

PROYECTO

“Generación e Integración de Bases de Datos Climáticas, Históricas y de Proyecciones de Cambio Climático, para la Gestión de Riesgos Costeros en el Estado de Santa Catarina”

PARA:

Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (*CEPAL*)

Iñigo J. Losada (losadai@unican.es)

➤ **Objetivo general:**

Generación de las bases de datos necesarias relativas a las dinámicas, tanto históricas como de proyecciones de cambio climático, para el análisis de riesgos costeros en la costa de Santa Catarina. Además, se contempla el desarrollo de una metodología para realizar estudios de alta resolución de impactos de inundación, con aplicación en una localización específica de la costa de Santa Catarina.



ITAPOÁ



ITAJAI



LA LAGUNA



FLORIANÓPOLIS

➤ **Plan de trabajo:**

Tarea 1. Recopilación de bases de datos

Tarea 2. Desarrollo de bases de datos históricas de dinámicas marinas

Tarea 3. Desarrollo de bases de datos de proyecciones de cambio climático de dinámicas marinas

Tarea 4. Construcción e integración de las bases de datos y análisis.

Tarea 5. Elaboración de un Atlas de caracterización climática y un visor para los resultados.

Tarea 6. Desarrollo de la metodología para el análisis de alta resolución de impactos por inundación en un tramo de costa

Tarea 7. Capacitación.

➤ **Plazo Ejecución:**

7 meses

■ Estudios sobre el Clima Marítimo en Brazil:

- ▶ *Alves, J.H.G.M., Melo, E. (2001). Measurement and modeling of wind waves at the northern coast of Santa Catarina, Brazil. Brazilian J. Oceanogr., 49(1/2): 13-28.*
- ▶ *Eloi Melo Fo, Guilherme R. Hammes, Davide Franco, Marco A.R. Romeu. Avaliação de desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina*
- ▶ *Da Rocha, R.P., Sugahara, S., Da Silveira, R.B. (2004). Sea waves generated by extratropical cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and validation against altimeter data. Weather and Forecasting, 19 (2), pp. 398-410.*
- ▶ *Jansen S. Poças, João A. Lorenzetti, Eloi Melo Fo, Davide Franco (2010). Análise comparativa dos espectros de ondas observados ao largo de Santa Catarina e de Rio Grande por ondógrafos, radar de abertura sintética e derivados de modelo. 4º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande/RS.*
- ▶ *Silva, P.G., Klein, A.H.F., Gonzalez, M., Gutierrez, O., Espejo, A. (2015). Performance assessment of the database downscaled ocean waves (DOW) on Santa Catarina coast, South Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências (Annals of the Brazilian Academy of Sciences).*
- ▶ *Pimenta, F., Kempton, W., Garvine, R. (2008). Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. Renewable Energy 33, 2375–2387.*

■ Estudios sobre el Clima en Brazil y sus cambios, con interés para la Costa:

- ▶ de Figueiredo, S. A. (2013). **Modelling climate change effects in southern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, 1933-1938.
- ▶ Alfredini, P., Arasaki, E., Pezzoli, A., Arcorace, M., Cristofori, E., & de Sousa Jr, W. C. (2014). **Exposure of Santos harbor metropolitan area (Brazil) to wave and storm surge climate changes**. *Water Quality, Exposure and Health*, 6(1-2), 73-88.
- ▶ Druyan, L. M., Fulakeza, M., & Lonergan, P. (2002). **Dynamic downscaling of seasonal climate predictions over Brazil**. *Journal of Climate*, 15(23), 3411-3426.
- ▶ M. A Barreto Ramos, S. Viana, E. Bernard do Espírito Santo (2011). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Capt.11 Mudanças climáticas**.
- ▶ Giorgi, F., Coppola, E., Raffaele, F., Diro, G. T., Fuentes-Franco, R., Giuliani, G., ... & Torma, C. (2014). **Changes in extremes and hydroclimatic regimes in the CREMA ensemble projections**. *Climatic change*, 125(1), 39-51.
- ▶ Llopart, M., Coppola, E., Giorgi, F., da Rocha, R. P., & Cuadra, S. V. (2014). **Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins**. *Climatic change*, 125(1), 111-125.
- ▶ Pezza, A. B., & Simmonds, I. (2005). **The first South Atlantic hurricane: Unprecedented blocking, low shear and climate change**. *Geophysical Research Letters*, 32(15).
- ▶ Pezza, A. B., Simmonds, I., & Pereira Filho, A. J. (2009). **Climate perspective on the large-scale circulation associated with the transition of the first South Atlantic hurricane**. *International Journal of Climatology*, 29(8), 1116-1130.
- ▶ da Rocha, R. P., Reboita, M. S., Dutra, L. M. M., Llopart, M. P., & Coppola, E. (2014). **Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain**. *Climatic change*, 125(1), 95-109.

■ Impactos por el Cambio Climático en la costa de Brasil;

- ▶ *Muehe, D. I. E. T. E. R. (2010). **Brazilian coastal vulnerability to climate change**. Pan American Journal of Aquatic Science–Electronic Peer-Review Scientific Journal, 5(2), 173-183.*
- ▶ *J. A. Marengo (2009). **Climate change, Extreme Weather and Climate events in Brazil**. Report of Lloyds edition.*
- ▶ ***Climate: Observations, projections and impacts: Brazil** (2011). MetOffice report.*
- ▶ *Neves, C. F., & Muehe, D. (2010). **Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira**. Parcerias estratégicas, 13(27), 217-296.*
- ▶ *Nicolodi, J. L., & Petermann, R. M. (2010). **Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social, and technological aspects**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 5(2), 184-204.*
- ▶ *Pezzoli, A., Alfredini, P., Arasaki, E., Rosso, M., & De Sousa, W. C. (2013). **Impacts of climate change on management policy of the harbors, land areas and wetlands in the Sao Paolo State Coastline (Brazil)**. Journal of Climatology and Weather Forecasting, 1(1), 1-7.*

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

a) DATOS INSTRUMENTALES

- Boyas,
- Estaciones meteorológicas (especialmente nos interesan los datos de viento)
- Mareógrafos
- Pluviómetros, aforos de caudal.

b) DATOS DE BATIMETRÍA MARINA Y DATOS DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

c) OTRA INFORMACIÓN HISTÓRICA SOBRE:

- Subsistencia en la región
- Información/datos asociados a eventos extremos (niveles de mareas, tracks de ciclones extratropicales, etc..).



Dados Observacionais

Estações Meteorológicas

MARINHA DO BRASIL			
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CONVENCIONAIS			
Nº	NOME	LATITUDE	LONGITUDE
82096	Castroville	00° 31' N	050° 25' W
82143	Salinópolis	00° 37' S	047° 21' W
82395	Calcanhar	05° 10' S	035° 29' W
83495	Alorilhões	17° 58' S	038° 42' W
83650	Iha de Trindade	20° 30' S	029° 19' W
83700	São Tomé	22° 03' S	041° 03' W
83759	São Pedro D'Aldeia	22° 49' S	042° 06' W
83117	Iha Rasa	23° 04' S	043° 09' W
83599	Iha de Moela	24° 03' S	046° 16' W
83825	Iha do Mel	25° 30' S	048° 20' W
83925	Santa Marta	28° 36' S	048° 49' W
83970	Mustardas	31° 15' S	050° 54' W
83996	Onas	33° 45' S	053° 22' W

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA			
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS			
Nº	NOME	LATITUDE	LONGITUDE
81600	Salinópolis	00° 37' S	047° 21' W
81716	Santana	02° 10' S	043° 37' W



Programa Nacional de Boias (PIBOA)

MARINHA DO BRASIL		
BOIAS METEOROGRÁFICAS		
NOME	LATITUDE	LONGITUDE
Recife	08° 10' S	034° 34' W
Porto Seguro	16° 00' S	037° 50' W
Cabo Frio	23° 00' S	042° 12' W
Baía da Guanabara	22° 54' S	043° 09' W
Santos	25° 16' S	047° 56' W
Santa Catarina	28° 31' S	047° 24' W
Ilha Grande	31° 34' S	049° 53' W

GOOS Brasil

http://www.goosbrasil.org/br/semfich_lang.php?language=pt-br

Situação do Programa:

- 7 (sete) boias em operação

Últimas Notícias:

- Boia Recife - Boia nova, lançada em 9 de Dezembro de 2014.

- Boia Porto Seguro - Lançada em Novembro de 2012. Resgatada em 1º de Julho de 2013, após ato de vandalismo, foi recuperada e reavaliada em 3 de Dezembro de 2014. Feita manutenção em 15 de maio de 2015, com substituição de ADC e do sensor de ondas.

- Boia Cabo Frio - Substituída a antena que ficou de Abril de 2012 a Junho de 2014; foi lançada em Julho de 2013, sendo finalmente resgatada pelo Instituto de Educação do Rio Almirante Paes Moreira (IEARM), através do Projeto DIOCOG.

Colaborador:
Prof. Antonio Klein

Oleaje:

Boya: B69152_PNBOIA_SantaCatarina

Boya: Station 31201 - Floripa

PNBOIA

Programa Nacional de Boias

Santa Catarina

Argos ID: 69152 | WMO ID: 31374

Último dato: 2015-06-23 10:39

Download dos dados
CSV

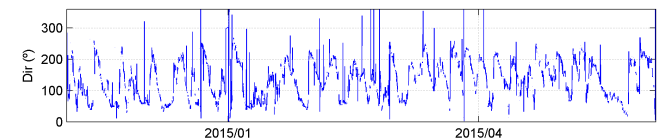
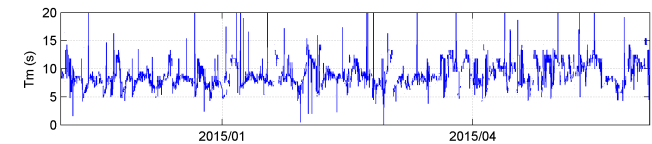
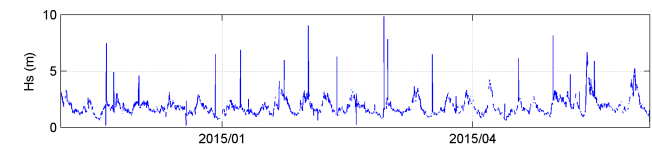
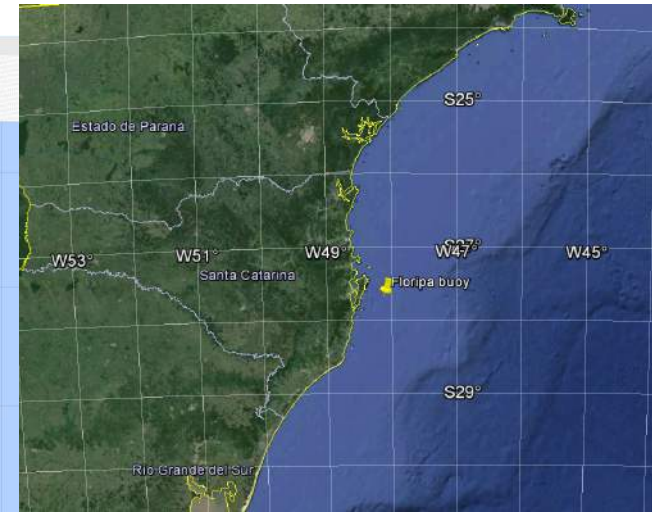
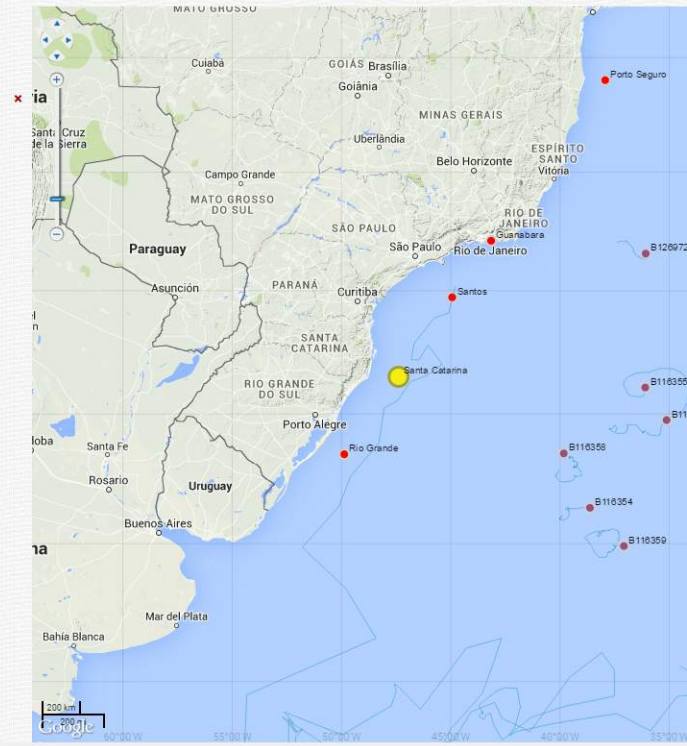
OpenDAP
Link e procedimentos

Ver gráficos

Latitude: -28.52°
Longitude: -47.39°

Temperatura: 22.0 °C
Pressão: 1021.9 hPa

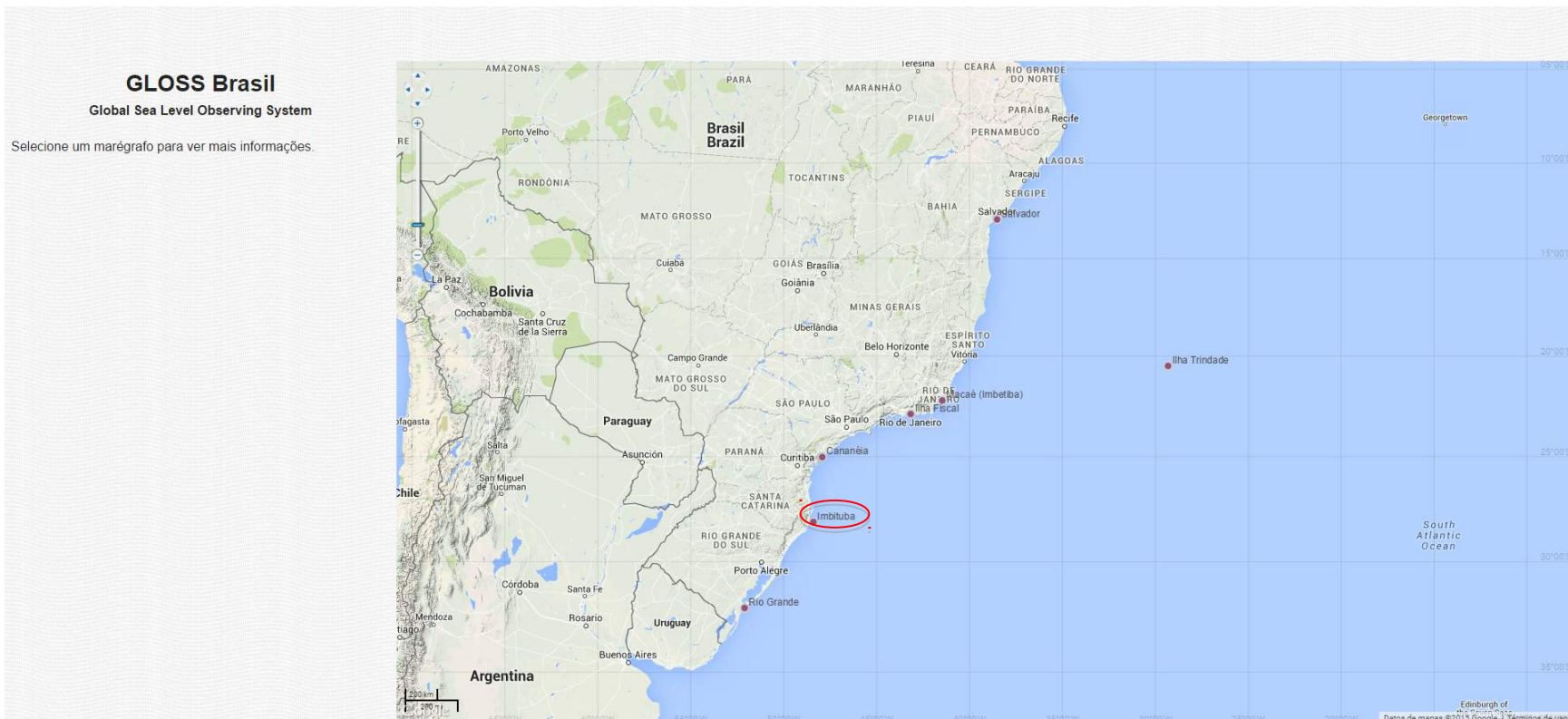
Área: Santa Catarina
Data de lançamento: 2011-03-21 13:00
Casco:



- Se necesitan registros largos! (before 2011)
- Deseables boyas costeras!

Nivel del Mar

Mareógrafos: Imbituba_GLOSS-BRASIL



- Se necesita mayor cobertura espacial de observaciones!

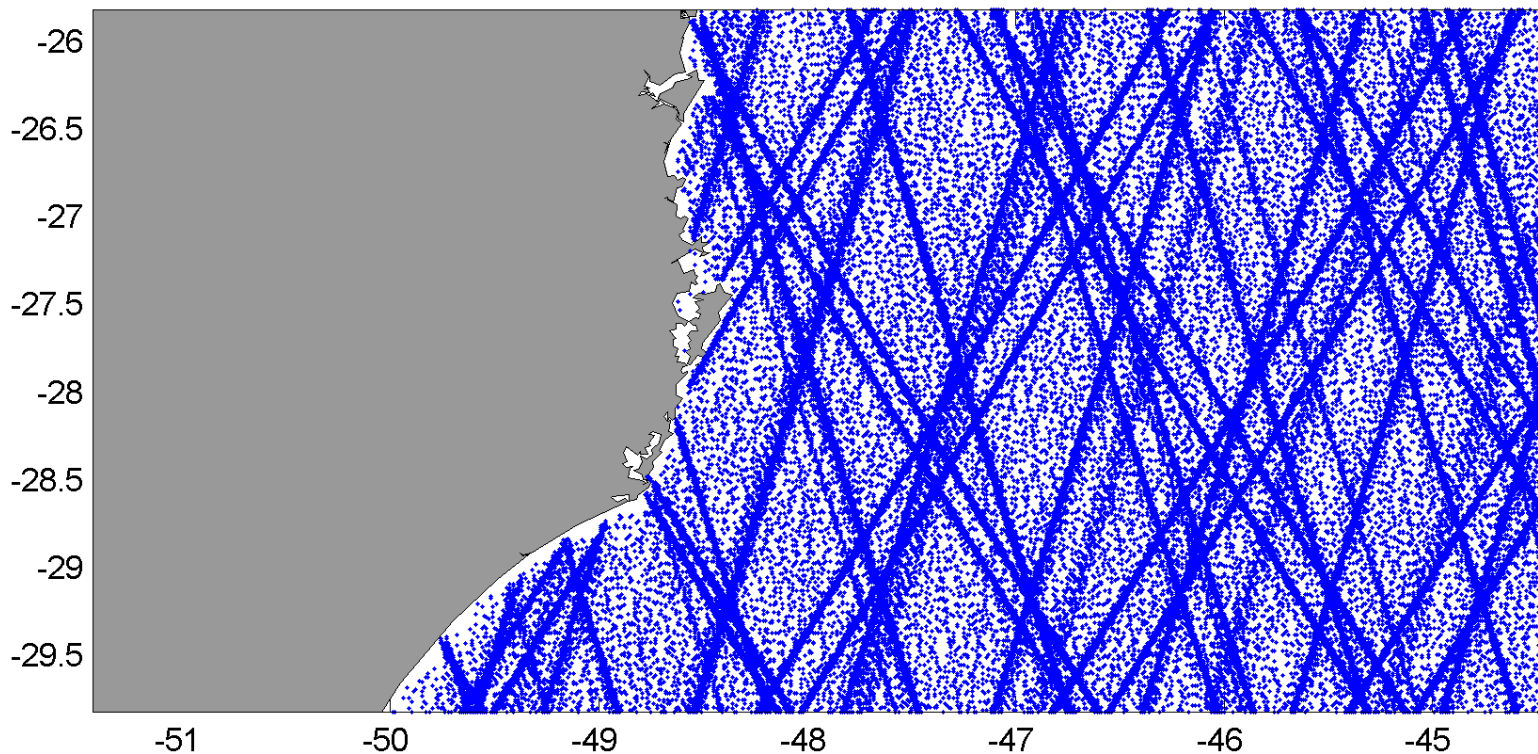
Altimetría de Satélite

(Integrated & Intercalibrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data)

Missions: ERS1, ERS2, ENVISAT, Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2, Geosat, CryoSat2

