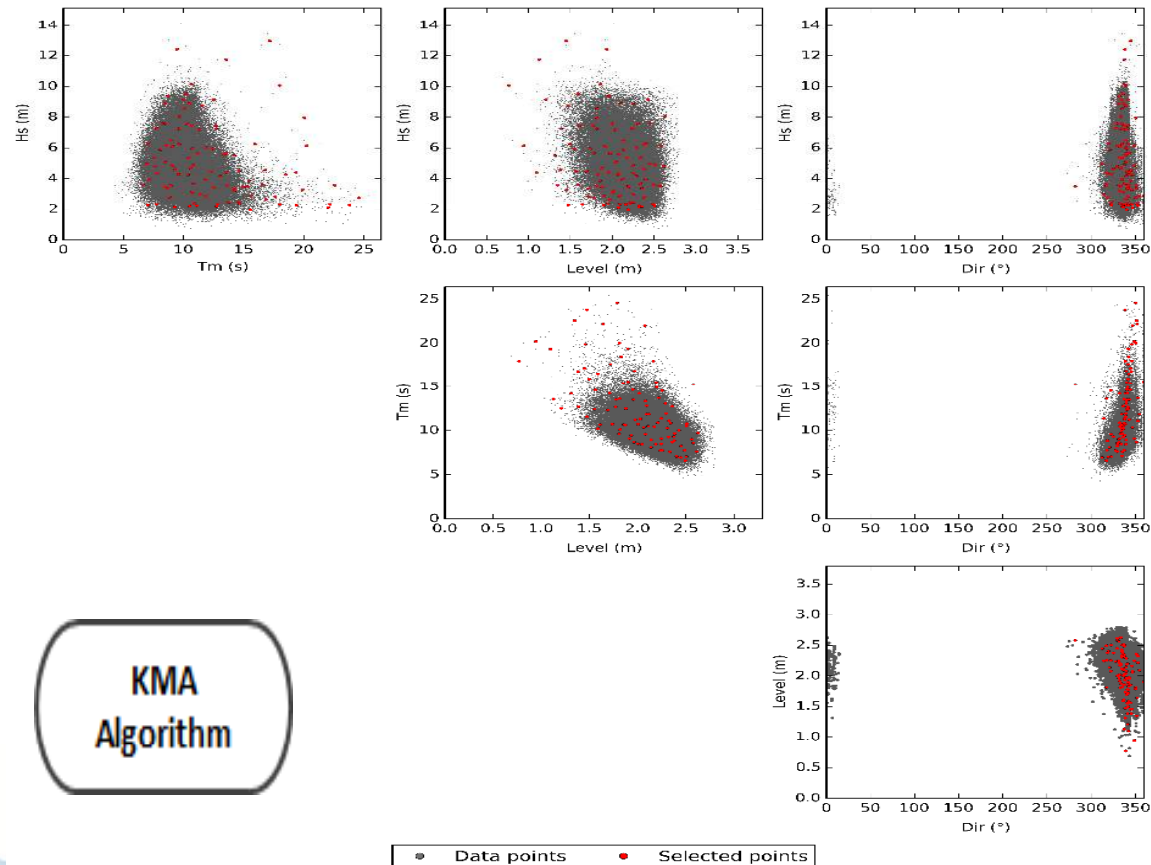
### GENERADOR ESTOCÁSTICO DE EXTREMOS





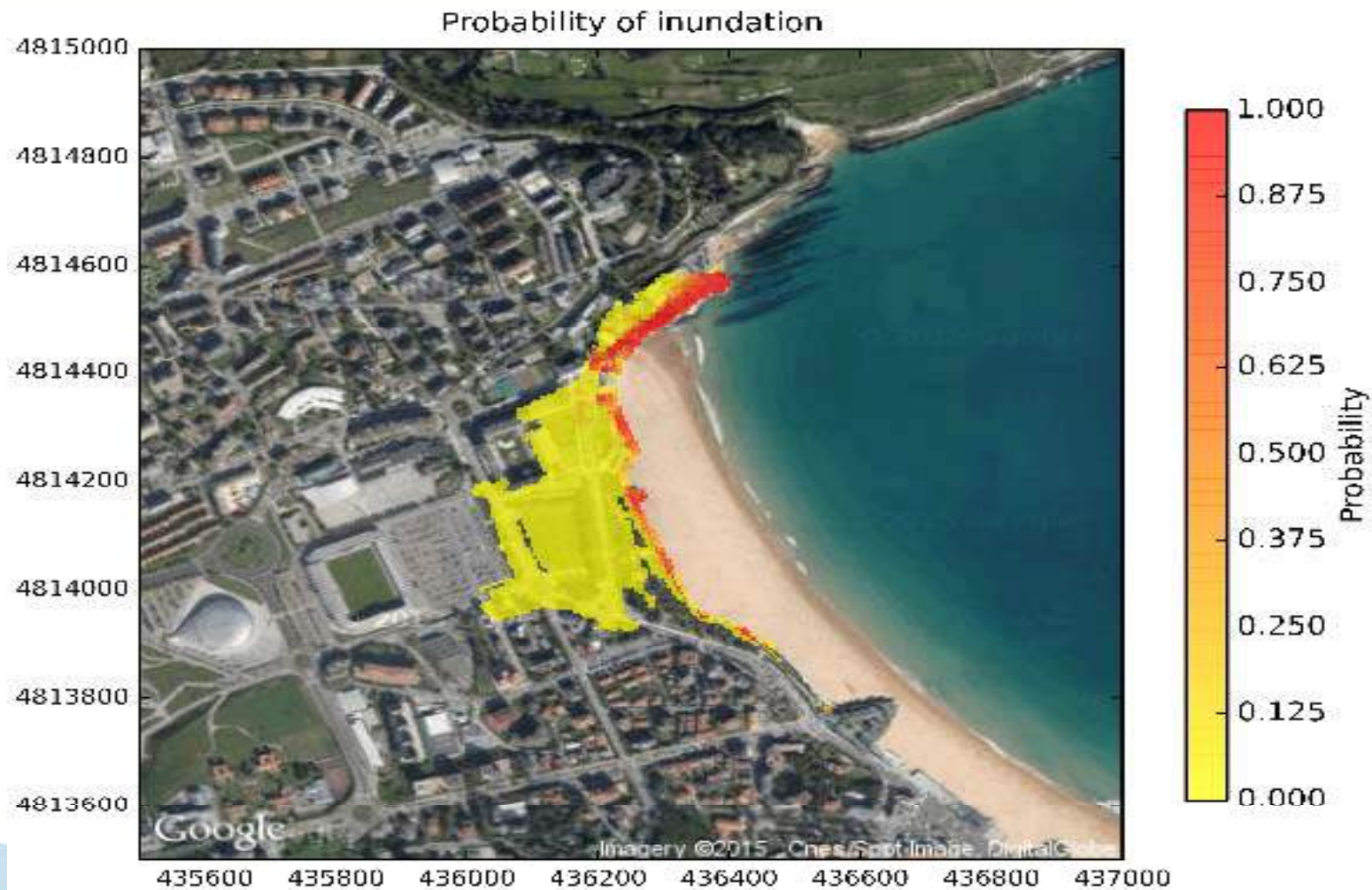
## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON GENERADOR ESTOCÁSTICO

- Se selecciona un número reducido (100) de condiciones multivariadas (oleaje y niveles) de las miles de simulaciones sintéticas generadas.

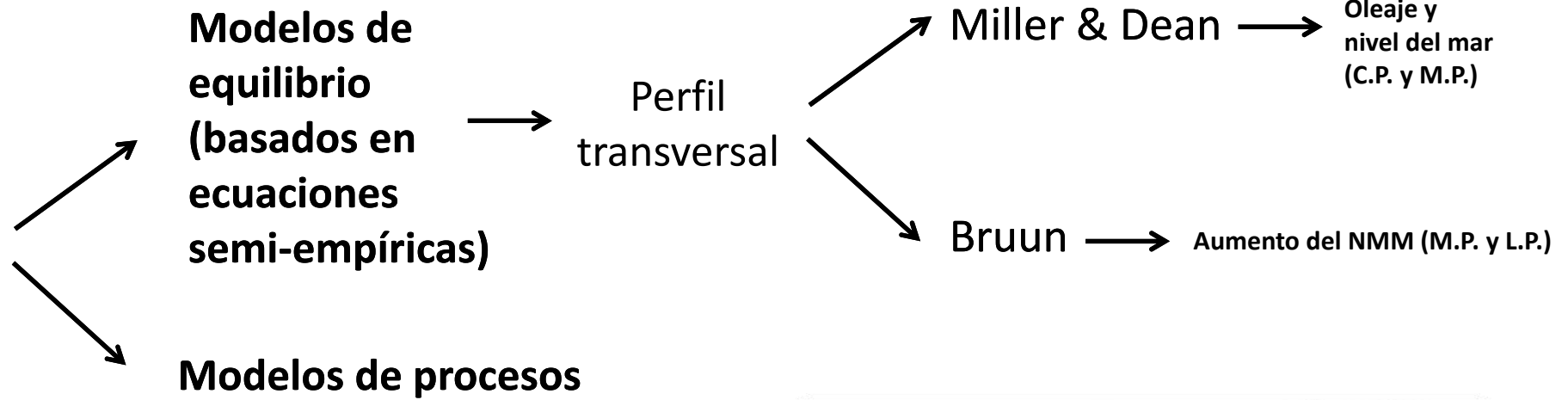


KMA  
Algorithm

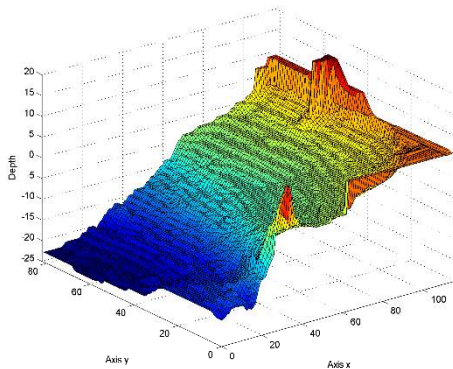
## ESCALA LOCAL – ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL IMPACTO. CON GENERADOR ESTOCÁSTICO



## ¿CÓMO PODEMOS ESTUDIAR LA EROSIÓN COSTERA?



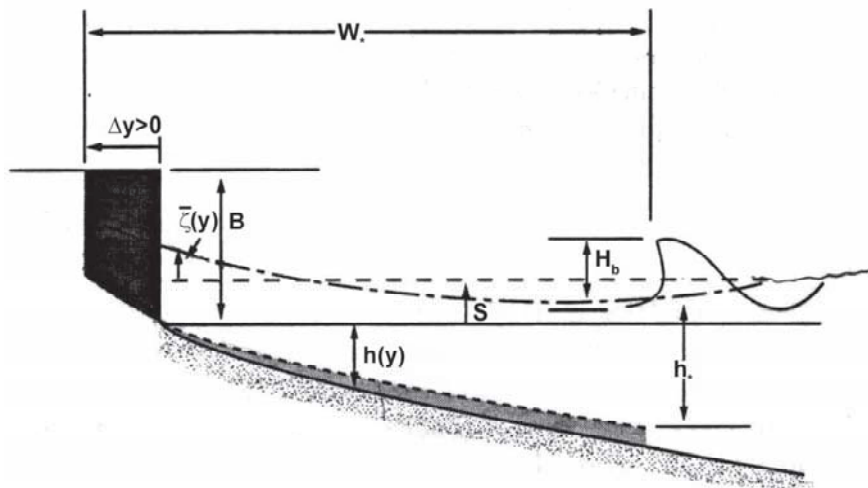
X-Beach





## MODELO DE MILLER & DEAN (2004)

Erosión por efecto del oleaje y del nivel del mar (MM y MA)