Periodo: 1992-2013

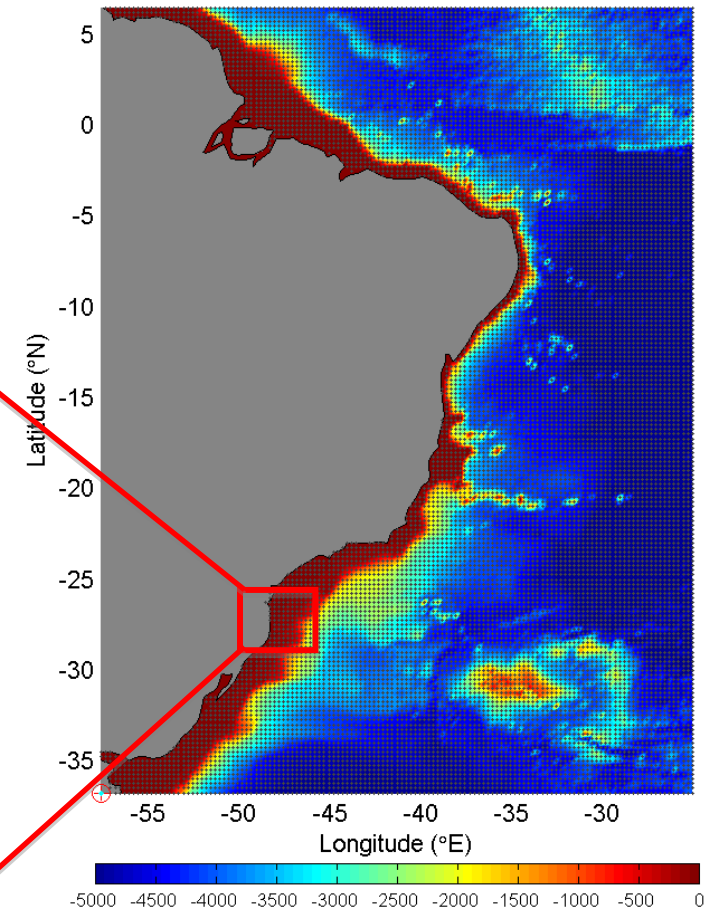
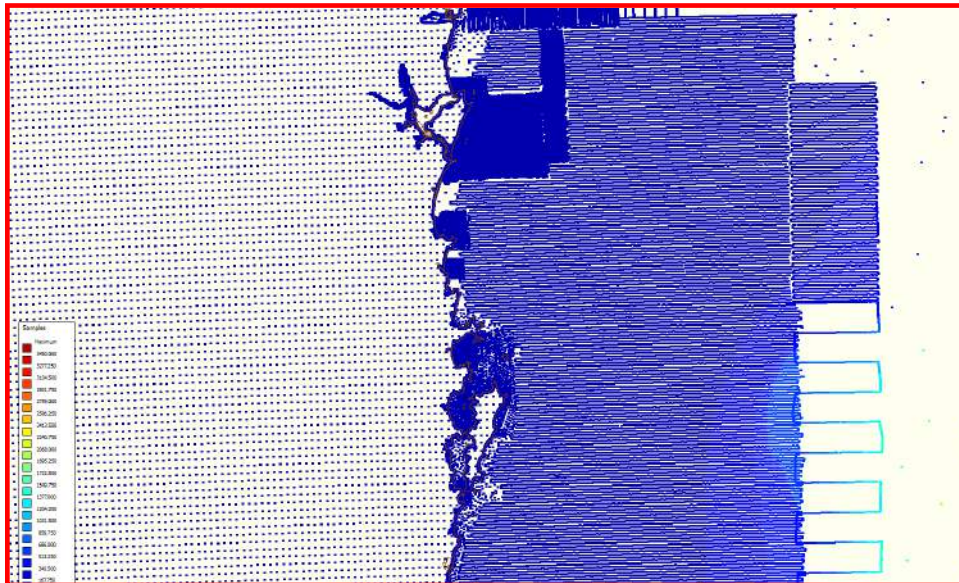
Oleaje y nivel del mar



Batimetría

- Global -> Regional: ETOPO bathymetry
- Regional -> Local: Cartas náuticas Nacionales
- Regional -> Local: Campañas de campo.

- Integración de toda la información -



1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
 - ST2.1. Viento
 - ST2.2. Oleaje
 - ST2.3. Nivel del Mar (Nivel medio del Mar, Marea meteorológica y marea astronómica)
 - ST2.4. Precipitación-Caudales
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
 - ST2.1. Viento**
 - ST2.2. Oleaje
 - ST2.3. Nivel del Mar (Nivel medio del Mar, Marea meteorológica y marea astronómica)
 - ST2.4. Precipitación-Caudales
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

Downscaling atmosférico
(aumento de la resolución vientos marinos en la región)

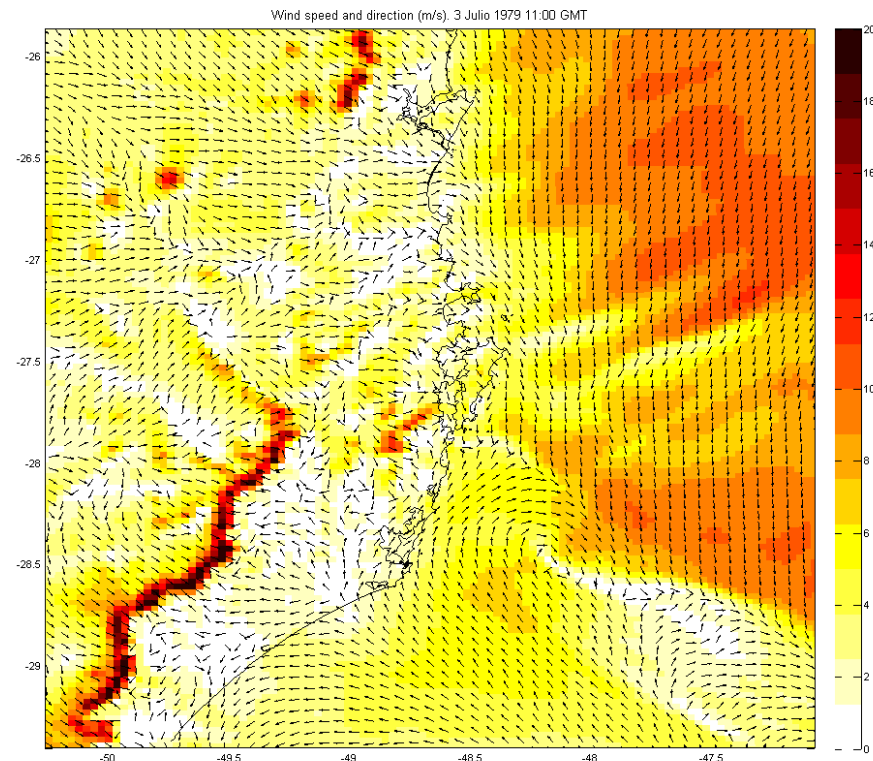
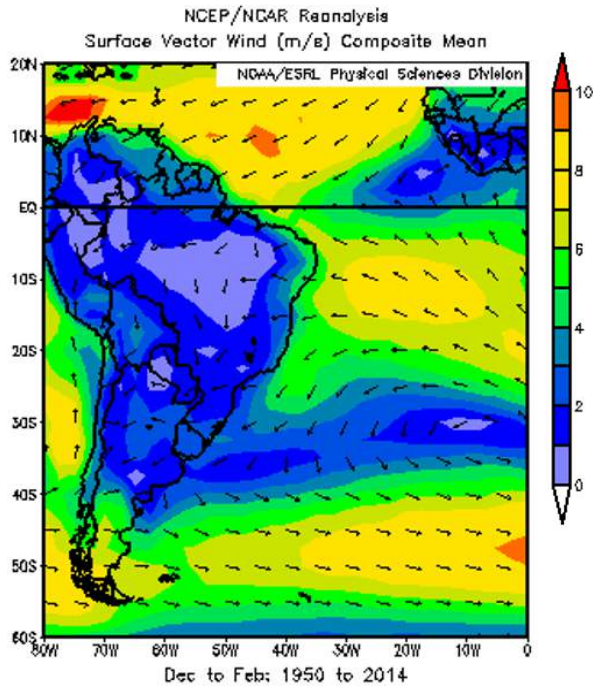
❖ Reconstrucción histórica on-going

Reanálisis Globales



SEAWIND-Sta Catarina

Desarrollo de una base de datos Regional:

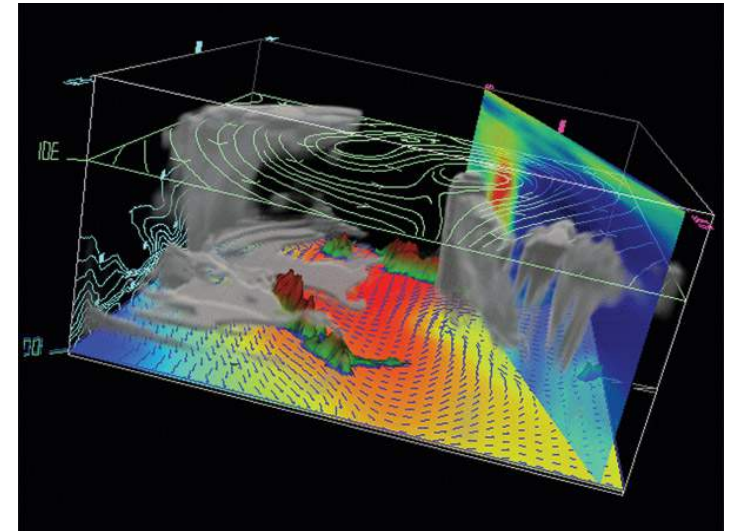
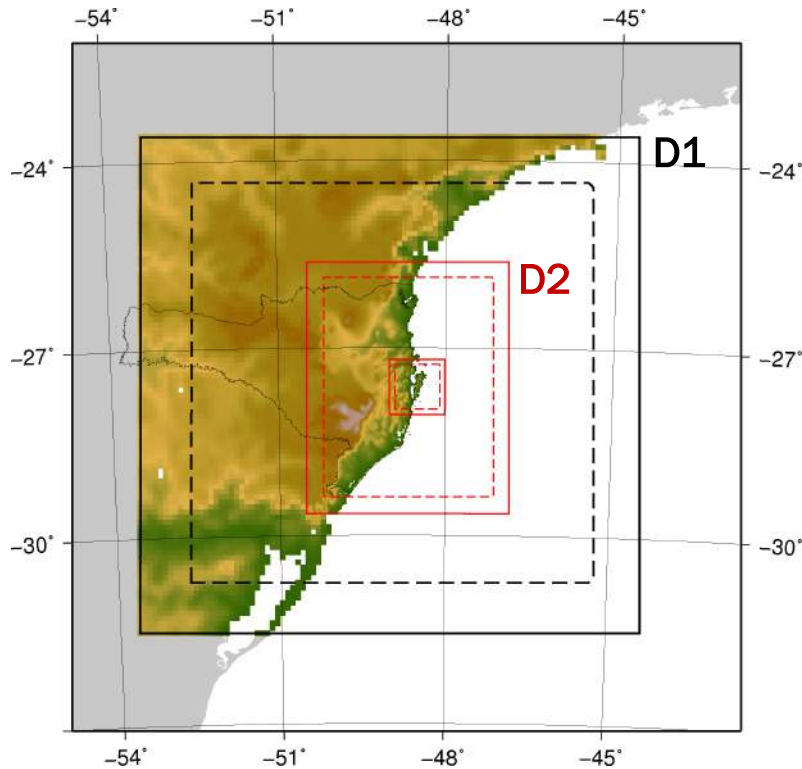


Ejemplo de campos de viento en superficie de SeaWind

SEAWIND-Sta Catarina

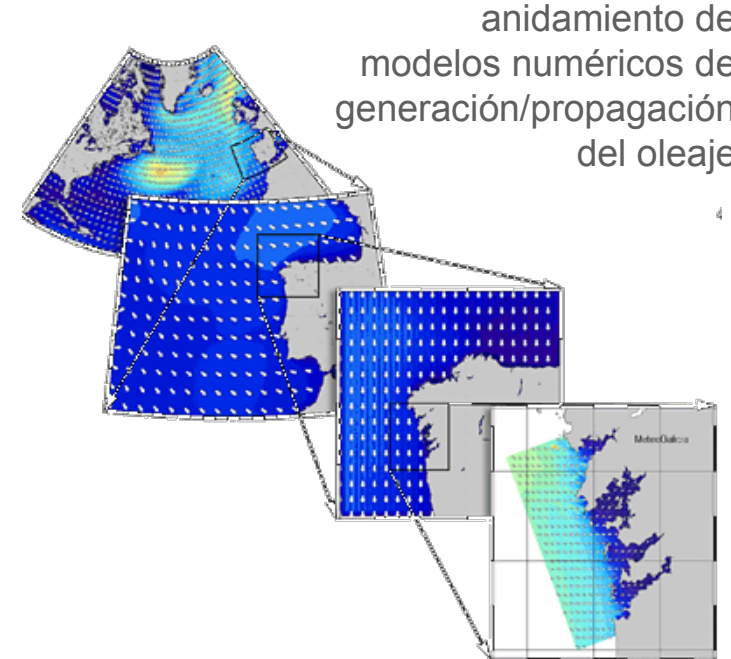
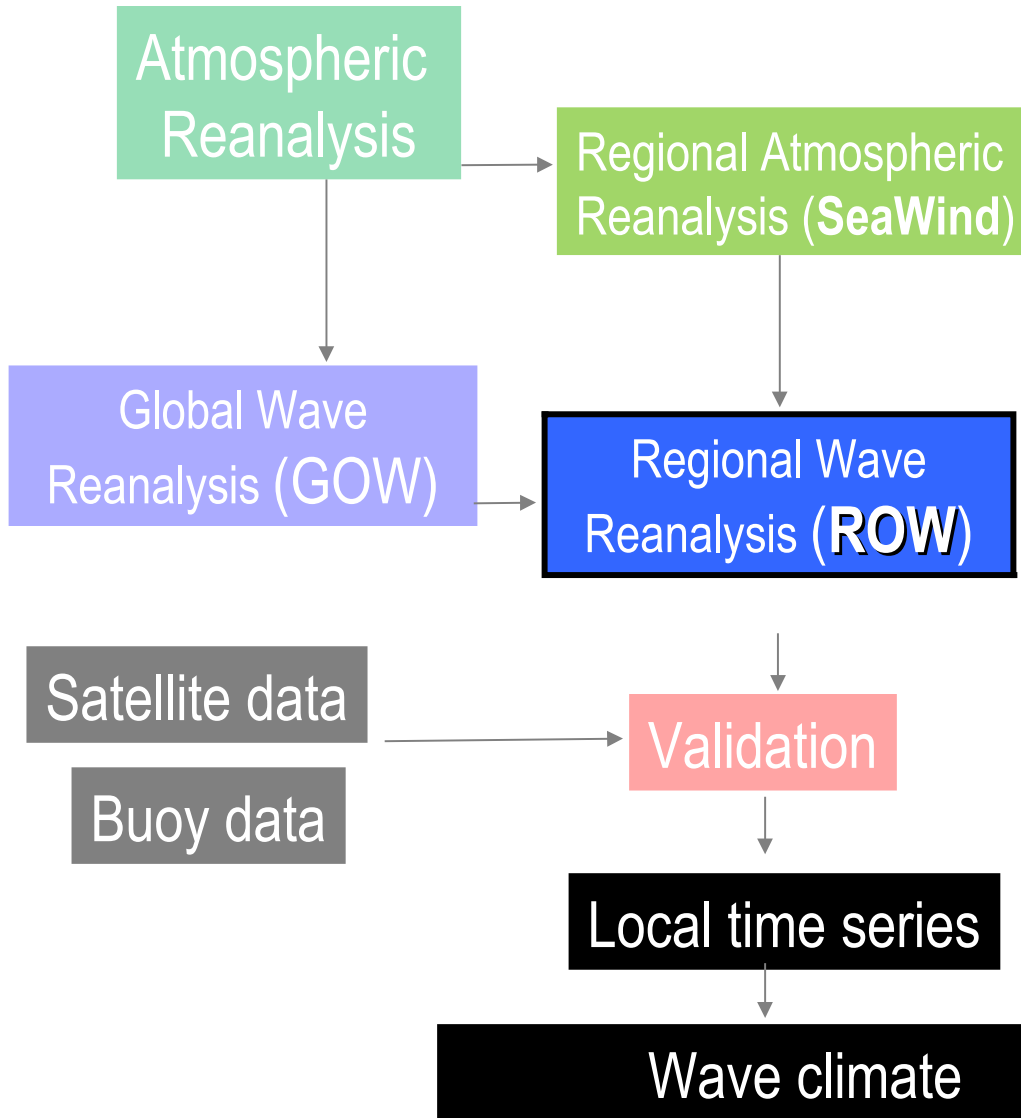
❖ Reconstrucción atmosférica de las condiciones atmosféricas

- Modelo Regional (LAM): Weather Research and Forecasting (WRF) model with the Advanced Research dynamical solver (WRF-ARW).
- Dominios: 2 dominios (restricción tiempo de supercomputación). **D1**=9Km, **D2**=3Km



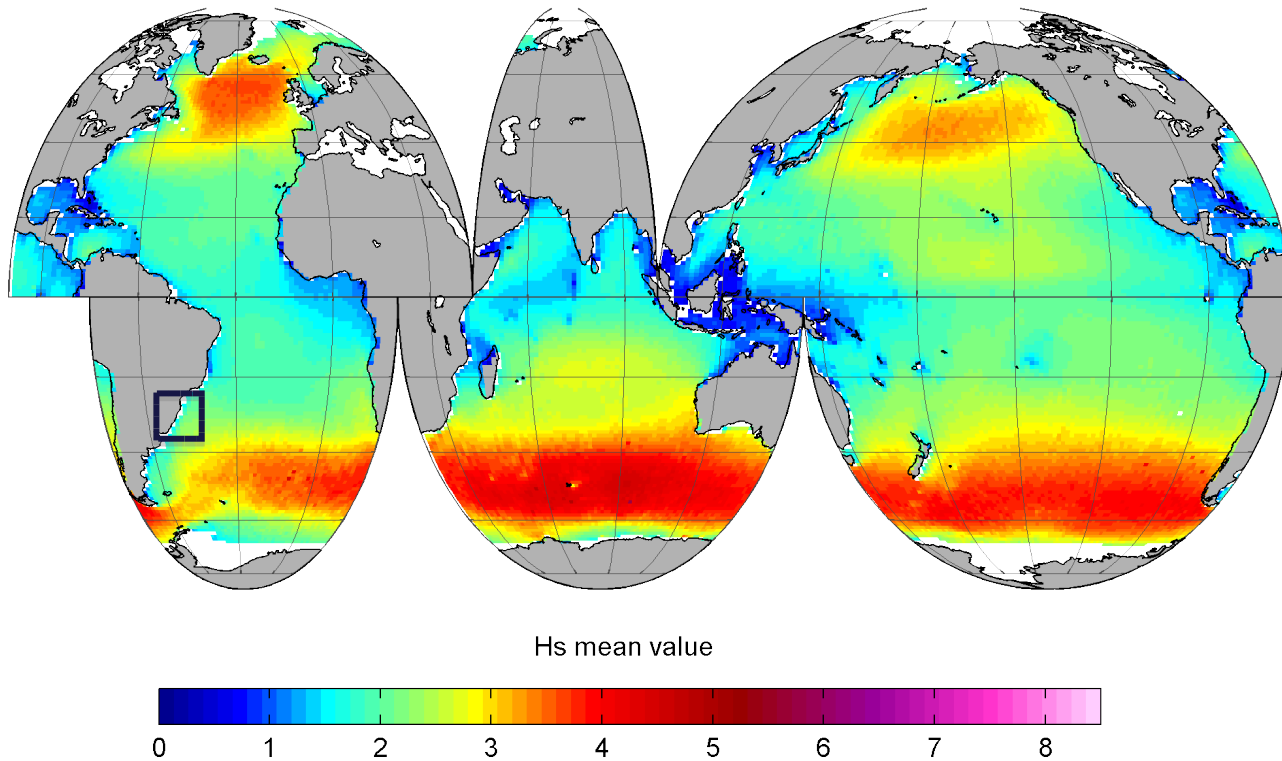
- Periodo histórico: 1979-2010
- Resol. temporal: horaria
- Variables:
 - Mean Sea Level Pressure (D1)
 - Vientos (D2)
 - Precipitación (D2)
 - Visibilidad (D2)
 - Temperatura del aire (D2)

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
 - ST2.1. Viento
 - ST2.2. Oleaje**
 - ST2.3. Nivel del Mar (Nivel medio del Mar, Marea meteorológica y marea astronómica)
 - ST2.4. Precipitación-Caudales
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa



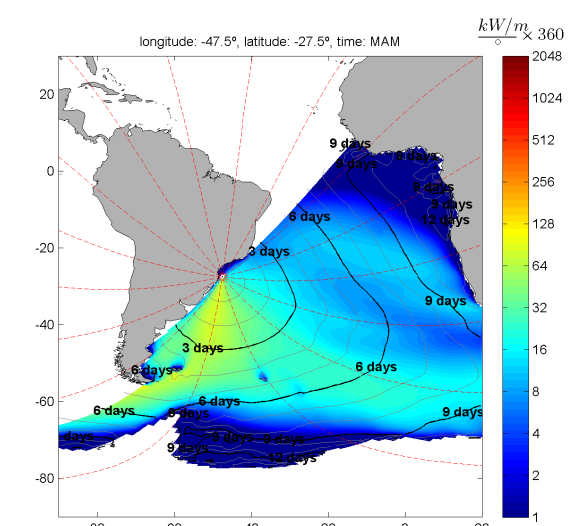
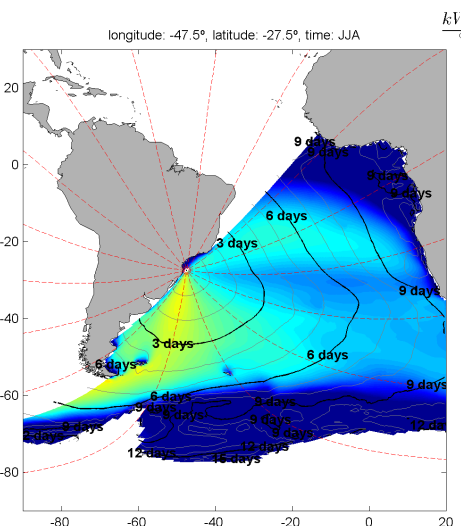
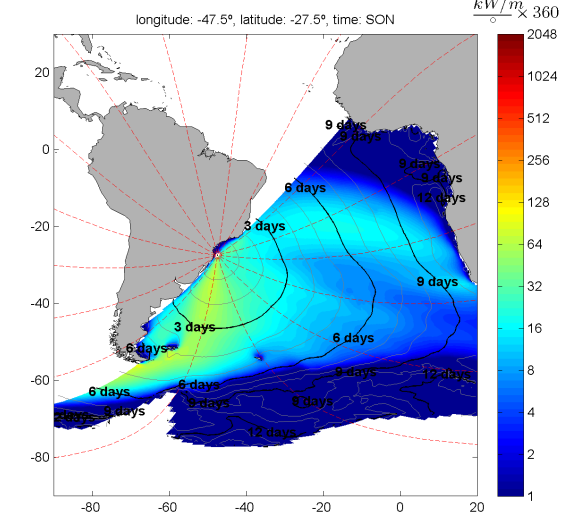
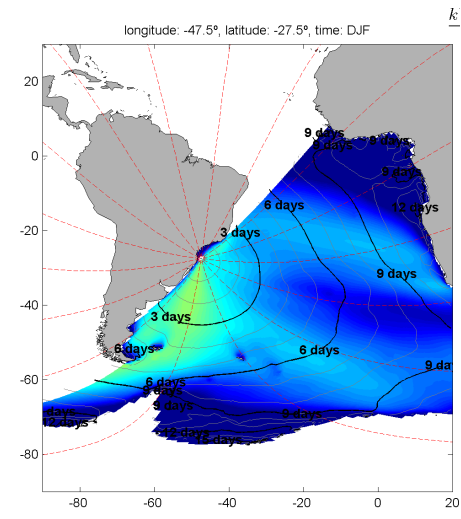
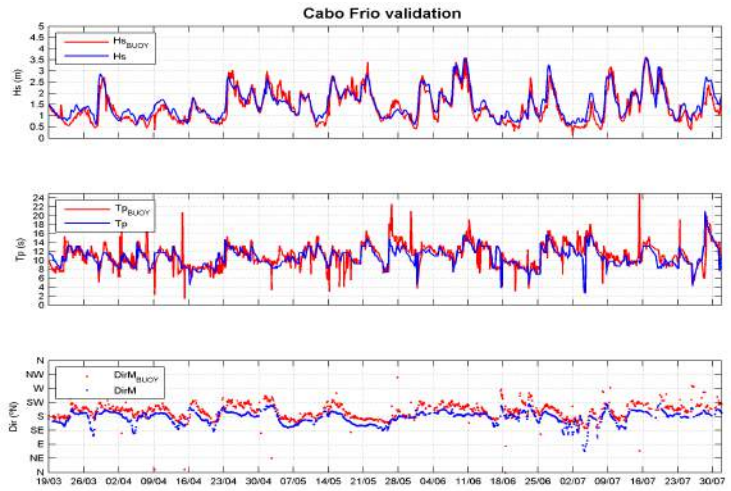
Global Wave
Reanalysis (GOW)

Global Ocean Waves (GOW)



Regional Wave Reanalysis (ROW)

A partir de la experiencia previa en:
- Sistema operacional Oleaje puerto Açú
- DOW Brasil - SMC Brasil



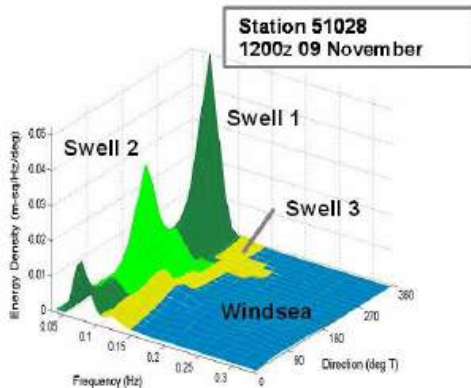
Se plantea:
- ROW (Regional Ocean Waves)

ESTELAs [Perez et al. 2014]. Procedencia de la energía del oleaje por estaciones para una localización offshore a Florianópolis.

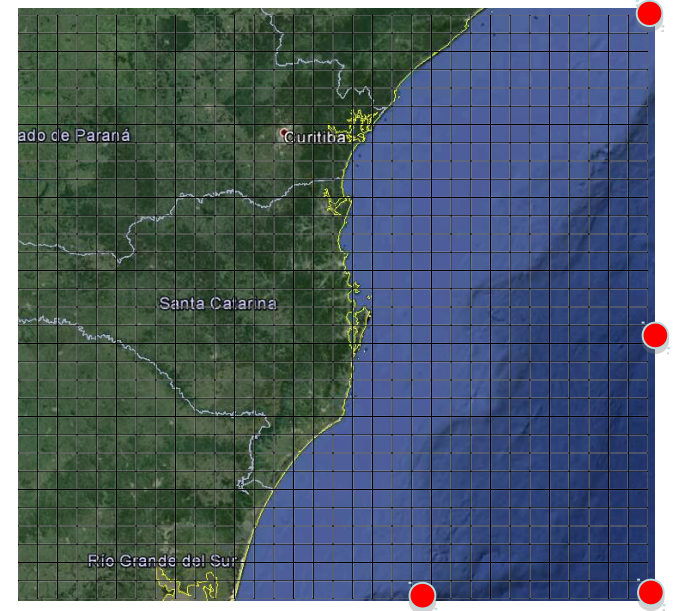
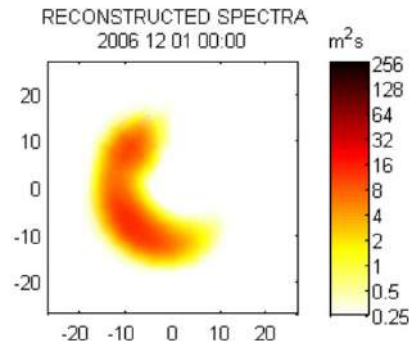
Regional Wave Reanalysis (ROW)

Mejoras con respecto a anteriores Reconstrucciones de Oleaje:

- Contornos: Base de datos GOW2 (nuevo forzamiento CFSR, nuevo modelo WWIII,..)
- Calibración de Espectros GOW2 con nueva base de altimetría multi-mission (1992-2013).
- ROW (reconstrucción dinámica en continuo) vs. DOW (downscaling híbrido)
- Forzamiento del Oleaje: SeaWind (alta resol. espacial), capacidad para reproducir 'Seas'.
- Simulación dinámica SWAN (nueva versión)
- ROW con Activación de fricción por fondo.



- Mínimo Resol: 1Km
- Periodo: 1979-2010
- Resol. temporal: horaria



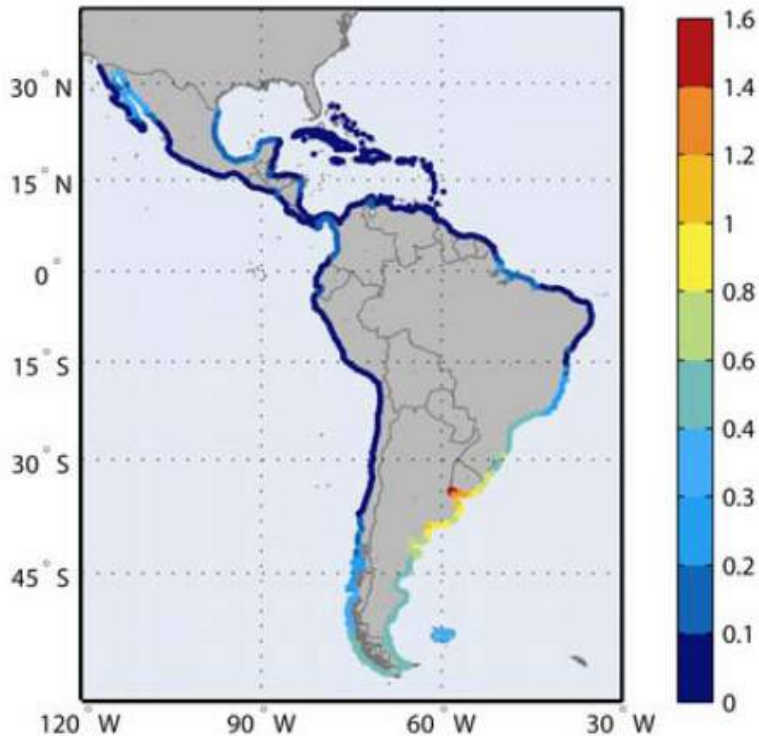
Ejemplo de Dominio espacial de estudio.

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
 - ST2.1. Viento
 - ST2.2. Oleaje
 - ST2.3. Nivel del Mar** (Nivel medio del Mar, Marea meteorológica y marea astronómica)
 - ST2.4. Precipitación-Caudales
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

Bases de datos regionales disponibles (C3A-CEPAL):

Marea Astronómica (tide)

- GOT (Global Ocean Tides)



Marea Meteorológica (Surge)

- GOS (Global Ocean Surges)

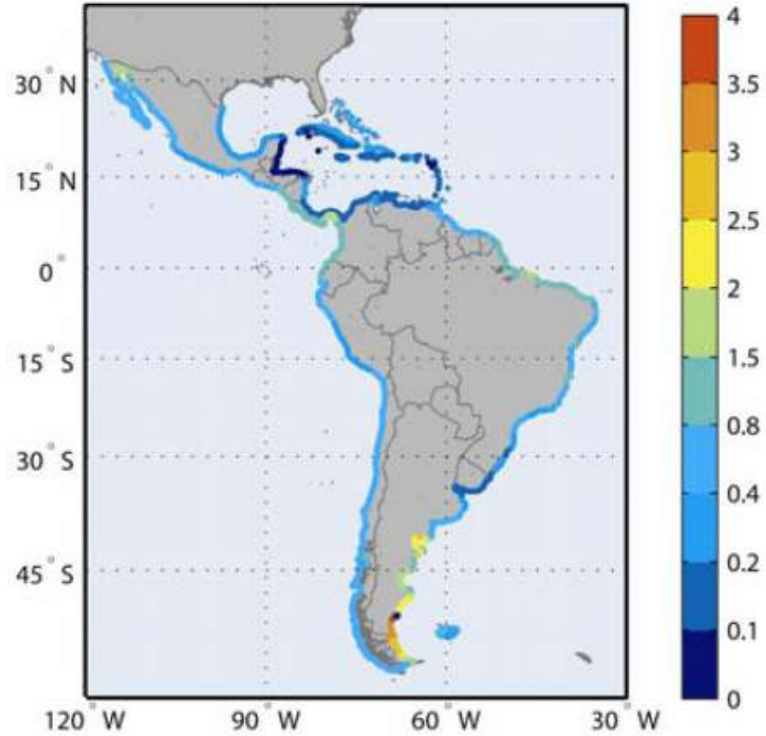


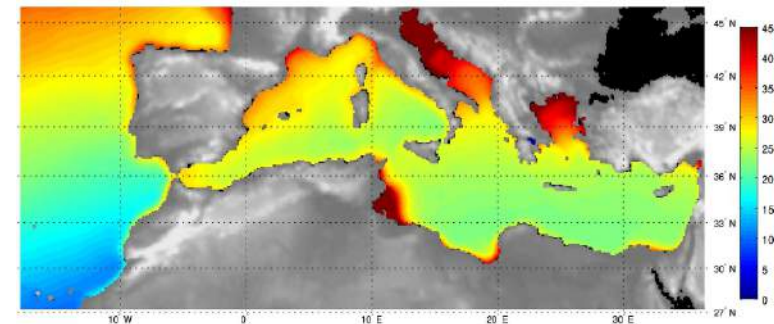
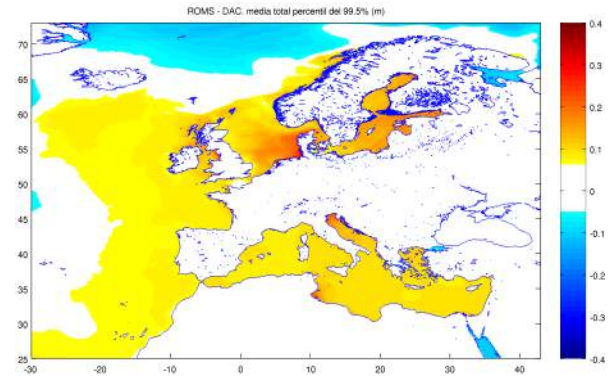
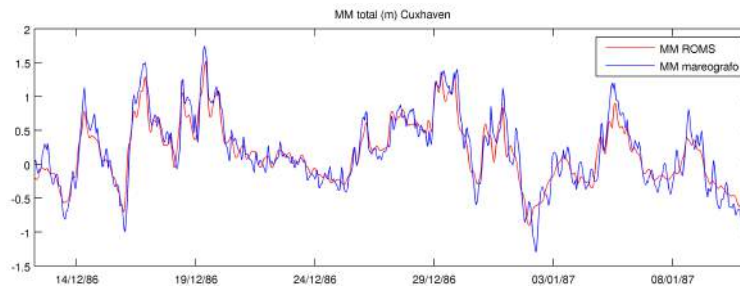
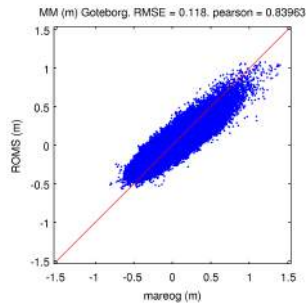
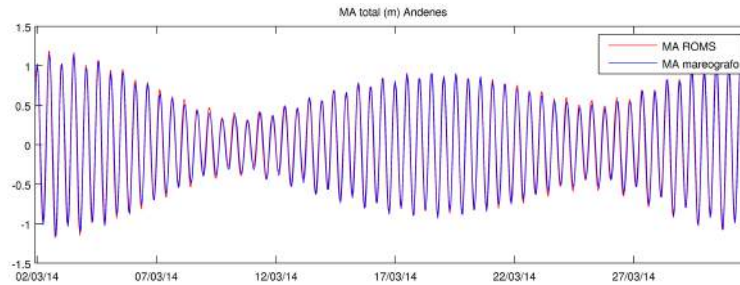
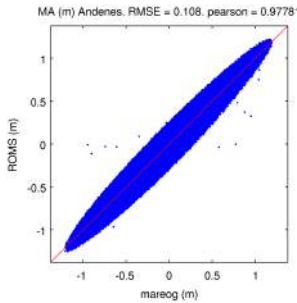
Figure 4.1. Annual 99% percentile of Storm Surge (left panel) and 90% percentile of Astronomical Tide (right panel), along the Latin America and Caribe coastline, computed for the period 1948–2008 (meters).

Downscaling oceánico
(aumento de la resolución componentes nivel del mar)

Regional Water Elevation
due to Tide and Storm Surge (**GOST**)



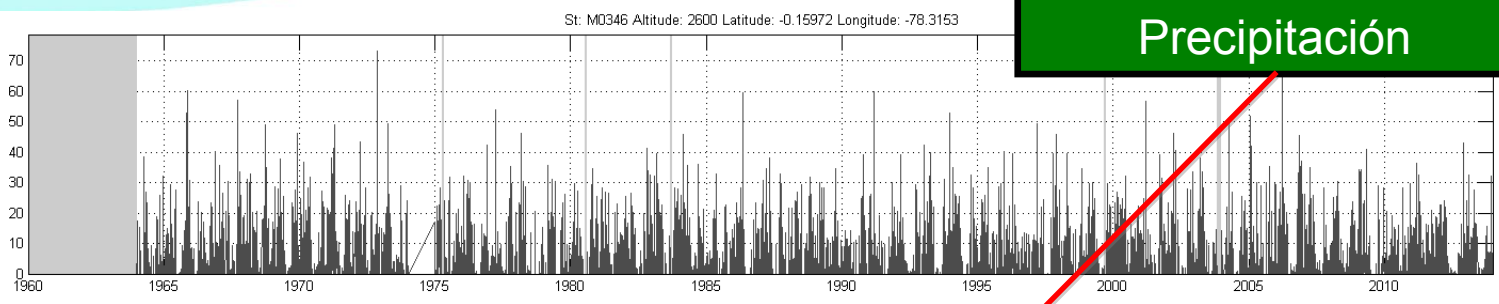
➤ A partir de la experiencia previa de GOST-Europa:



Cid et al. [2014, 2015]

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
 - ST2.1. Viento
 - ST2.2. Oleaje
 - ST2.3. Nivel del Mar (Nivel medio del Mar, Marea meteorológica y marea astronómica)
 - ST2.4. Precipitación-Caudales**
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

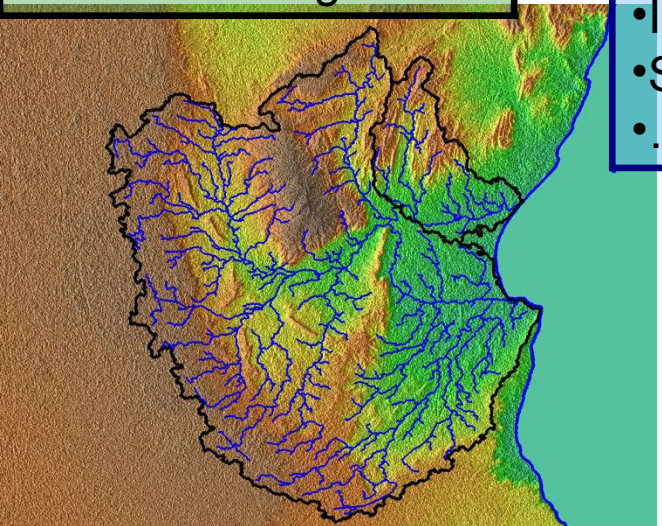
Precipitación



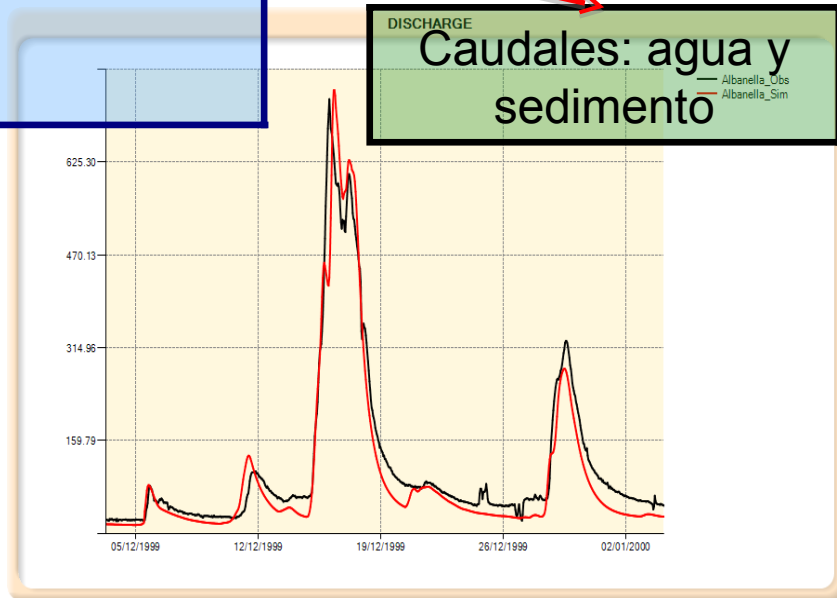
Cuenca:
DEM, suelos,
cobertura vegetal...

Modelo hidrológico:

- Método hidrológico
- Hidrograma unitario
- IH-Mole
- SWAT
- ...



DISCHARGE
Caudales: agua y
sedimento



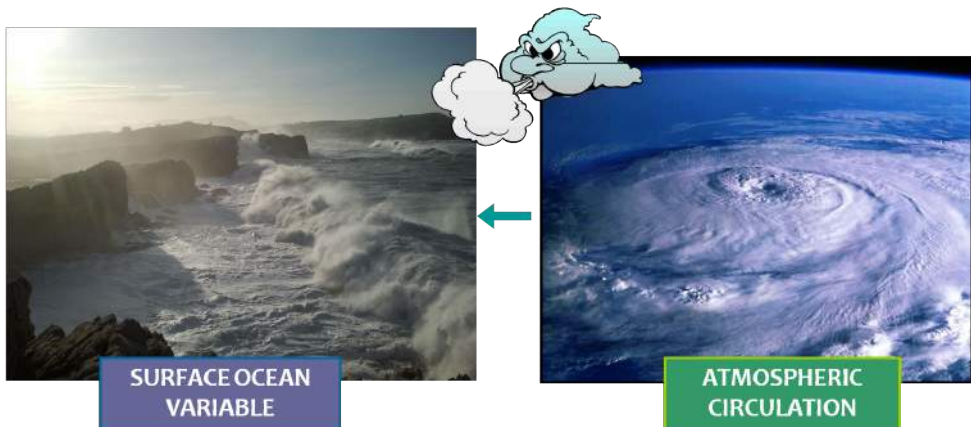
1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
 - ST3.1. Modelo estadístico para la proyección del oleaje y la marea meteorológica
 - ST3.2. Proyecciones de oleaje
 - ST3.3. Proyecciones de marea meteorológica
 - ST3.4. Proyecciones del nivel del mar
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
 - ST3.1. Modelo estadístico para la proyección del oleaje y la marea meteorológica
 - ST3.2. Proyecciones de oleaje
 - ST3.3. Proyecciones de marea meteorológica
 - ST3.4. Proyecciones del nivel del mar
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

Particularidades de Proyecciones Climáticas de Oleaje y Storm Surge:

- No están directamente disponibles a partir de los GCM/RCMs
- Incertidumbres de los Modelos Climáticos (vientos en superficie en especial): Se requiere trabajar con Ensembles! (selection/skill of the Climate Models)
- Respuesta con desfase temporal con respecto a sus drivers

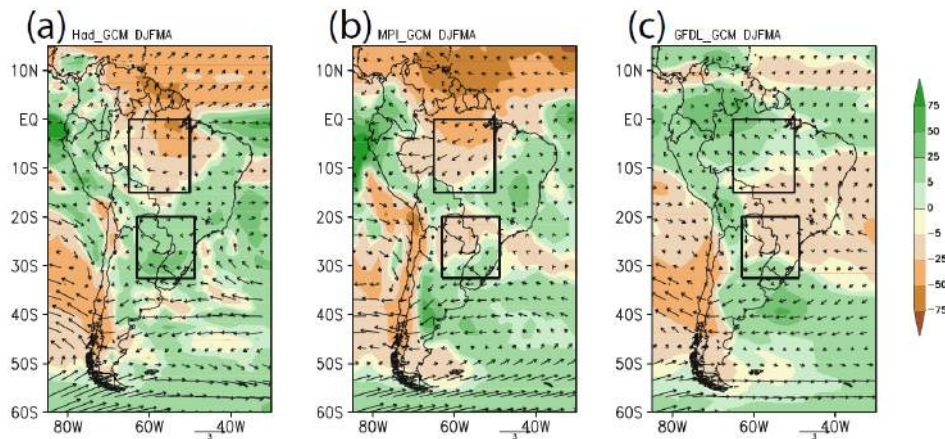
Proyecciones Estadísticas!