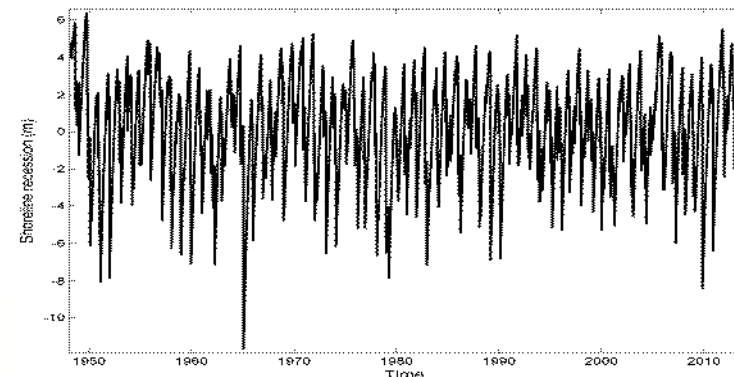
$$\frac{dy(t)}{dt} = k(y_{eq}(t) - y(t))$$

$$y_{eq}(t) = \Delta y_0 + \Delta y_{eq}(t)$$

$$\Delta y_{eq}(t) = -W^*(t) \left( \frac{0.106H_b(t) + S(t) + T(t)}{B + 2.0H_b(t) + CM} \right)$$

$$W^* = (h_b / A)^{3/2}$$

- Aplicable a medio plazo
- Tendente a una posición de equilibrio
- Con capacidad para reproducir los movimientos de la línea de costa debidos a procesos transversales

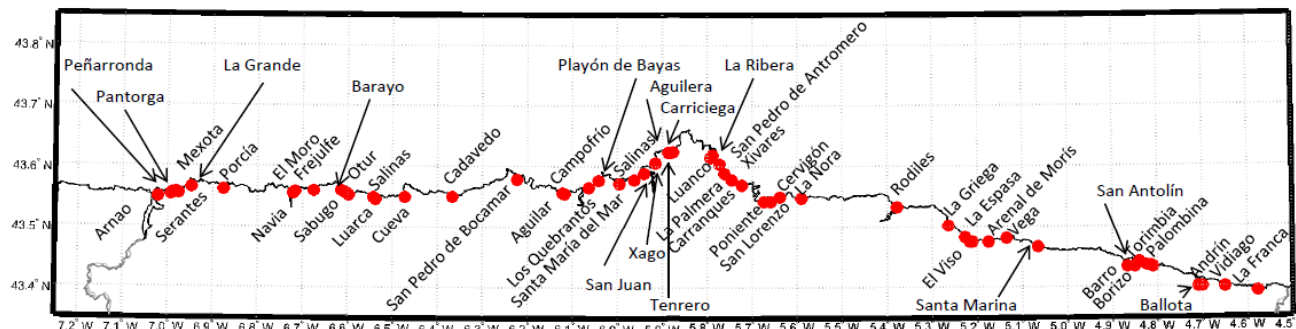


## MODELO DE MILLER & DEAN (2004)

Erosión por efecto del oleaje y del nivel del mar (MM y MA)

El estudio de la erosión de playas es un problema complicado y específico de cada playa. Entre otros factores, influyen las características físicas del sedimento, las condiciones locales del oleaje y la batimetría, la orientación y la configuración de la costa.

### SELECCIÓN DE PLAYAS DE ESTUDIO



#### CRITERIOS:

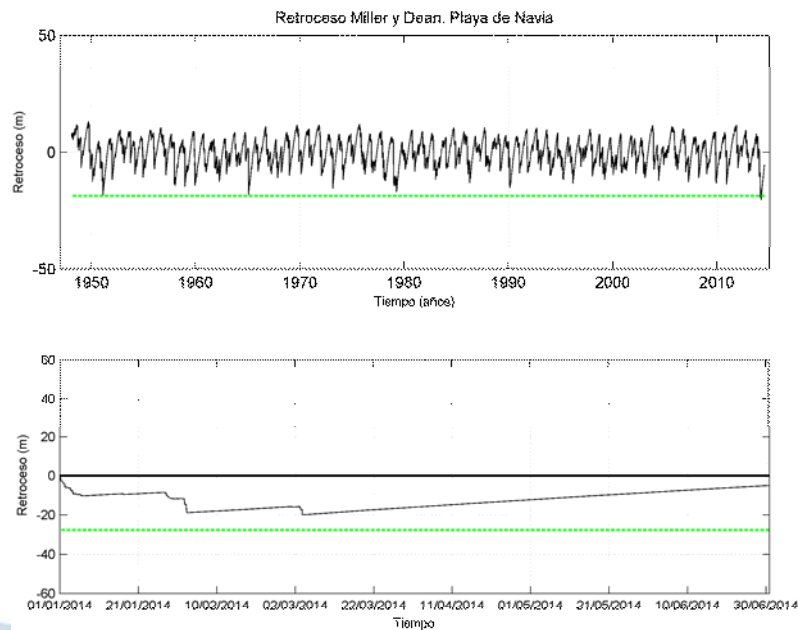
- ✓ Longitud: igual o mayor a 200 metros
- ✓ Tipología de sedimento: arena
- ✓ Hipótesis: todas las playas son encajadas

## MODELO DE MILLER & DEAN (2004)

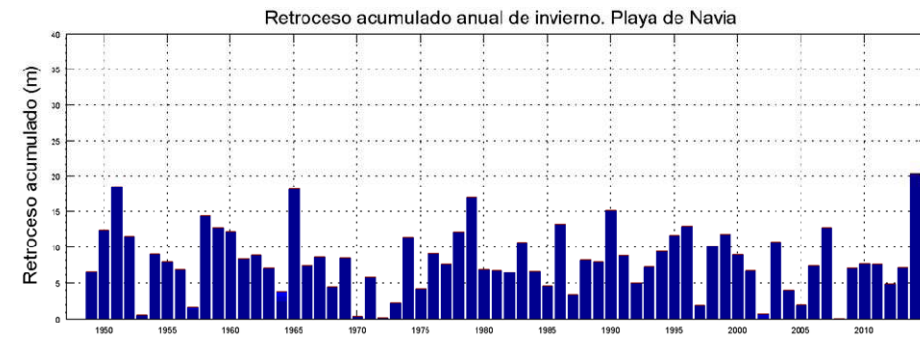
Erosión por efecto del oleaje y del nivel del mar (MM y MA)

- En cada playa:

### RECONSTRUCCIÓN DE LA SERIE TEMPORAL DE EROSION-ACRECIÓN



### VARIABILIDAD INTERANUAL DE LA EROSIÓN ACUMULADA EN INVIERNO

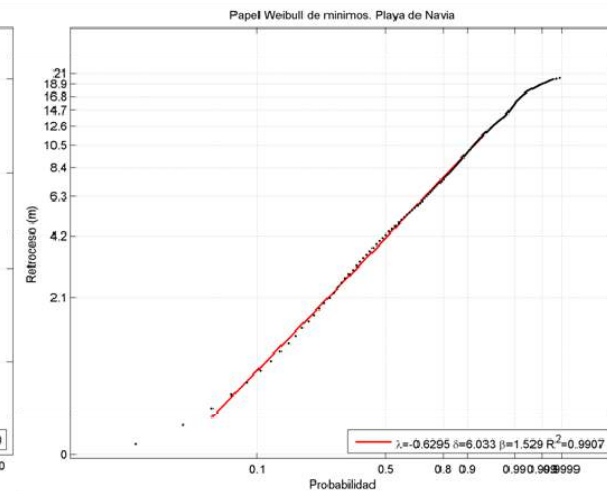
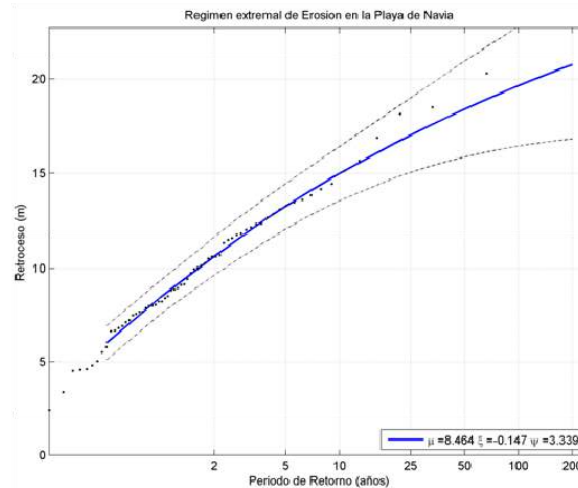




## MODELO DE MILLER & DEAN (2004)

Erosión por efecto del oleaje y del nivel del mar (MM y MA)

- La reconstrucción de las series históricas de erosión acreción permite ajustar los regímenes medio y extremal

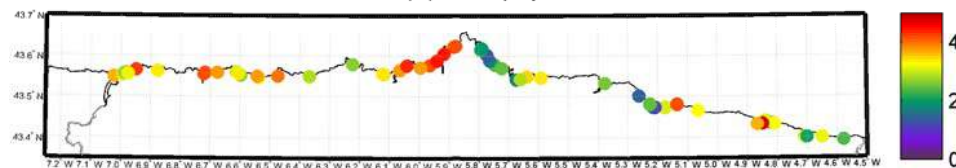


## MODELO DE MILLER & DEAN (2004)

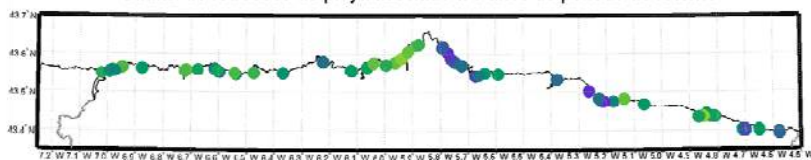
Erosión por efecto del oleaje y del nivel del mar (MM y MA)

- Se ha obtenido el retroceso medio de la línea de costa (asociado al RM) y otros estadísticos relativos al RE: el retroceso de 5, 10, 25 y 50 años de periodo de retorno y su indicador asociado, este último calculado como el cociente de un cuantil de retroceso y el ancho medio de playa seca.