Primera cuestión elemental:

Qué modelos Climáticos tienen mayor habilidad para reproducir los flujos de la atmósfera en la región de estudio?

Análisis de 42 GCMs (de CMIP5)



Precipitation (%) and wind change (ms^{-1}) from GCMs (2070/2099–1976/2005)

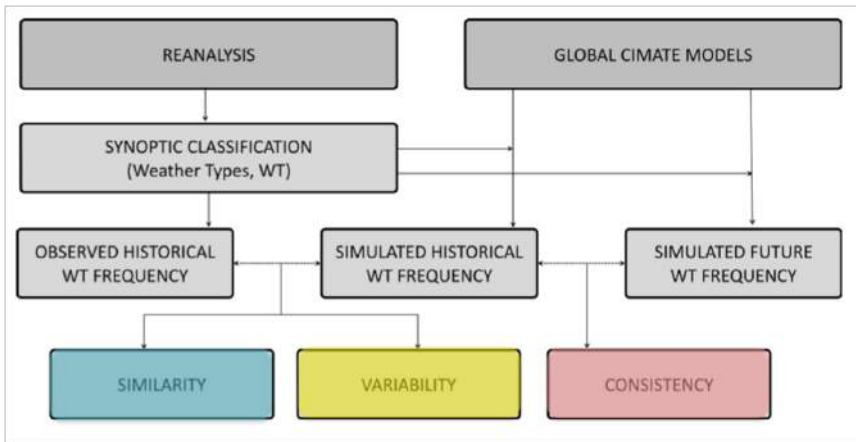
Source: Llopart et al. [2014]

CORDEX

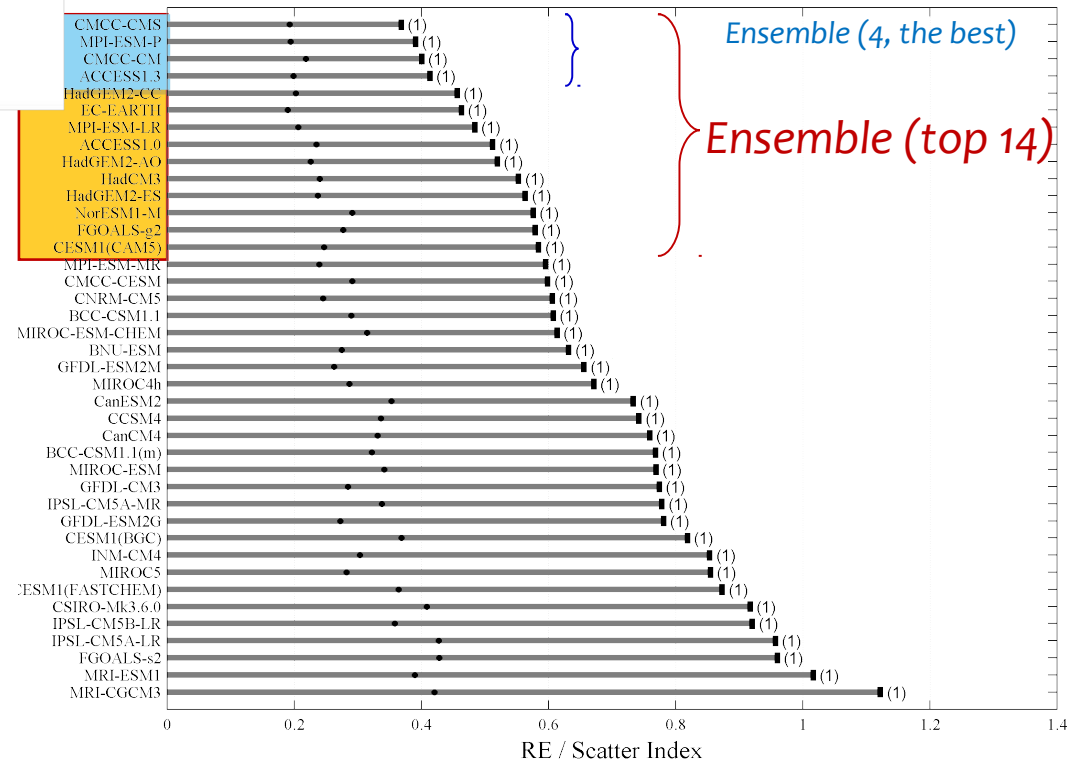
Table 2 Analyzed CMIP5 GCMs names, institutions, countries, atmospheric resolutions and runs

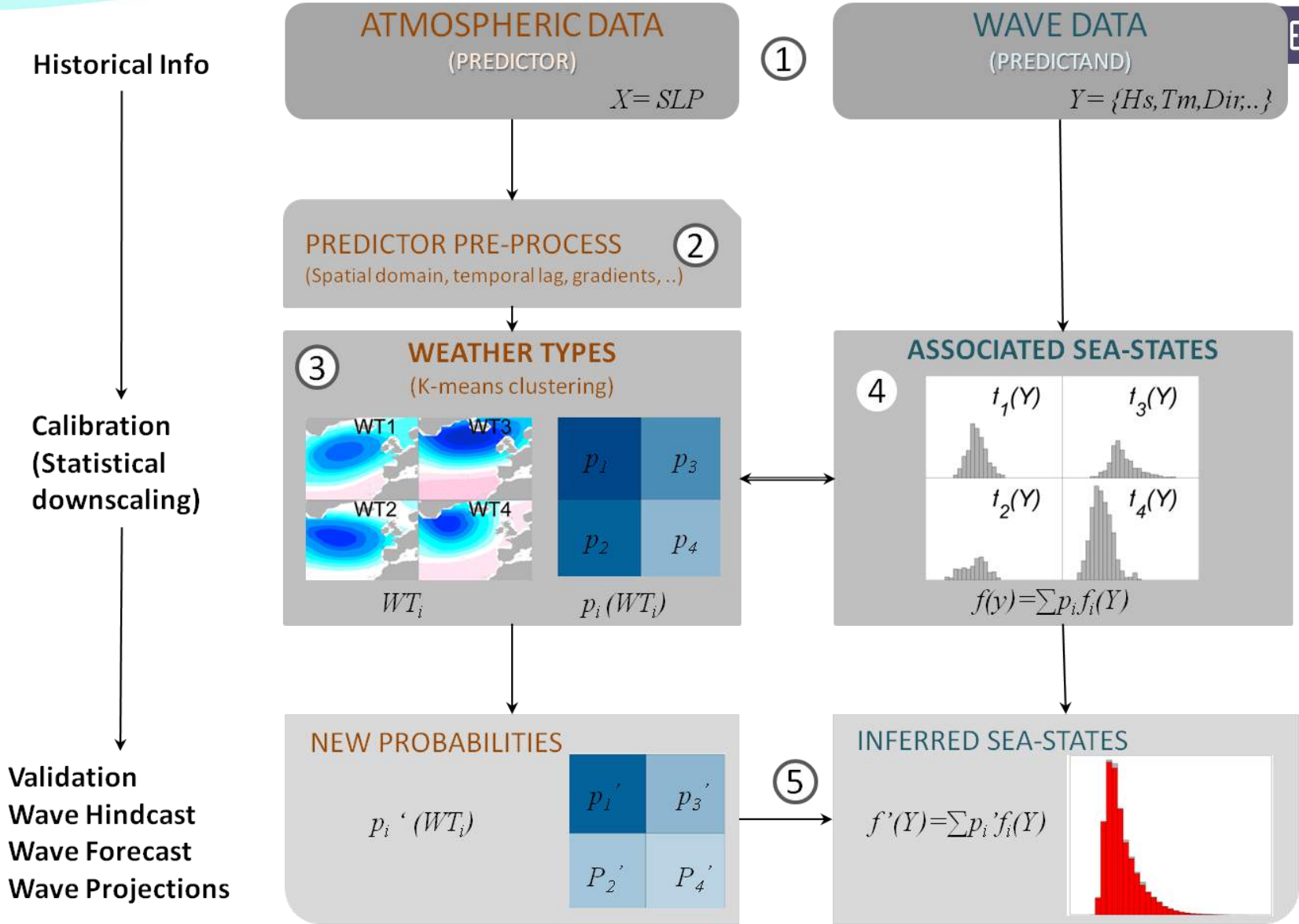
Model	Institution	Country	Atmospheric resolution (lat × lon, number of layers)	Runs RCP2.6—RCP4.5—RCP6.0—RCP8.5
ACCESS1.0	CSIRO-BOM	Australia	1.25° × 1.9°, L38	0-1-0-1
ACCESS1.3	CSIRO-BOM	Australia	1.25° × 1.9°, L38	0-1-0-1
BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center	China	2.8° × 2.8°, L26	1-1-1-1
BCC-CSM1.1(m)	Beijing Climate Center	China	1.12° × 1.12°, L26	1-1-1-1
BNU-ESM	College of Global Change and Earth System Science	China	2.8° × 2.8°, L26	1-1-0-1
CanCM4	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada	2.8° × 2.8°, L35	0-10-0-0
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada	2.8° × 2.8°, L35	5-5-0-5
CCSM4	National Center for Atmospheric Research	USA	0.94° × 1.25°, L26	3-3-3-3
CESM1(BGC)	Community Earth System Model Contributors	USA	0.94° × 1.25°, L26	0-1-0-1
CESM1(CAM5)	Community Earth System Model Contributors	USA	0.94° × 1.25°, L26	1-1-1-1
CESM1(FASTCHEM)	Community Earth System Model Contributors	USA	0.94° × 1.25°, L26	0-0-0-0
CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	Italy	3.71° × 3.75°, L39	0-0-0-1
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	Italy	0.75° × 0.75°, L31	0-1-0-1
CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	Italy	1.9° × 1.9°, L95	0-1-0-1
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques	France	1.4° × 1.4°, L31	1-1-1-1
CSIRO-Mk3.6.0	CSIRO-QCCCE	Australia	1.9° × 1.9°, L18	10-10-10-10
EC-EARTH	EC-EARTH consortium	Various	1.1° × 1.1°, L62	1-5-0-5
FGOALS-g2	LASG-CESS	China	2.8° × 2.8°, L26	1-1-0-1
FGOALS-s2	LASG-CESS	China	1.7° × 2.8°, L26	1-0-1-3
GFDL-CM3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	2° × 2.5°, L48	1-0-1-1
GFDL-ESM2G	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	2° × 2.5°, L48	1-1-1-1
GFDL-ESM2 M	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	2° × 2.5°, L48	1-1-1-1
GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies	USA	2° × 2.5°, L40	0-0-0-0
GISS-E2-R	NASA Goddard Institute for Space Studies	USA	2° × 2.5°, L40	0-2-0-0
HadCM3	Met Office Hadley Centre	UK	2.5° × 3.75°, L19	0-10-0-0
HadGEM2-AO	Met Office Hadley Centre	UK	1.25° × 1.9°, L38	1-1-1-0
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre	UK	1.25° × 1.9°, L60	0-1-0-3
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre	UK	1.25° × 1.9°, L38	4-4-4-3
INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics	Russia	1.5° × 2°, L21	0-1-0-1
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	France	1.9° × 3.75°, L39	4-4-1-4
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace	France	1.25° × 2.5°, L39	1-1-1-1
IPSL-CM5B-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	France	1.9° × 3.75°, L39	0-1-0-1
MIROC-ESM	MIROC	Japan	2.8° × 2.8°, L80	1-1-1-1
MIROC-ESM-CHEM	MIROC	Japan	2.8° × 2.8°, L80	1-1-1-1
MIROC4 h	MIROC	Japan	0.56° × 0.56°, L56	0-3-0-0
MIROC5	MIROC	Japan	1.4° × 1.4°, L40	3-3-1-3
MPI-ESM-LR	Max-Planck-Institut für Meteorologie	Germany	1.9° × 1.9°, L47	3-3-0-3
MPI-ESM-MR	Max-Planck-Institut für Meteorologie	Germany	1.9° × 1.9°, L95	1-1-0-0
MPI-ESM-P	Max-Planck-Institut für Meteorologie	Germany	1.9° × 1.9°, L47	0-0-0-0
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute	Japan	1.1° × 1.1°, L48	0-0-0-0
MRI-ESM1	Meteorological Research Institute	Japan	1.1° × 1.1°, L48	0-0-0-0
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre	Norway	1.9° × 2.5°, L26	0-0-0-0

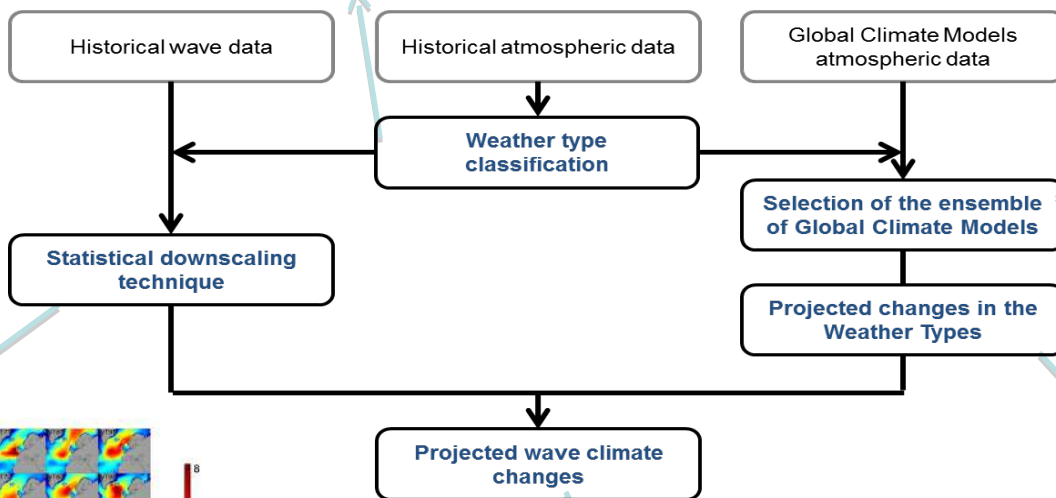
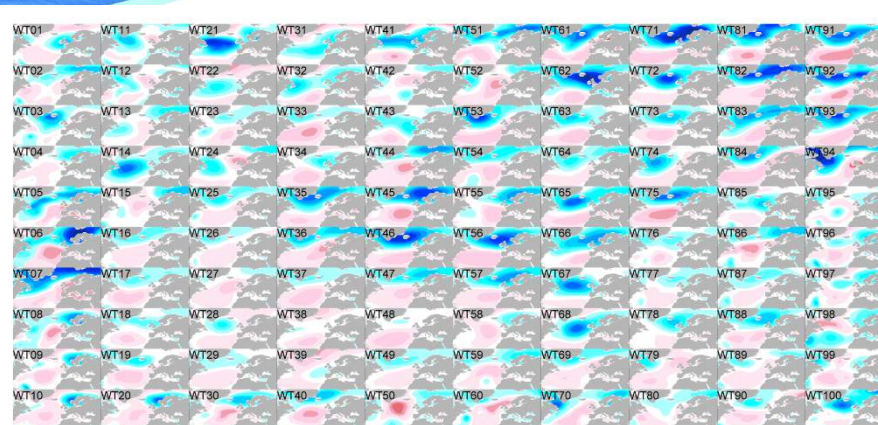
Qué modelos Climáticos tienen mayor habilidad para reproducir los flujos de la atmósfera en la región de estudio?



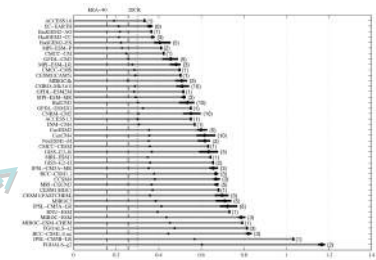
[Perez et al. 2014].



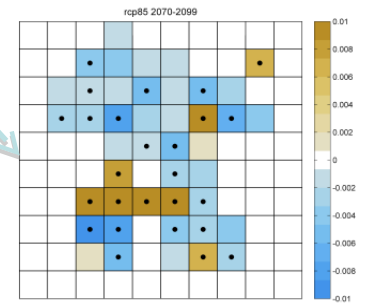
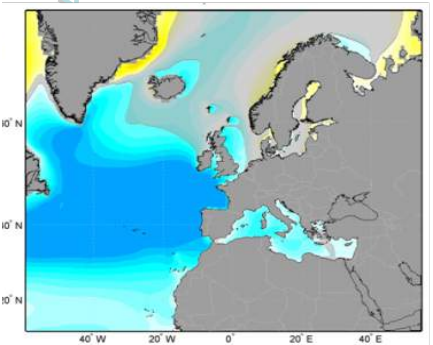
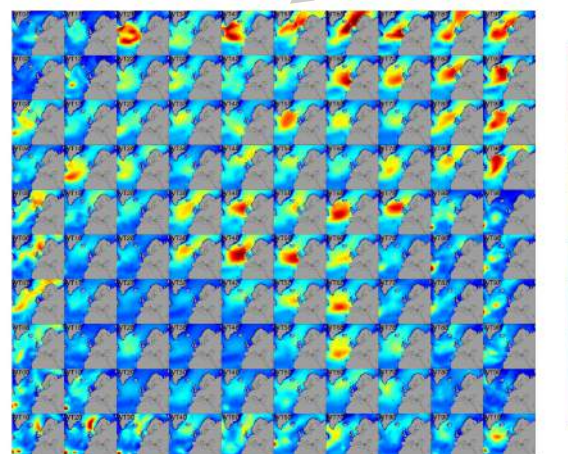




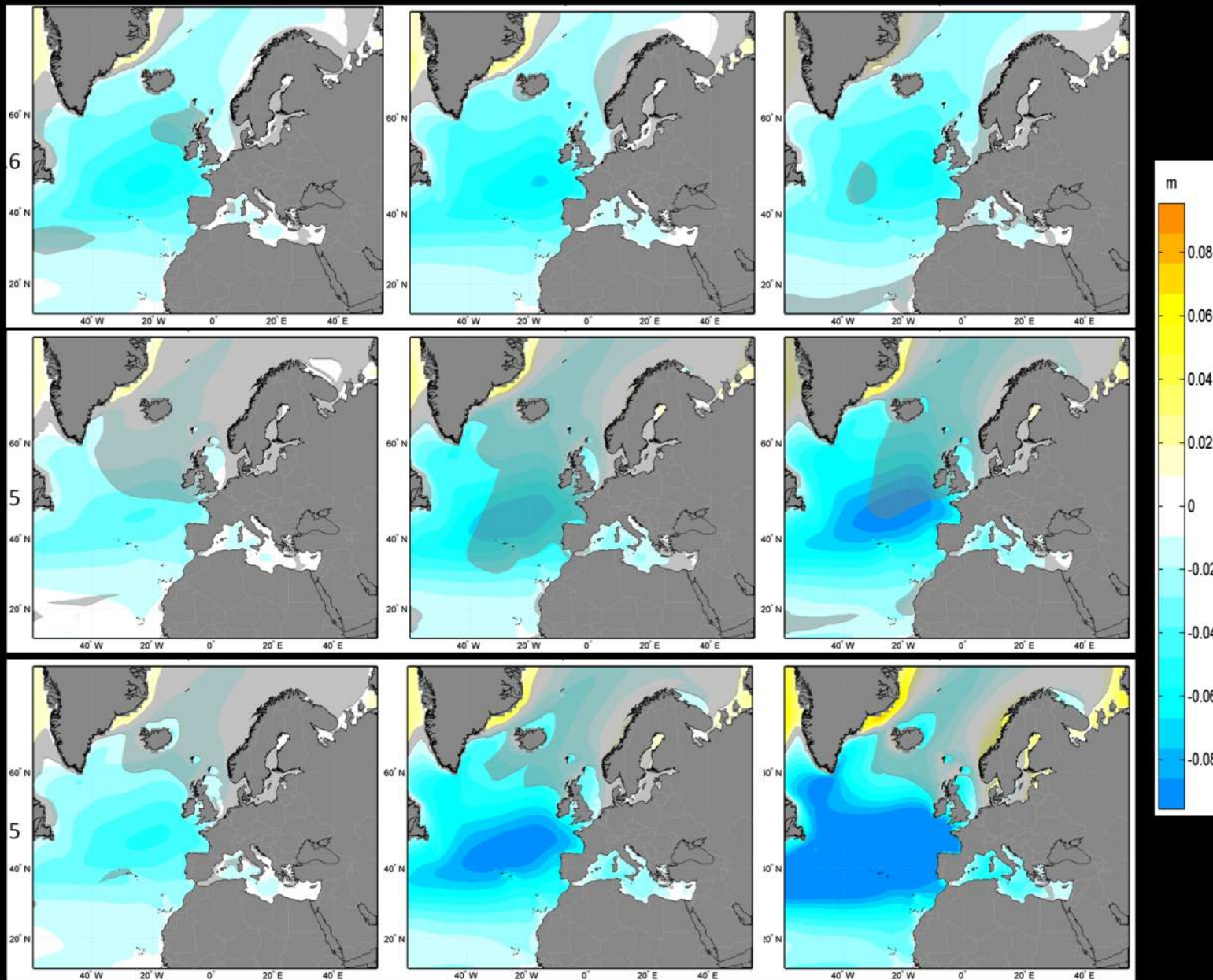
Perez et al 2014, ClimDyn



Camus et al 2014, JGR



[Perez et al. 2015].