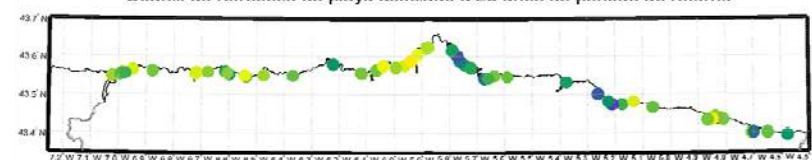
Retroceso medio (m) de las playas de Asturias



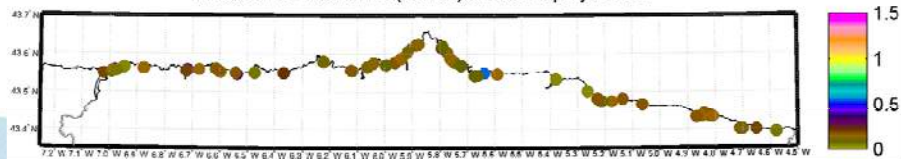
Cuantil de retroceso de playa asociado a 5 años de periodo de retorno



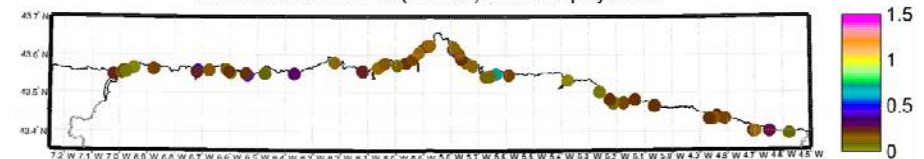
Cuantil de retroceso de playa asociado a 25 años de periodo de retorno



Indicador de erosión Re(5 años)/ancho de playa seca

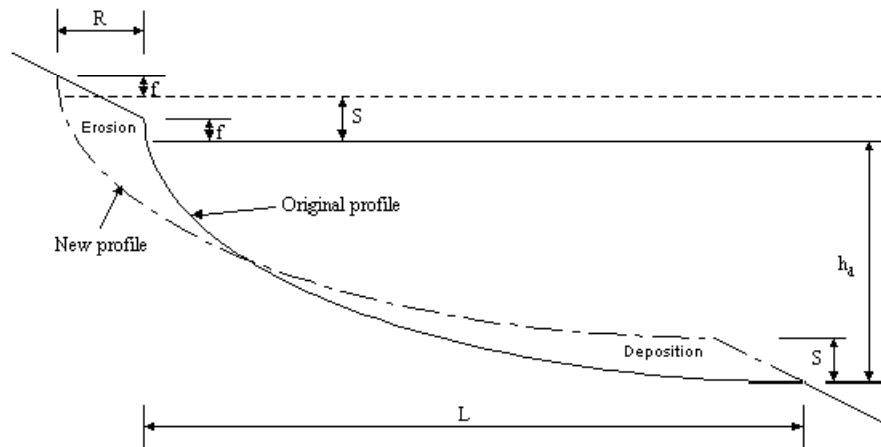


Indicador de erosión Re(25 años)/ancho de playa seca



## ‘REGLA DE BRUUN’ (Bruun, 1983)

Erosión por efecto del aumento del Nivel Medio del Mar (NMM)



$$R = S \cdot \frac{L}{B + h^*}$$

$S$  = aumento del nivel del mar

$L$  = longitud del perfil activo

$B$  = altura de la berma

$h^*$  = profundidad del perfil de equilibrio

- Aplicable a medio y largo plazo, es considerado como el único predictor del retroceso de la línea de costa frente al aumento del NMM
- El ascenso del NMM produce un ascenso del perfil de playa sin que la forma del perfil se vea modificado
- El ascenso debe producirse a costa de la arena existente
- El futuro perfil se ve retranqueado para cubrir el déficit de arena

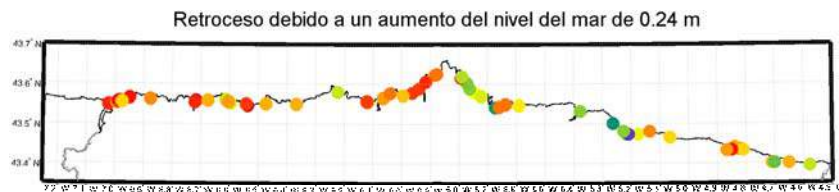


## ‘REGLA DE BRUUN’ (Bruun, 1983)

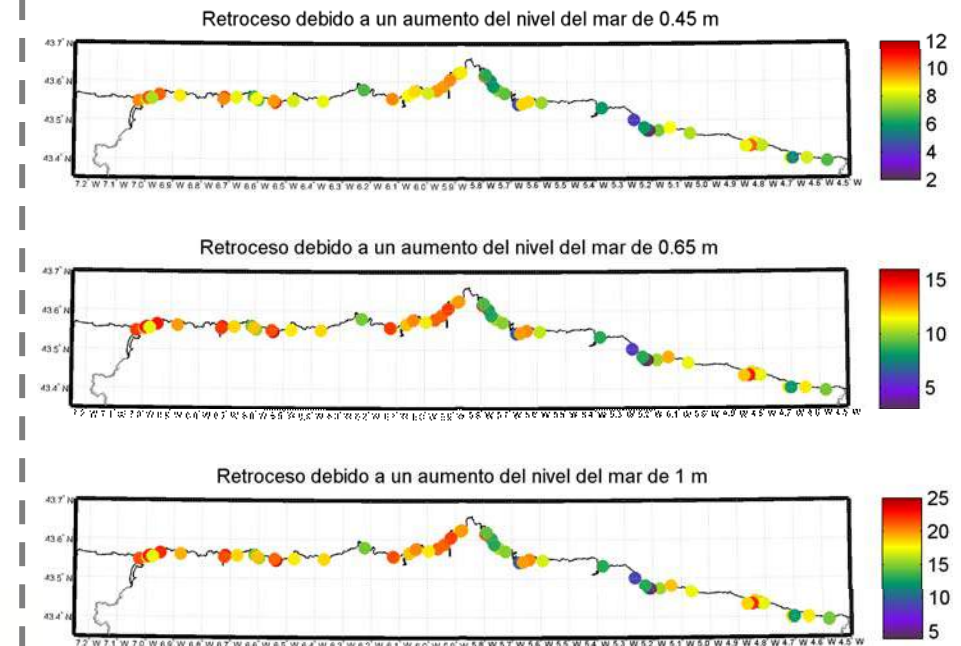
Erosión por efecto del aumento del Nivel Medio del Mar (NMM)

- La conocida ‘Regla de Bruun’ establece que un ascenso del NMM provocará un retroceso del perfil de playa.

### Horizonte 2050



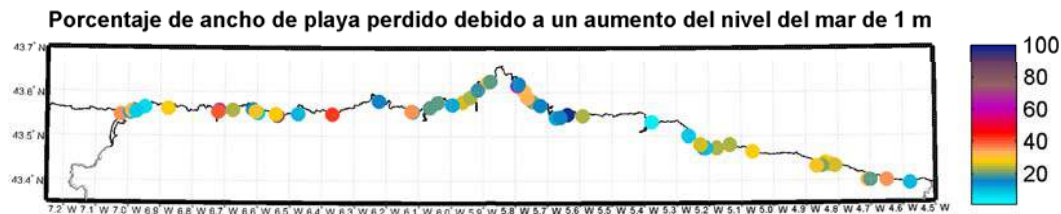
### Horizonte 2100



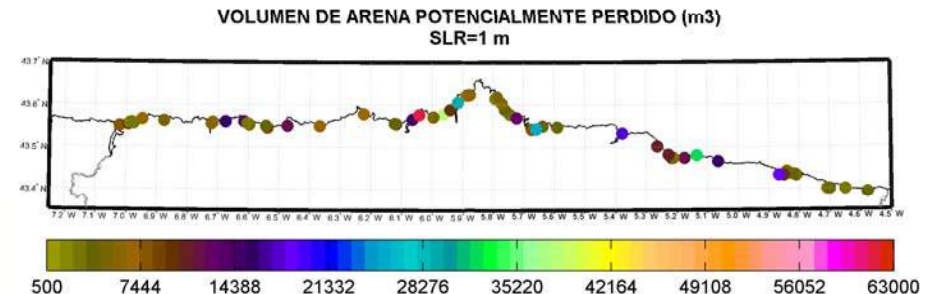
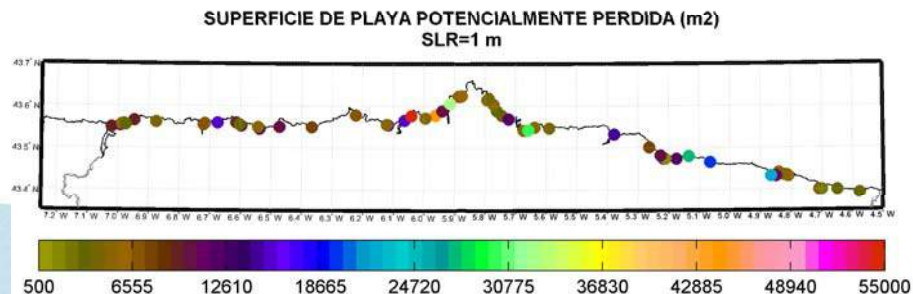
## ‘REGLA DE BRUUN’ (Bruun, 1983)

Erosión por efecto del aumento del Nivel Medio del Mar (NMM)

- Para evaluar la magnitud real de las consecuencias, este retroceso de la línea de costa puede referirse al porcentaje de ancho de playa perdido. De este modo, se puede saber qué playas se encontrarán en una situación crítica a medio y largo plazo en caso de no actuar al respecto.

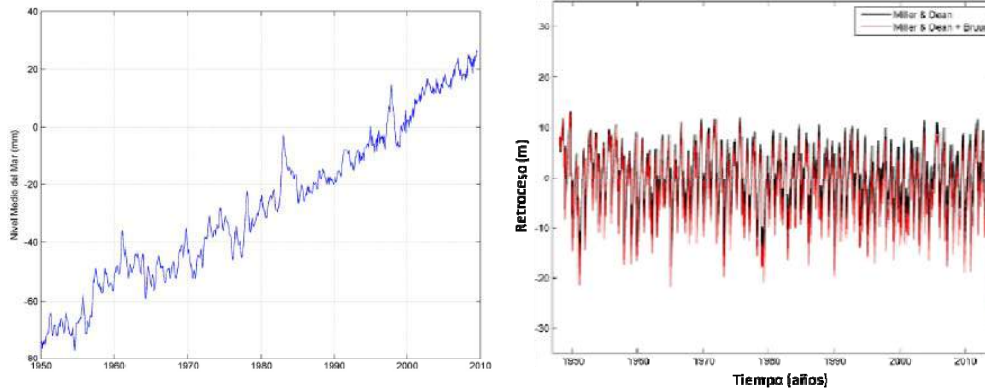


- O incluso determinar la superficie de playa seca y el volumen de sedimento potencialmente perdidos para cada aumento del NMM.



## ¿CÓMO OBTENER LA RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA FRENTE A VARIACIONES EN MA, MM Y SET-UP DEL OLEAJE INCLUYENDO EL AUMENTO DEL NMM?

En la actualidad, se conoce cómo ha evolucionado la línea de costa desde 1950 hasta hoy, y qué efecto ha tenido el aumento del NMM sobre esta evolución.