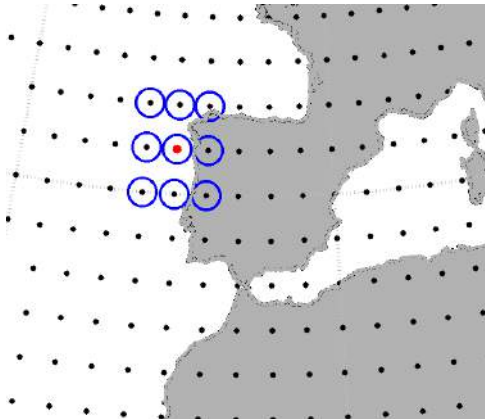
Statistical Downscaling
STORM-SURGE

MULTIVARIATE LINEAR REGRESSION

Predictand Y : daily maxima storm-surge

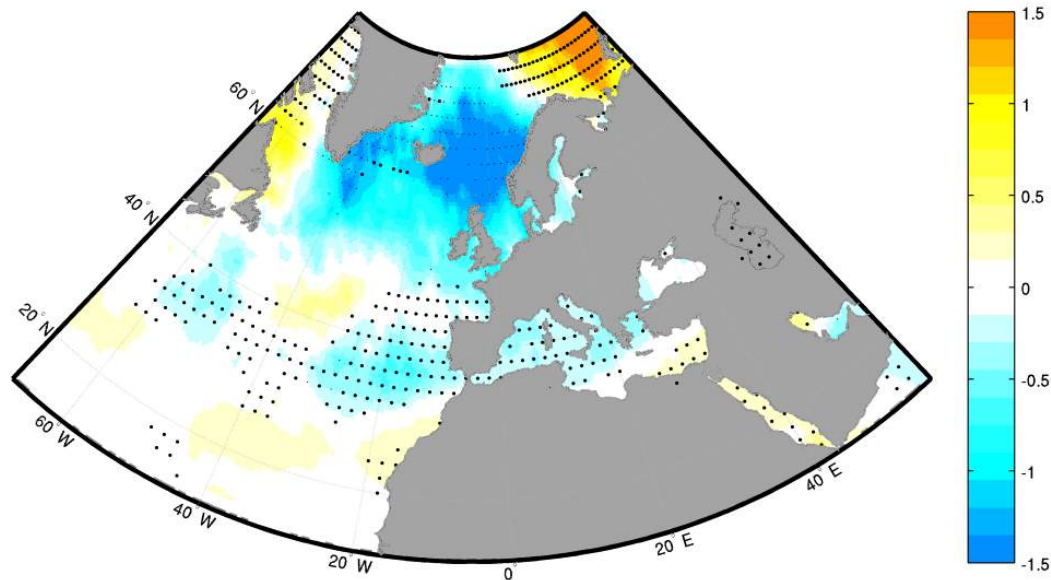
Predictor X : PCs of the daily SLP and squared SLP gradients

$$Y_d(t) = a + \sum_1^i b_i PC_i(t)$$

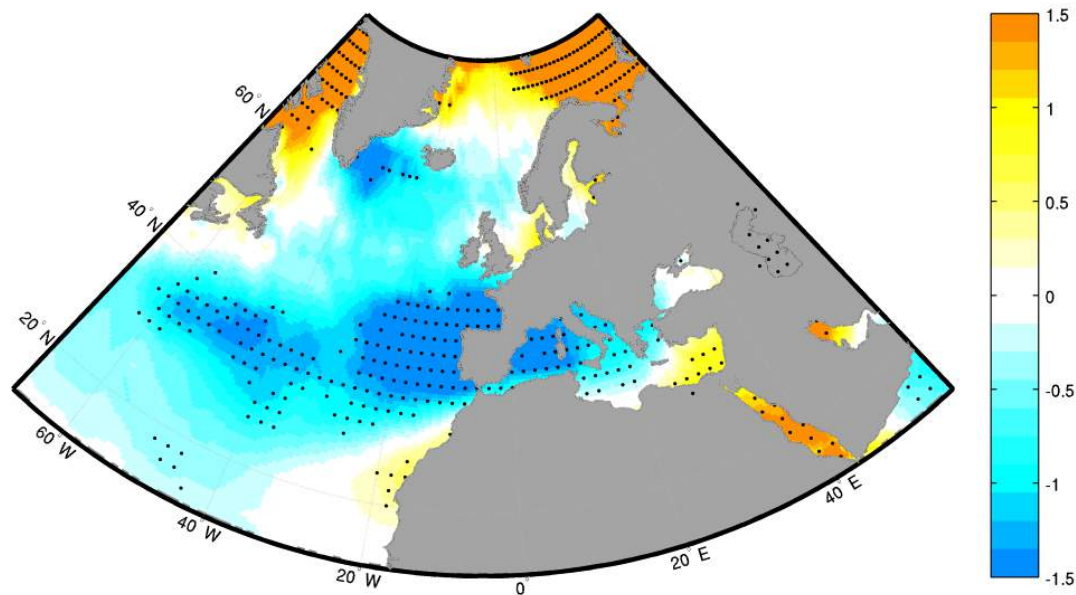


Predictors selected in a *forward procedure*
(Wang et al., 2010)

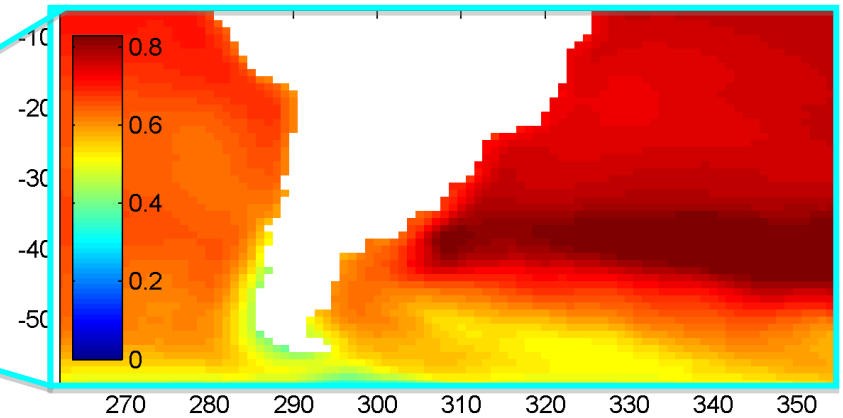
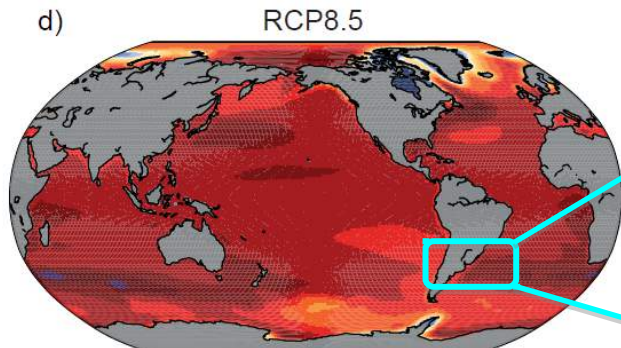
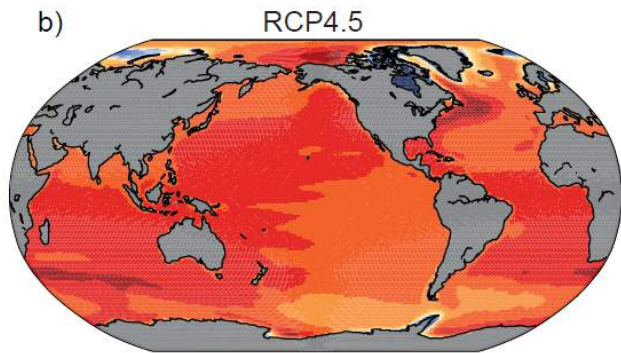
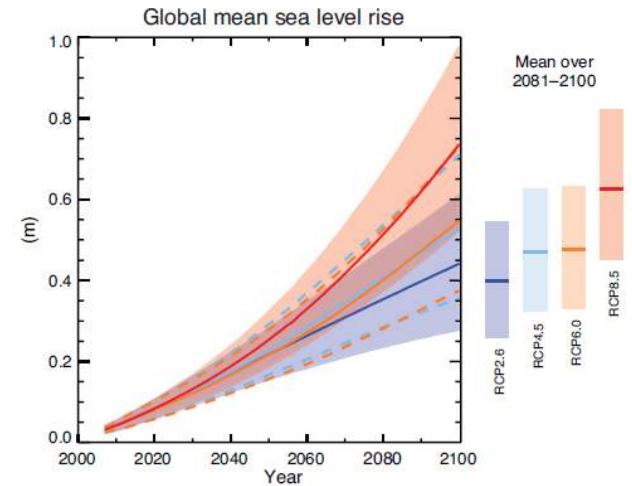
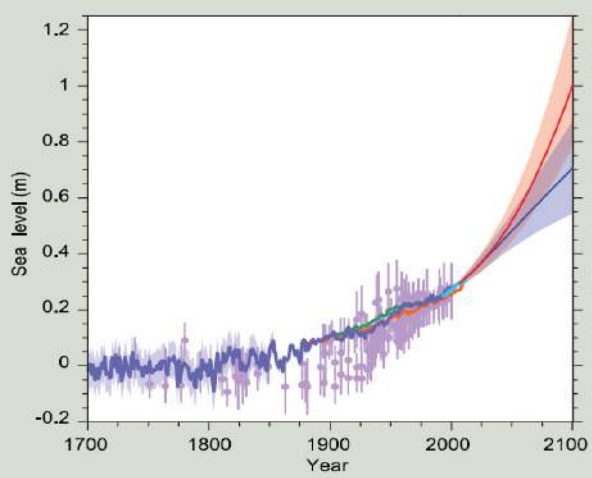
99% Storm surge level
RCP2.6 2070-2099



99% Storm surge level
RCP8.5 2070-2099



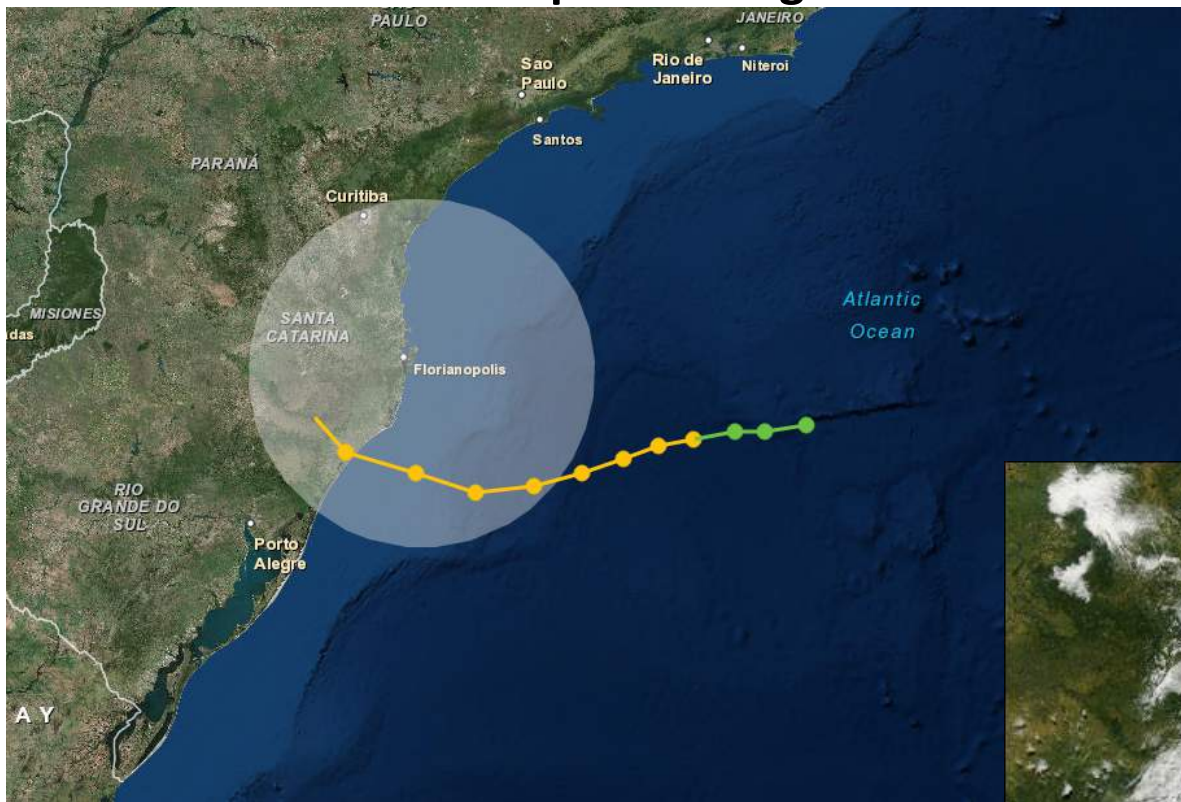
Proyecciones Regionales de MSL



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

1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

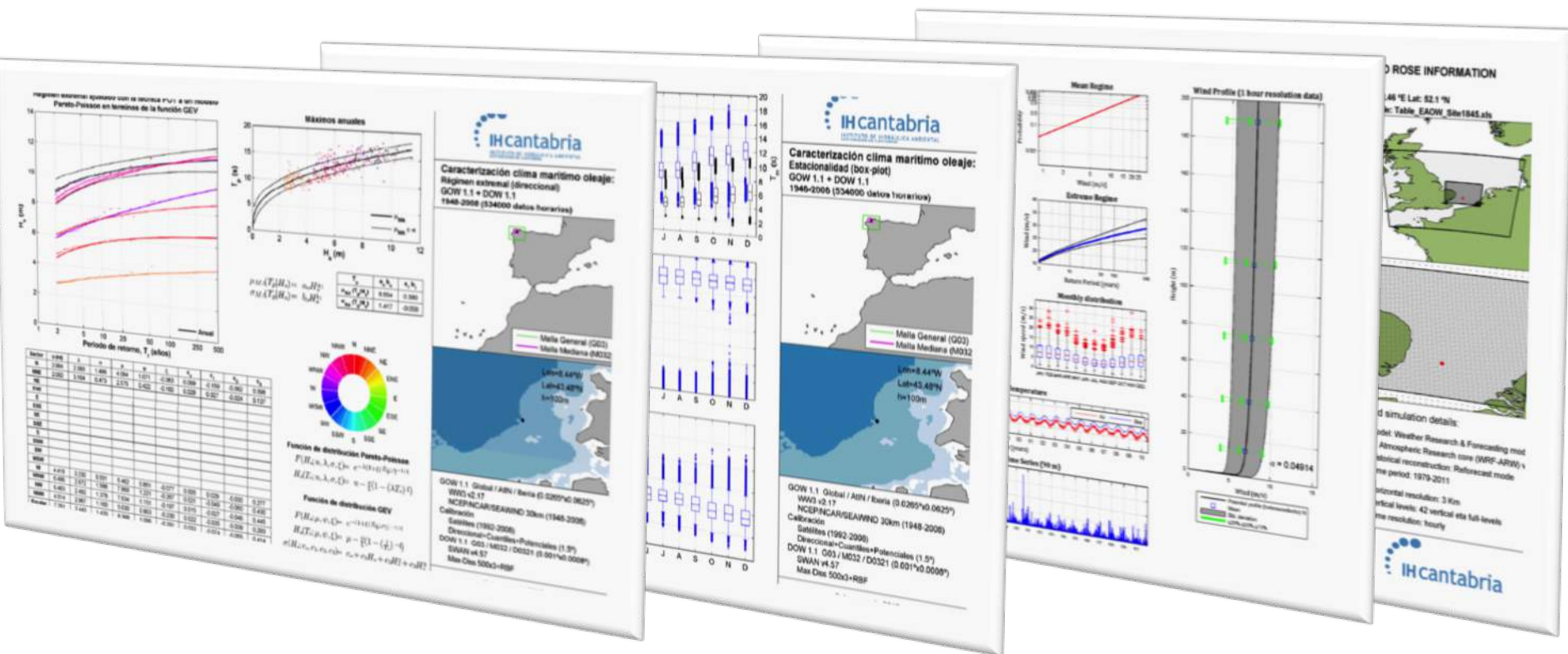
Marzo 2004. Ciclón Tropical. Categoría H2



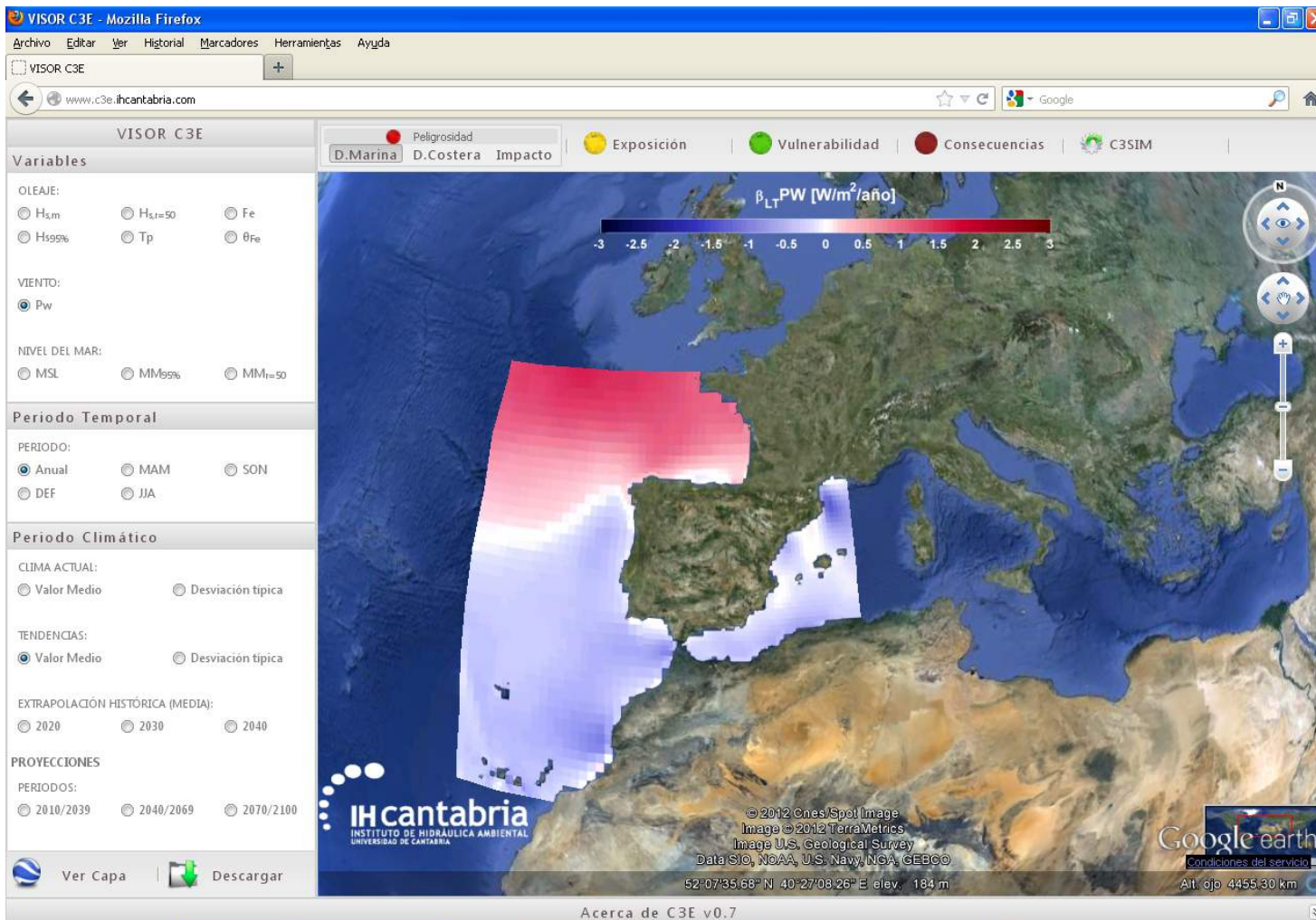
Resumen de Caracterización de las dinámicas marinas en costa:

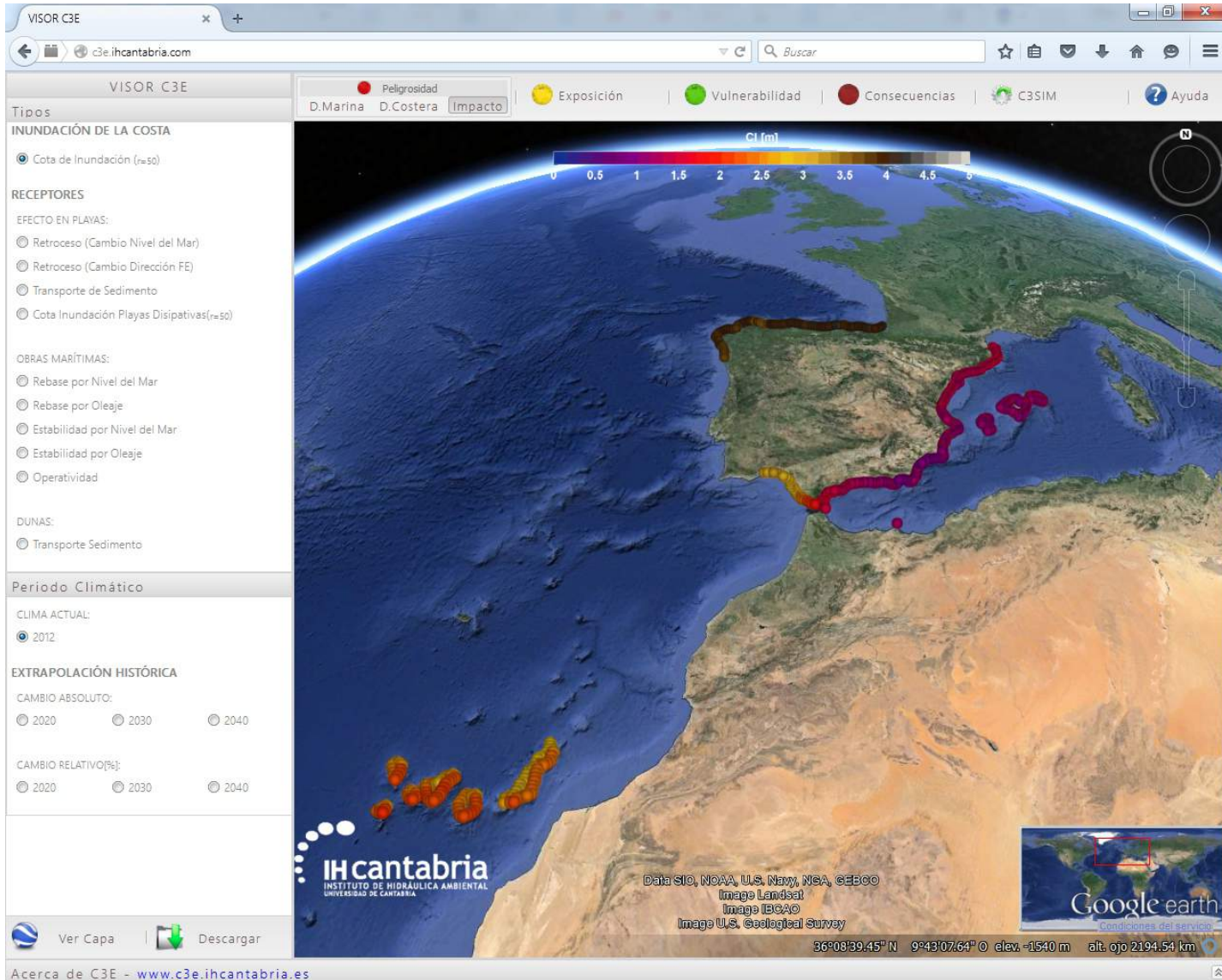
FICHAS

- Viento
- Oleaje
- Nivel del Mar (Marea astronómica + Meteorológica + Nivel Medio)



1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa





1. Recopilación bases de datos
2. Desarrollo de Bases de Datos Históricas de Dinámicas Marinas
3. Desarrollo de Bases de Datos de Proyecciones de Cambio Climático de Dinámicas Marinas
4. Construcción e Integración de Bases de Datos y Análisis
5. Elaboración de un Atlas de Caracterización Climática y Visor Resultados
6. Desarrollo de una Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa
 - ST6.1. Modelo de extremos multivariado incluyendo la variabilidad climática
 - ST6.2. Simulación de los procesos físicos de inundación en la costa mediante modelado numérico

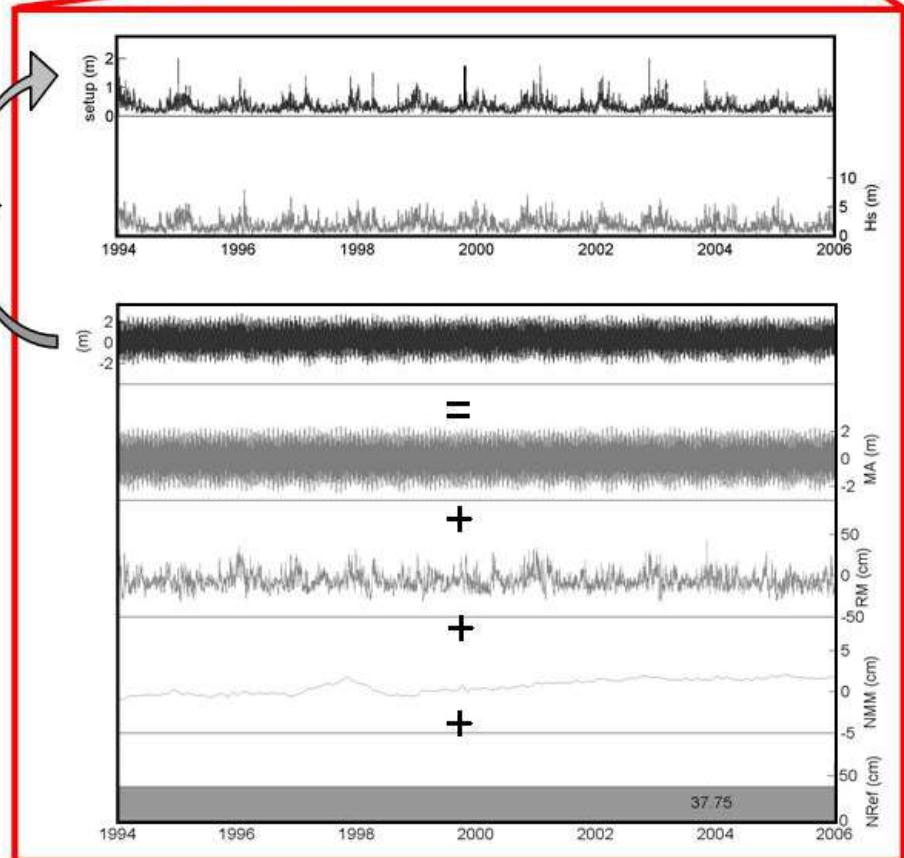
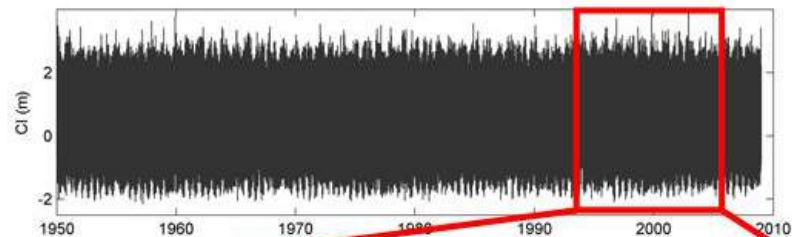
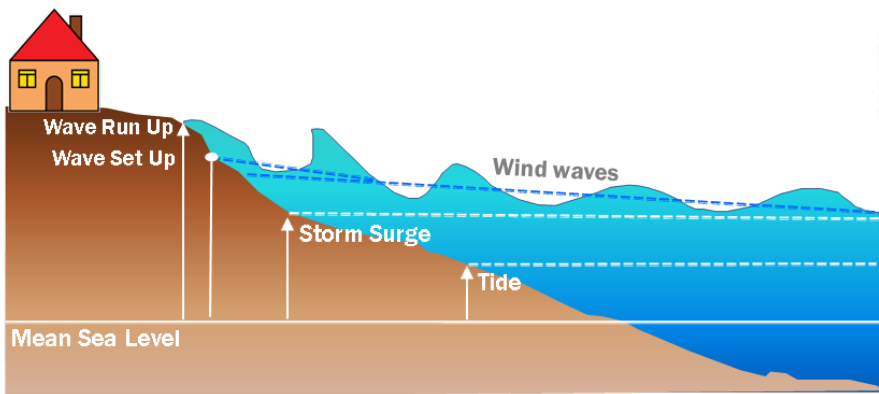


Araranguá



Itajai port devastated by flooding

Contribución de las variables climáticas en el riesgo de inundación



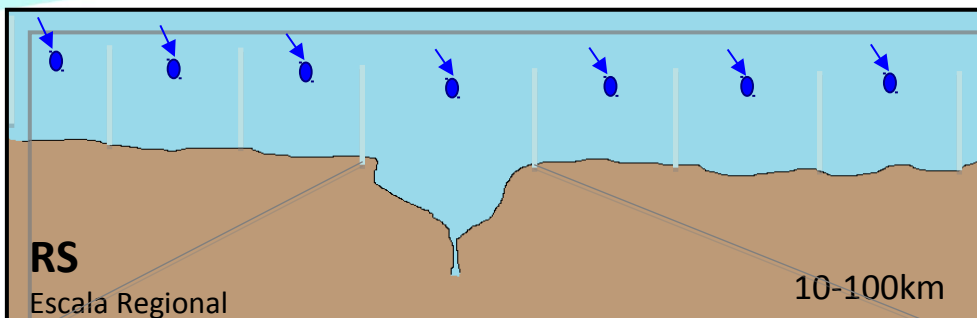
- El alcance del estudio de inundación depende de la resolución espacial de:
 - Dinámicas: oleaje, niveles, precipitación
 - Exposición : sensibilidad del receptor respecto a la inundación
 - La complejidad del tratamiento de las condiciones hidrodinámicas del modelo de inundación también determina la metodología en el estudio de inundación.

Se pueden distinguir tres niveles en la evaluación de la 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:

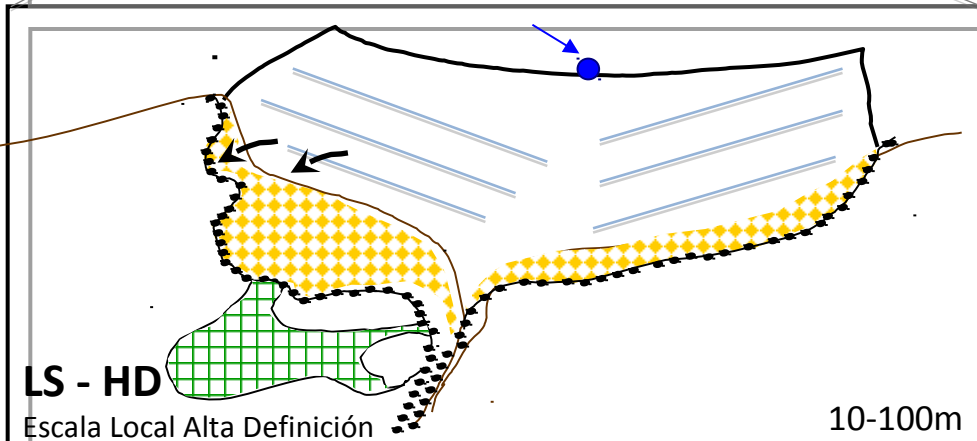
1)Escala regional

2)Escala Local Alta Definición de la inundación. Condiciones hidrodinámicas univariadas

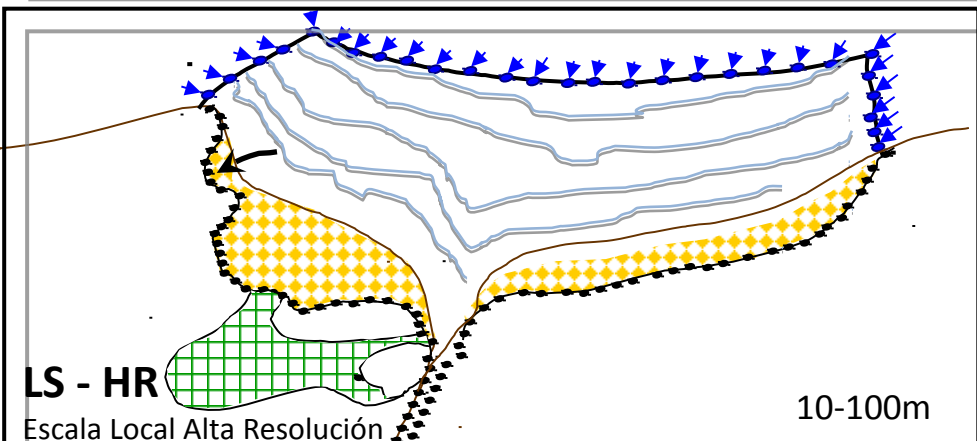
3)Escala Local de Alta Resolución de las dinámicas e inundación. Condiciones hidrodinámicas multivariadas



- Dinámicas a escala regional
- Índice univariado para caracterizar la inundación



- Transferencia de las dinámicas a escala regional mediante formulaciones analíticas
- Modelo de inundación

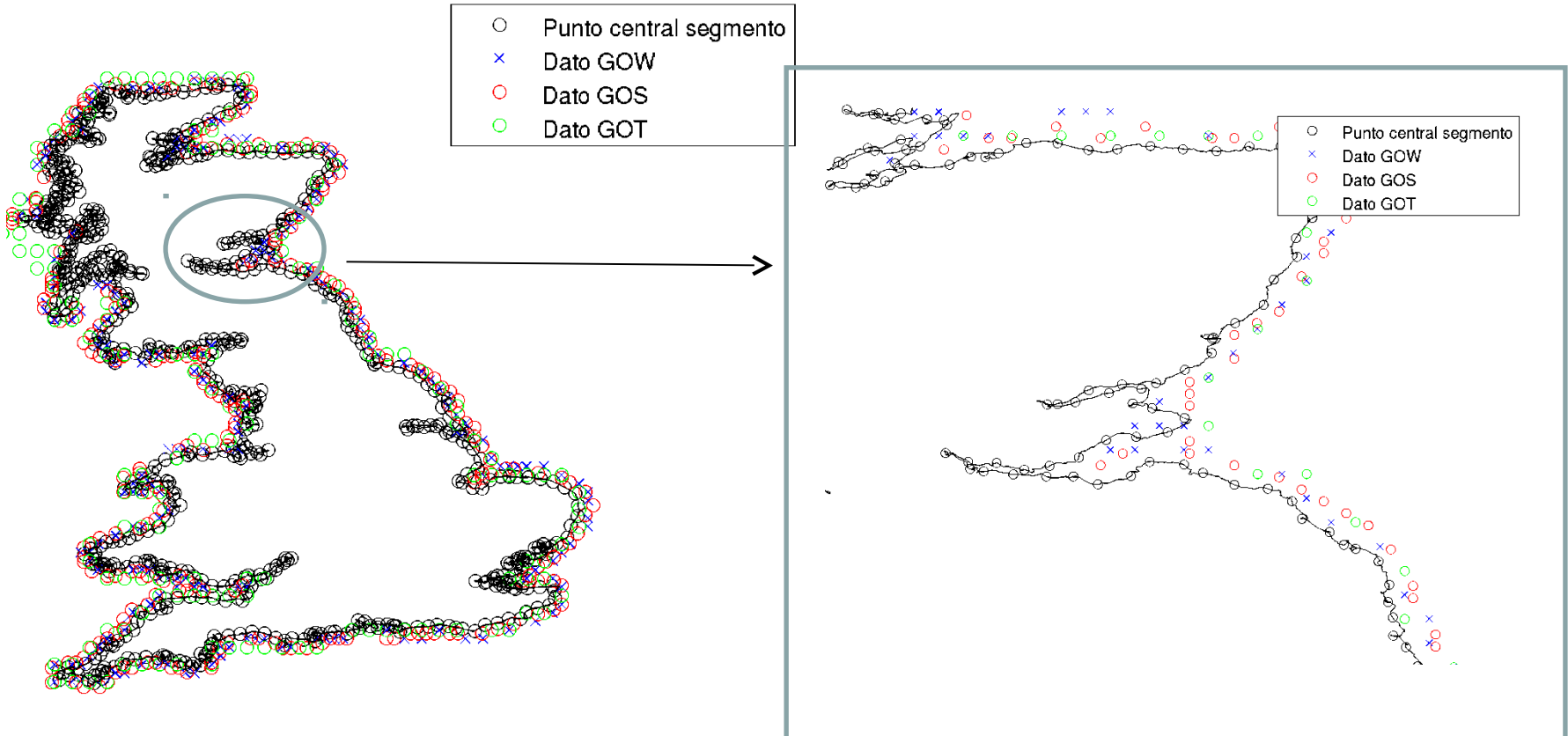


- Modelos hidrodinámicos para cada variable climática
- Modelo de inundación

ESCALA REGIONAL

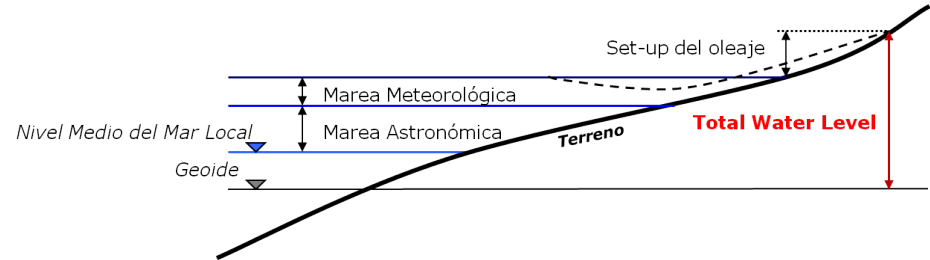
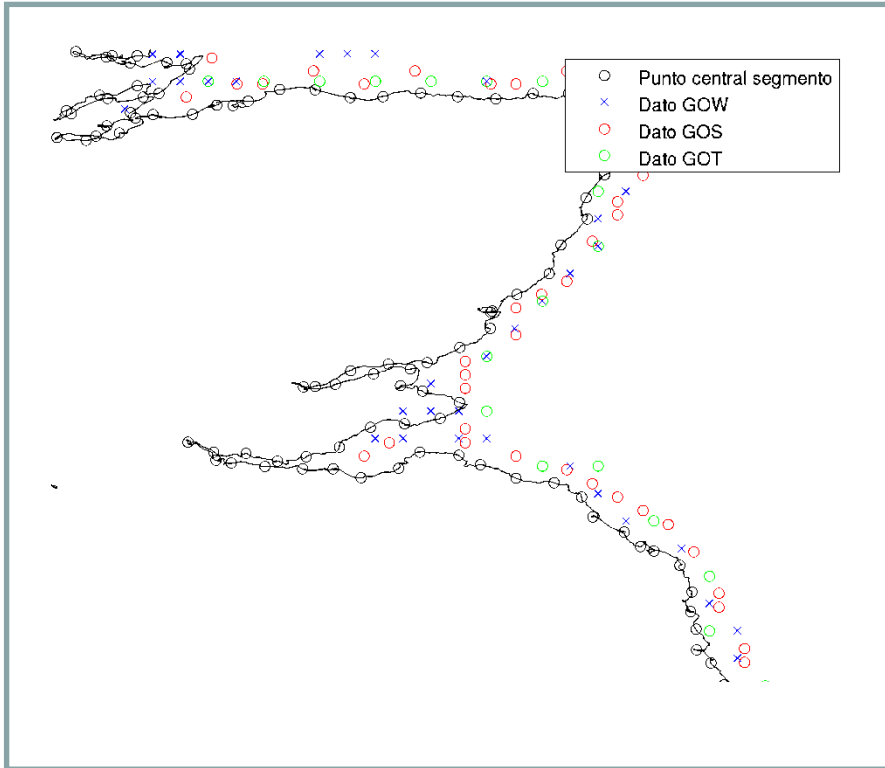
SEGMENTACIÓN DE LA COSTA

- 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

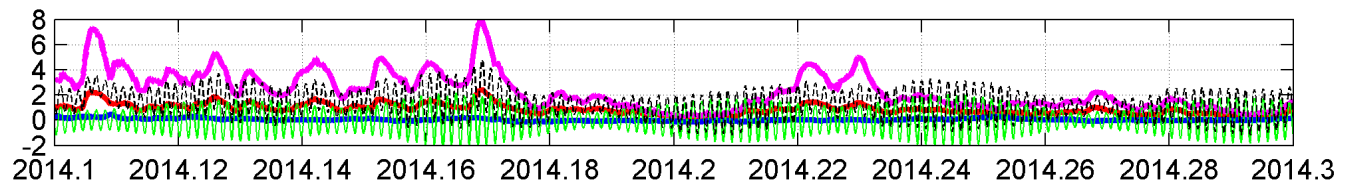
En cada segmento de la costa se calcula el índice de nivel del mar total (TWL)



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

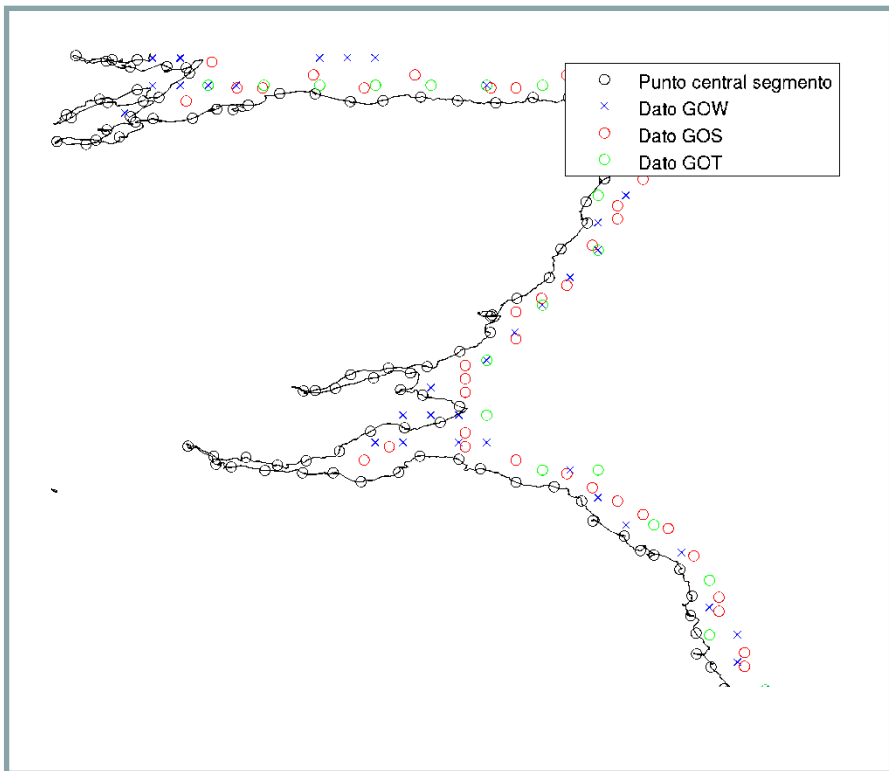
$$TWL = MM + MA + Setup + SLR$$

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

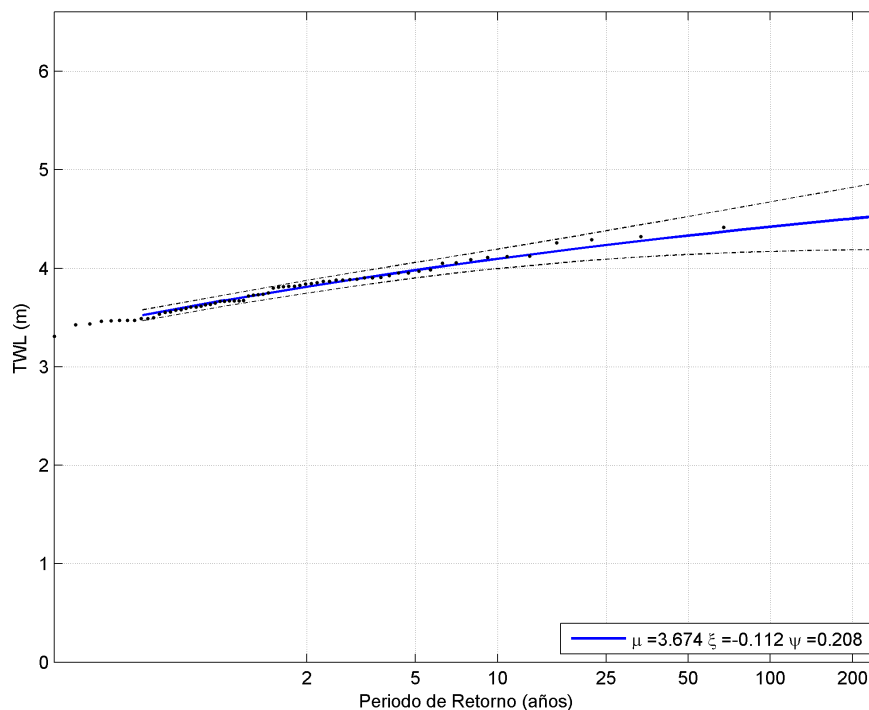


ESCALA REGIONAL

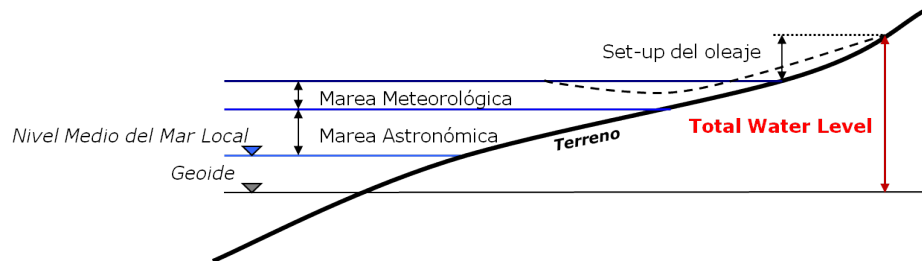
Se calcula el régimen extremal del TWL en cada segmento de la costa



Régimen Extremal (GEV)



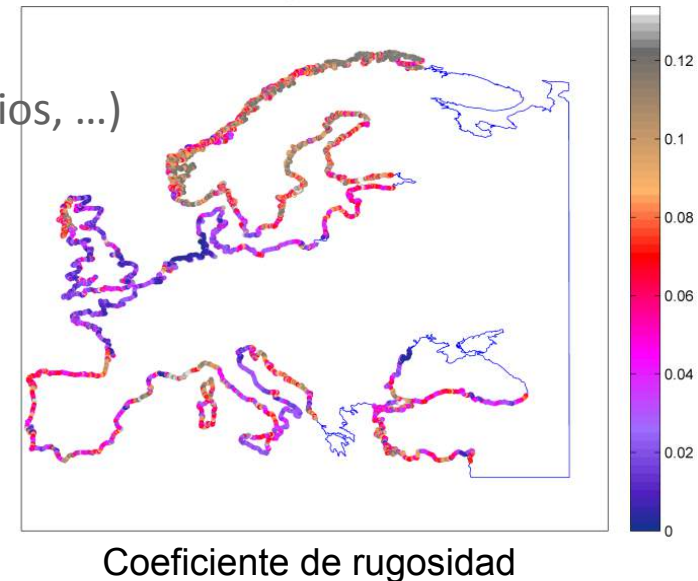
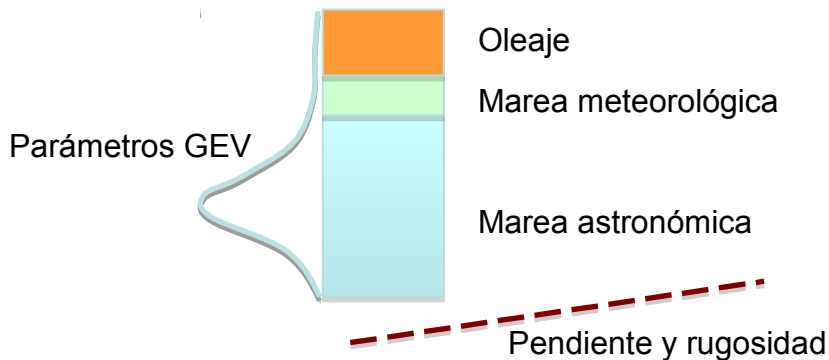
**Periodos de retorno TWL
100 años / 500 años**



ESCALA REGIONAL

Se integra la exposición en la definición de un **índice** para la caracterización de la inundación en cada segmento de la costa

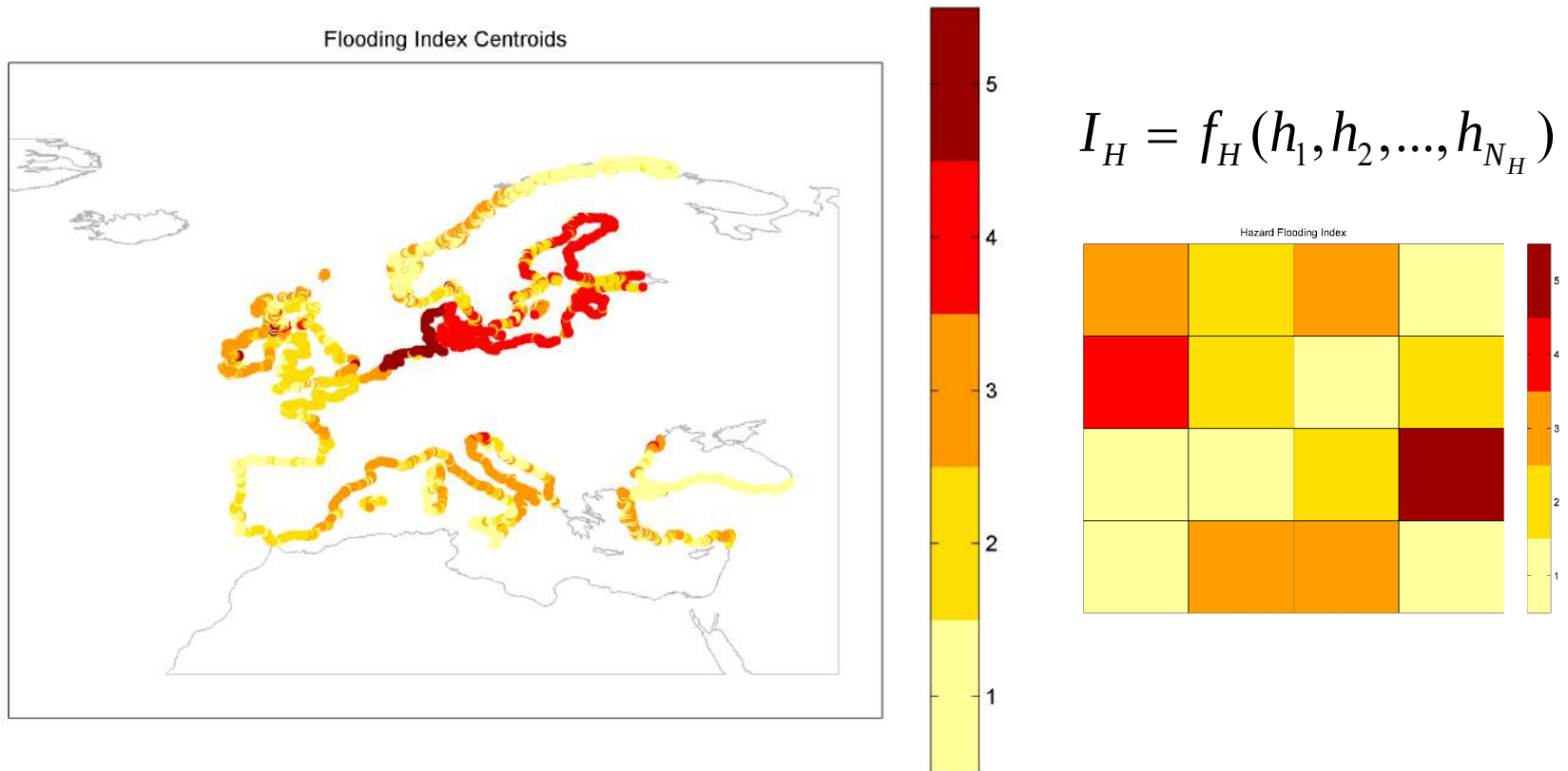
- ✓ Parámetros de la distribución extremal TWL
 - μ , σ , ξ
- ✓ Influencia de cada una de las dinámicas (oleaje, marea meteorológica, marea astronómica) en la inundación?
 - α_{Gos} , α_{Got} , α_{SetUp}
- ✓ Características topográficas del terreno ?
 - Pendiente media
- ✓ Rugosidad media (Coeficiente de Manning n) dependiendo del tipo de suelo (acantilado, estuarios, ...)



ESCALA REGIONAL

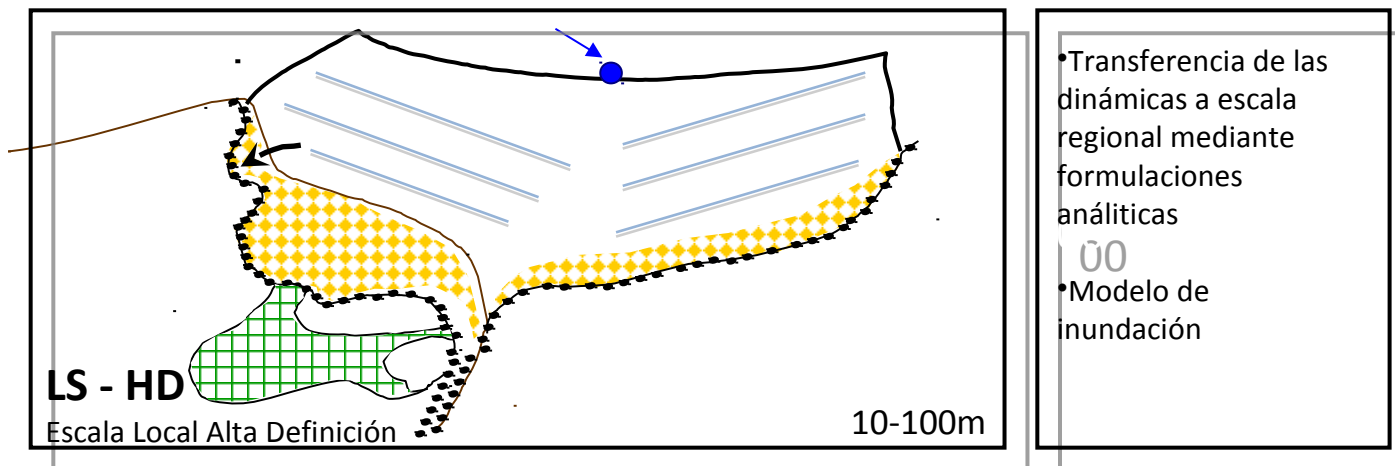
Índice de inundación en cada segmento de la costa

Integra la peligrosidad (dinámicas) y la exposición (sensibilidad del receptor) en 5 niveles

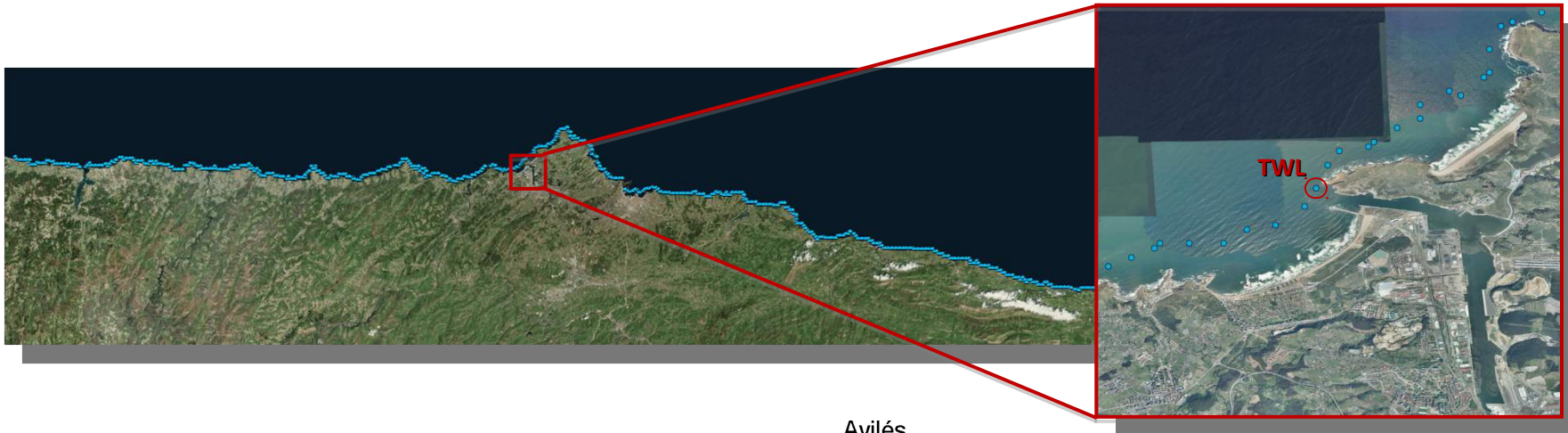


$$FloodingIndex = Coeff_{manning} \times \frac{TWL_{100YRP} \times (\alpha_{GOS} + \alpha_{SETUP})}{Slope_{mdt}}$$

ESCALA LOCAL – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

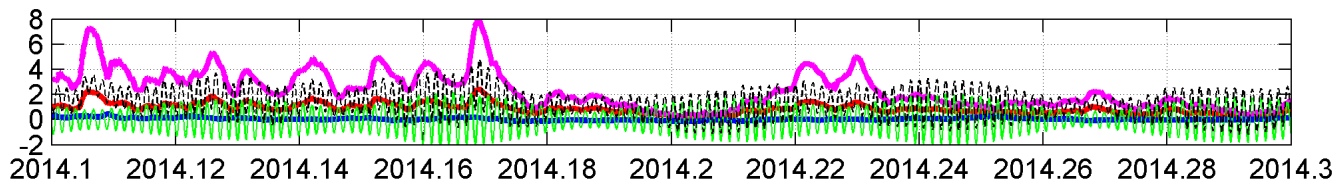


ESCALA LOCAL – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

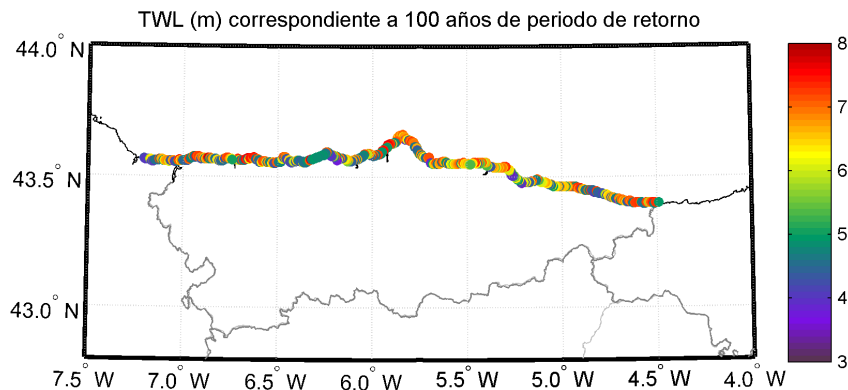
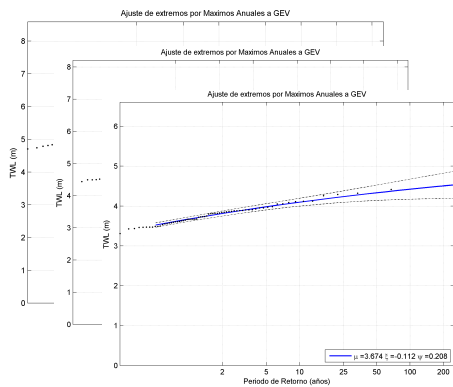


Avilés

— MA
— MM
— Hs
— Setup
— TWL



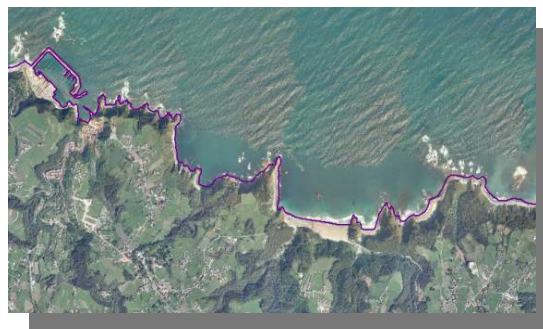
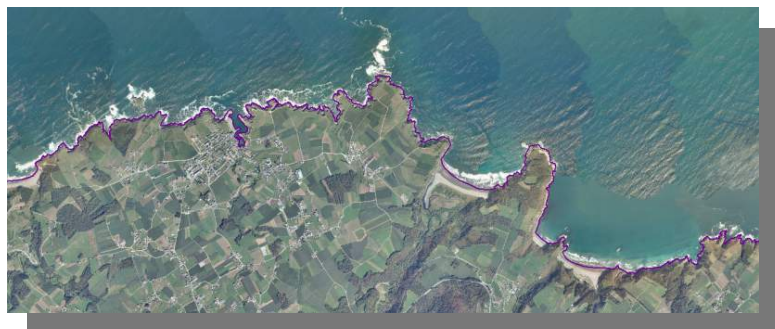
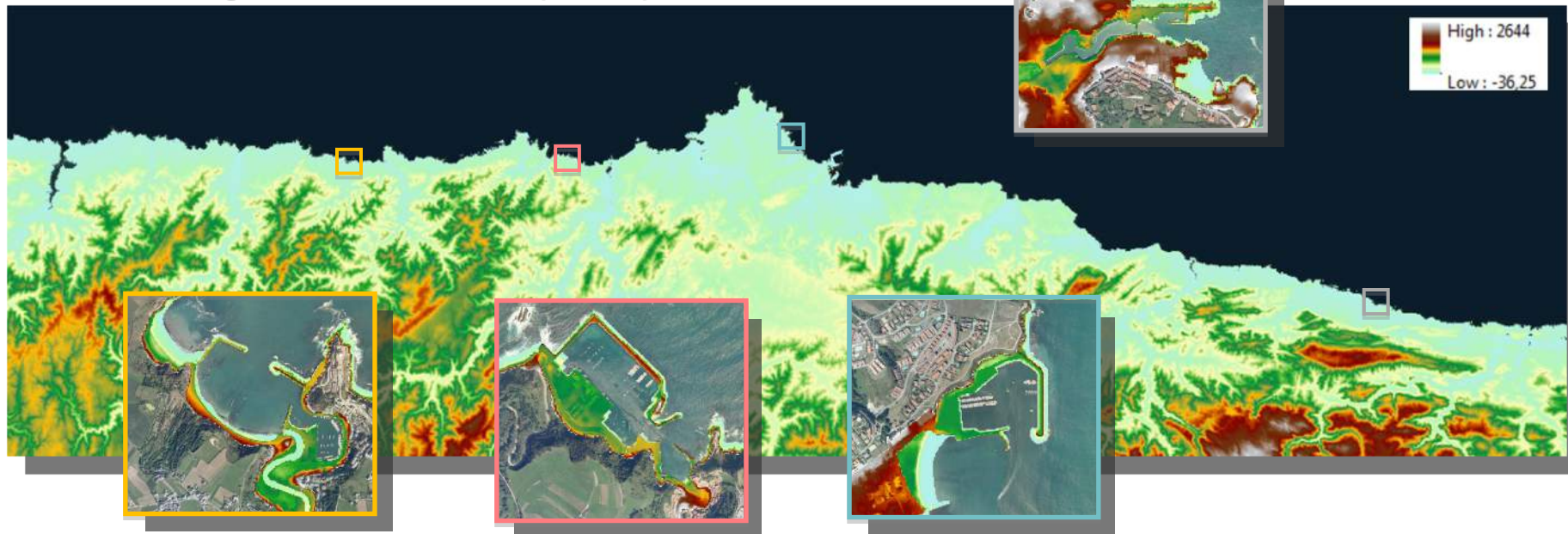
Régimen Extremal (GEV)