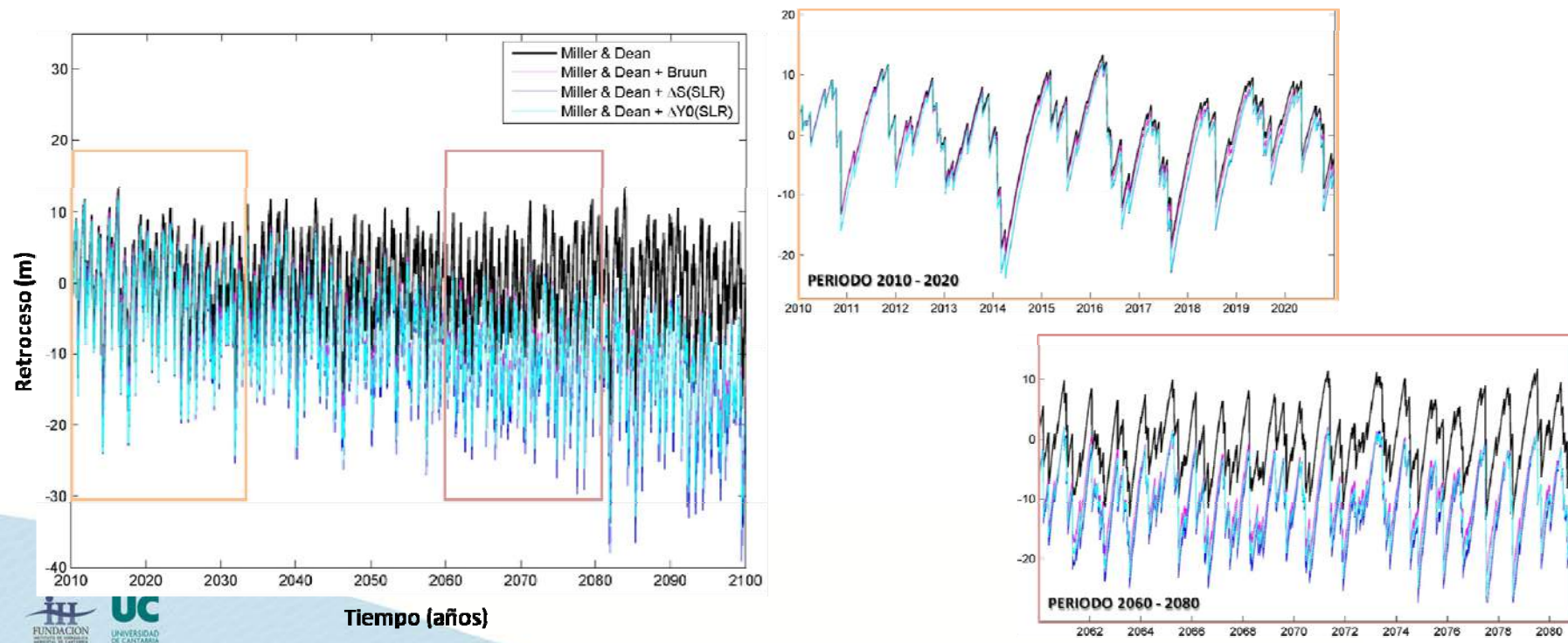
Pero, ¿cómo influirá el aumento del nivel medio del mar sobre la *evolución futura?*

Para evaluar el retroceso de la línea de costa a medio y largo plazo (años horizonte 2050 y 2100, respectivamente) **no es suficiente con tener en cuenta el aumento del nivel medio del mar sino que otras variables**, como son la marea meteorológica, la marea astronómica y el oleaje, **deben ser tenidas en cuenta.**



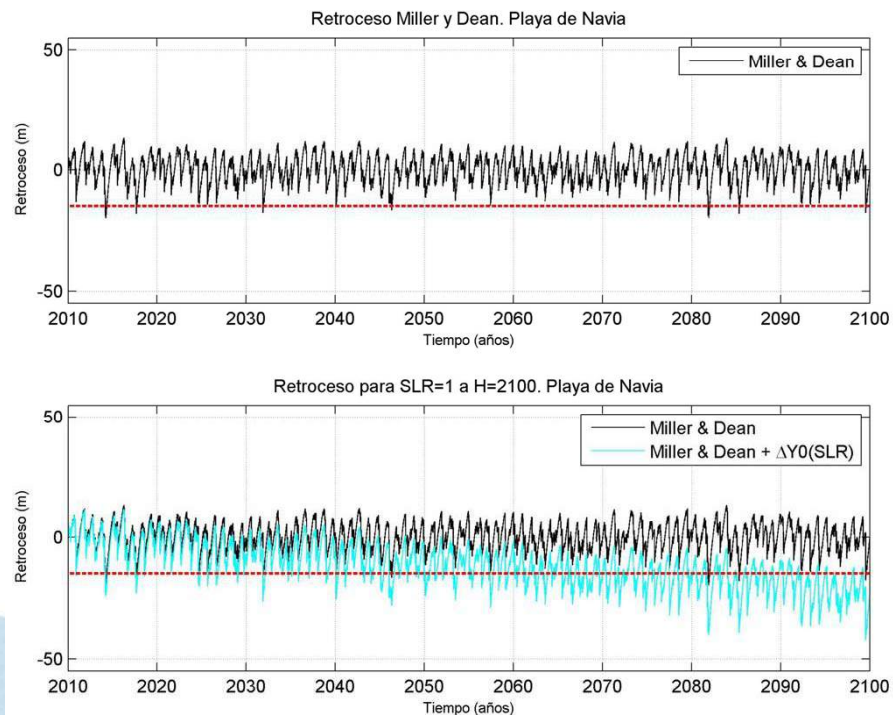
## ¿CÓMO OBTENER LA RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA FRENTE A VARIACIONES EN MA, MM Y SET-UP DEL OLEAJE INCLUYENDO EL AUMENTO DEL NMM?

No obstante, en la práctica, no está claro cómo resolver la interacción y acoplamiento entre las diferentes escalas. En este estudio, se proponen tres aproximaciones que combinan las formulaciones de MD y Bruun:

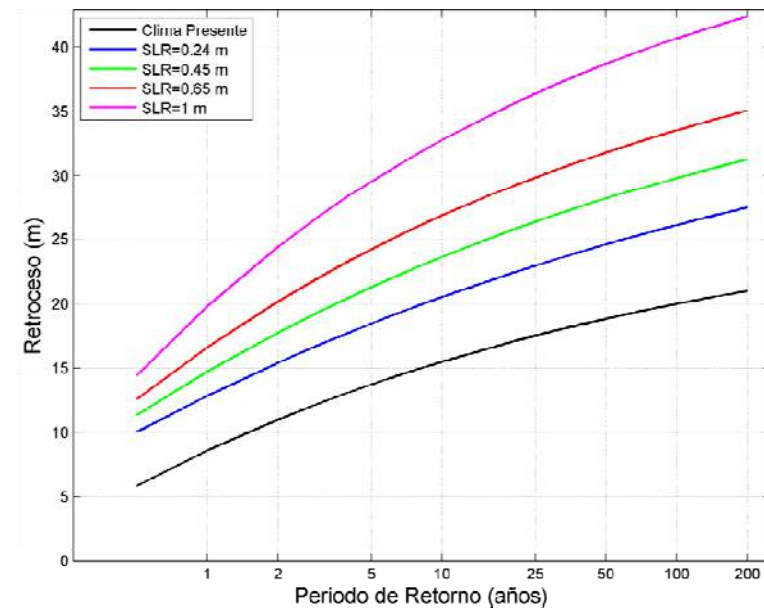


# ¿CÓMO OBTENER LA RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA FRENTE A VARIACIONES EN MA, MM Y SET-UP DEL OLEAJE INCLUYENDO EL AUMENTO DEL NMM?

## RECONSTRUCCIÓN DE LA SERIE TEMPORAL DE EROSION-ACRECIÓN A 2100 PARA UN AUMENTO DEL NMM DE 1 m

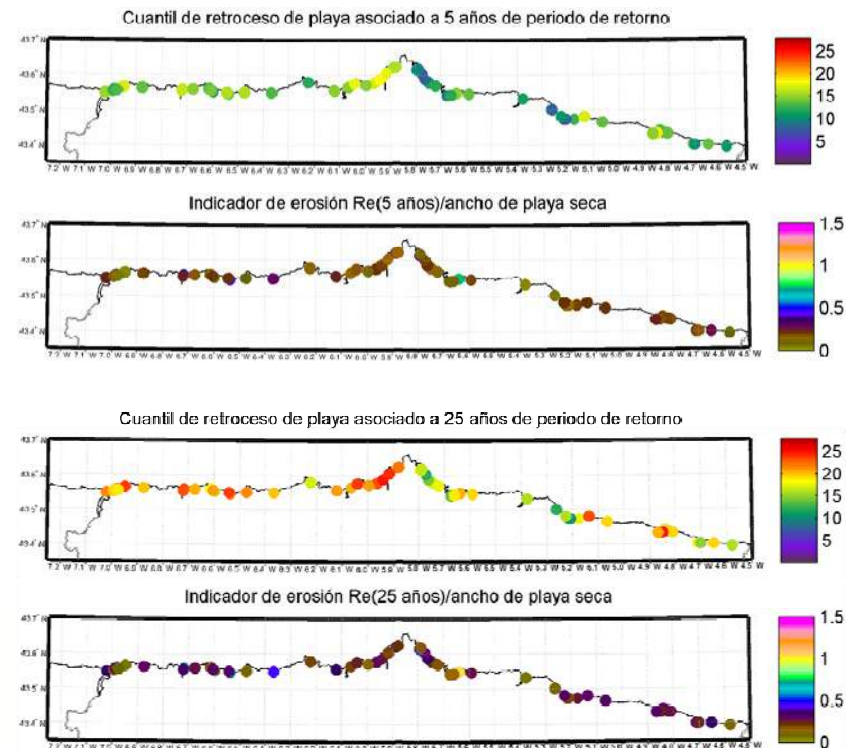
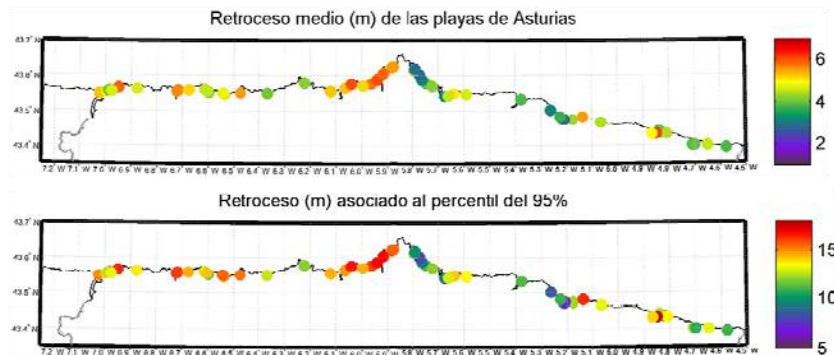


## CAMBIOS EN EL RÉGIMEN EXTREMAL PARA DISTINTOS AUMENTOS DEL NMM



## ¿CÓMO OBTENER LA RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA FRENTE A VARIACIONES EN MA, MM Y SET-UP DEL OLEAJE INCLUYENDO EL AUMENTO DEL NMM?

- Tras ajustar los regímenes medio extremal de las series de erosión-acreción obtenidas para los distintos aumentos del NMM considerados, se han extraído algunos estadísticos significativos.





## MODELOS DE IMPACTO



**Iñigo Losada Rodríguez**

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

*Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, "IH Cantabria"  
Universidad de Cantabria*