ESCALA LOCAL – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

EXPOSICIÓN

Modelo Digital de Terreno (MDT) – LiDAR 5 m



Línea de costa
de alta
resolución

ESCALA LOCAL – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

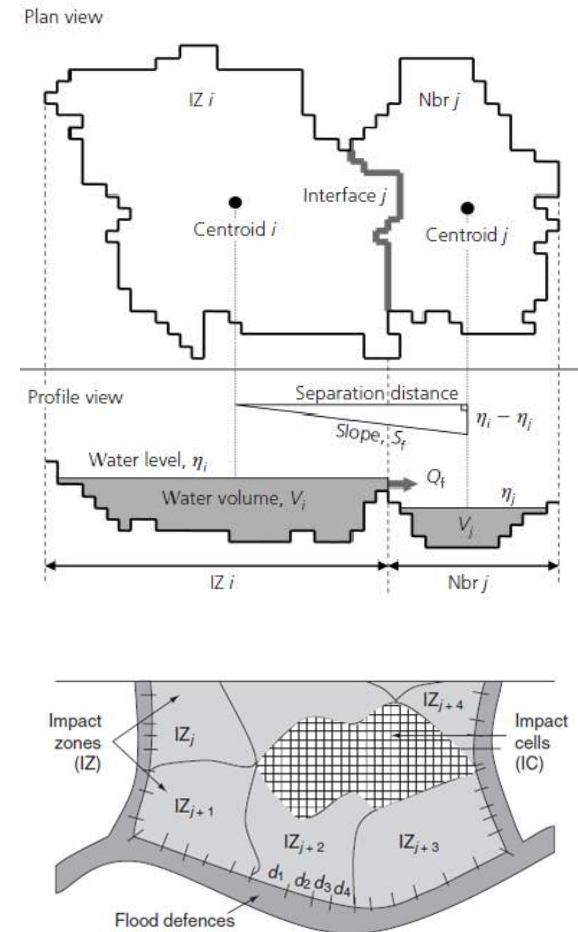
MODELADO DE INUNDACIÓN



RFSM-EDA

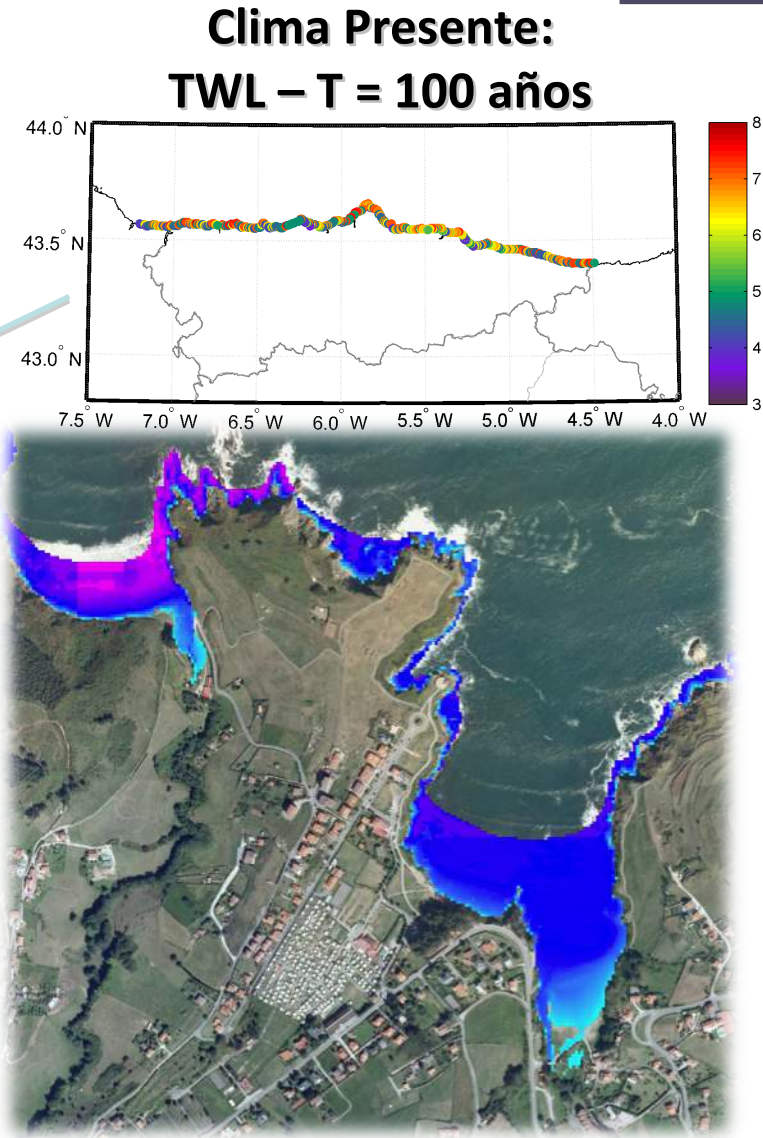
(Rapid Flood Spreading Method - Explicit Diffusion wave with Acceleration term)

- ✓ 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 – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

CONDICIONES HIDRODINÁMICAS UNIVARIADAS



ESCALA LOCAL – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

CONDICIONES HIDRODINÁMICAS UNIVARIADAS

ESCENARIOS CLIMÁTICOS

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

2 TIPOS DE INUNDACIÓN { INUNDACIÓN PERMANENTE (SLR) { SLR₁ = 0.45 m (RCP4.5 Slangen et al., 2014)
SLR₂ = 0.65 m (RCP8.5 Slangen et al., 2014)
SLR₃ = 1 m (High++)
EVENTOS EXTREMOS DE INUNDACIÓN (CI) { T₁ = 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 – ALTA DEFINICIÓN DE LA INUNDACIÓN

FACTORES IMPORTANTES EN LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DE LA INUNDACIÓN

**DISTRIBUCIÓN
ESPACIAL DE
RUGOSIDADES
n DE MANNING**

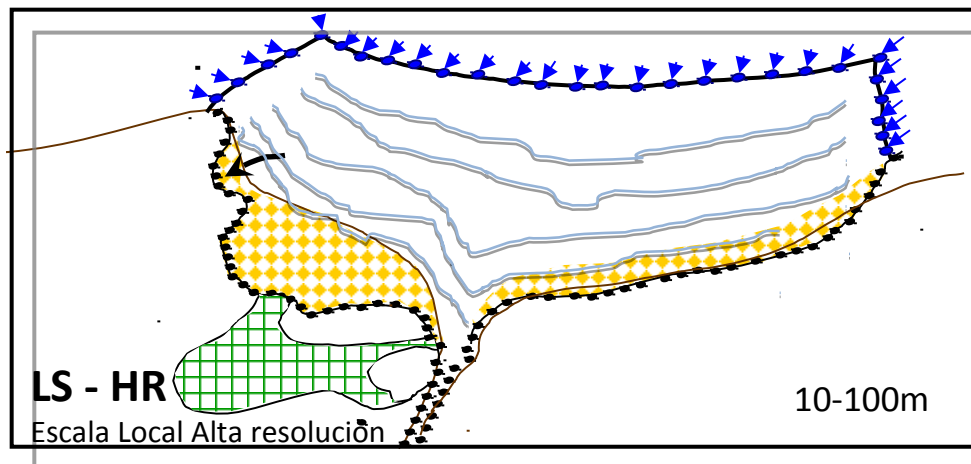


**Marea Astronómica
Precipitación Local
Caudal**



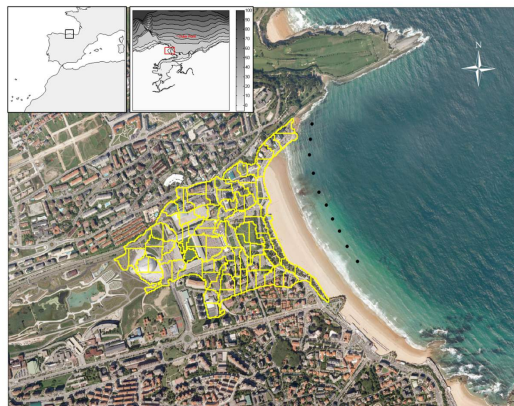
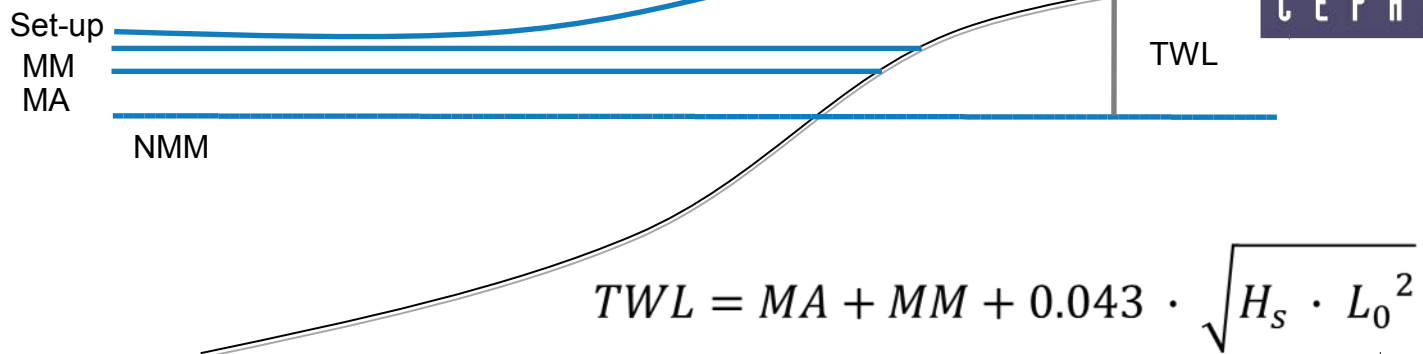
ESCALA LOCAL – ALTA RESOLUCIÓN DE LAS DINÁMICAS Y DE LA INUNDACIÓN

CONDICIONES HIDRODINÁMICAS MULTIVARIADAS

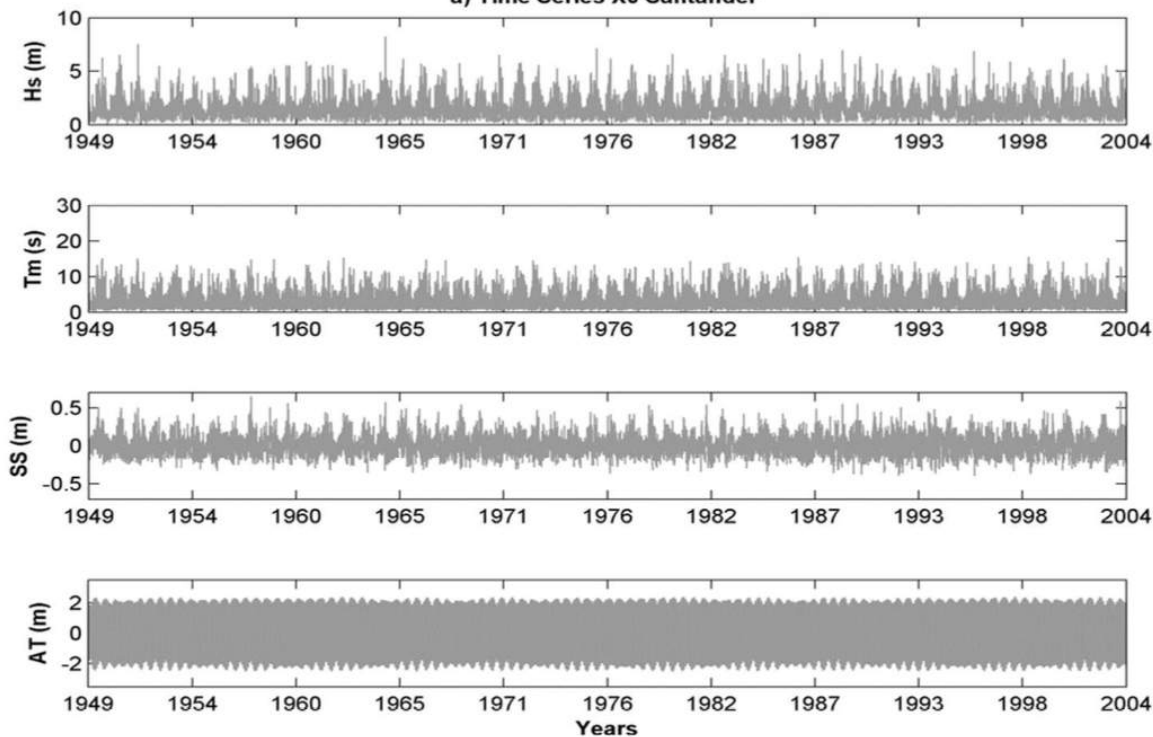


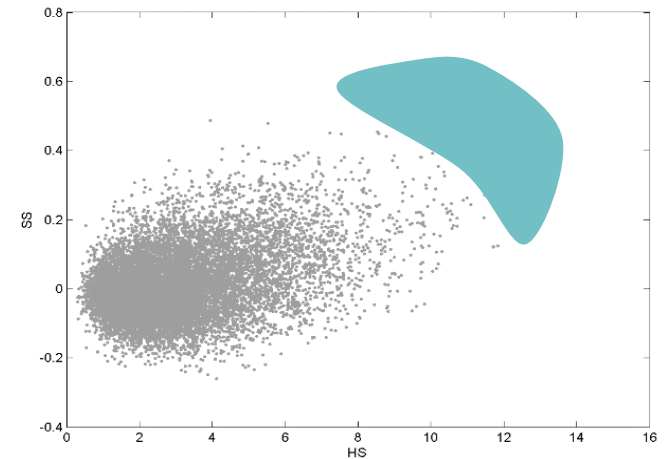
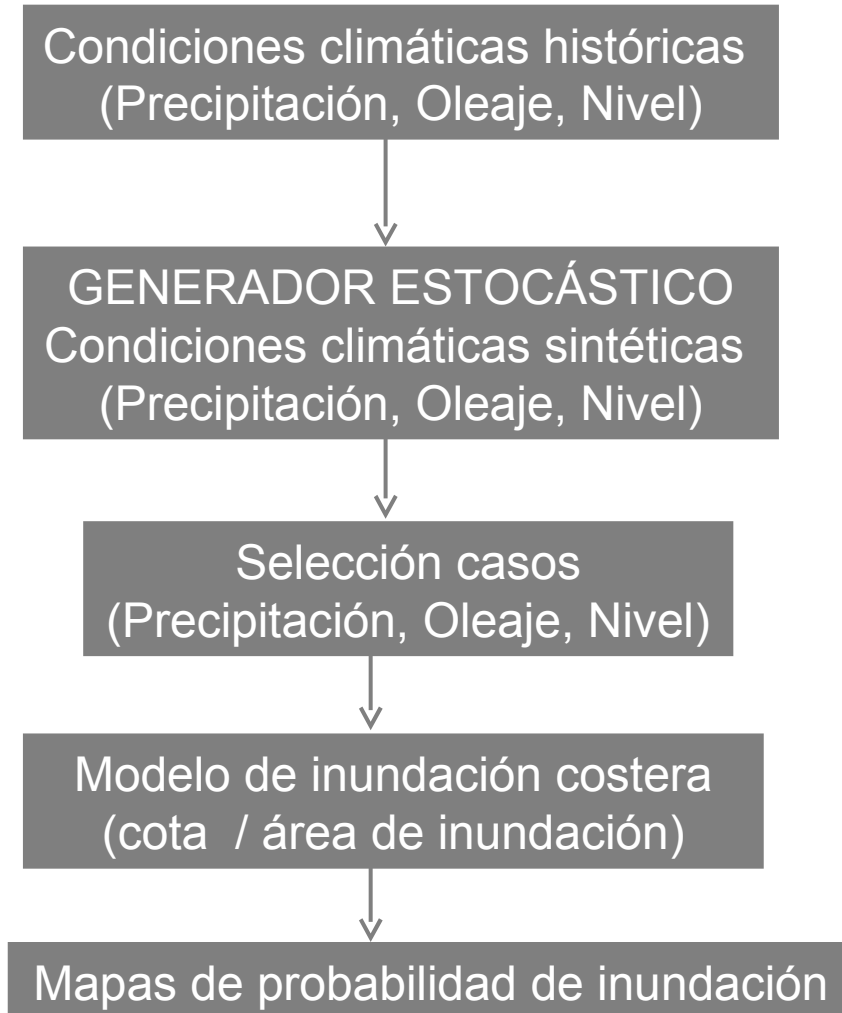
- Modelos hidrodinámicos para cada variable climática
- Modelo de inundación





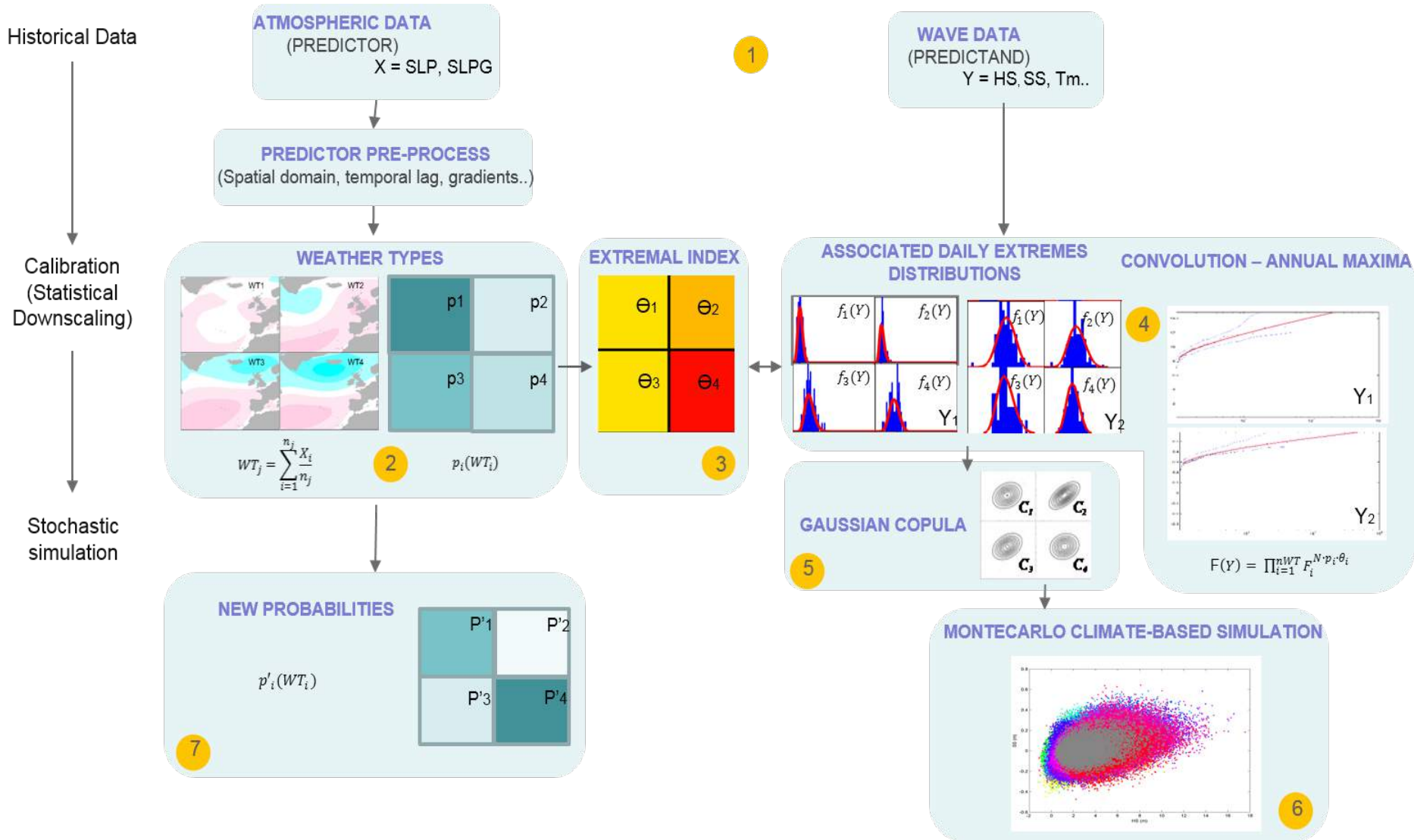
a) Time Series X0 Santander





OBJETIVO:
Incrementar la población
multivariada de extremos

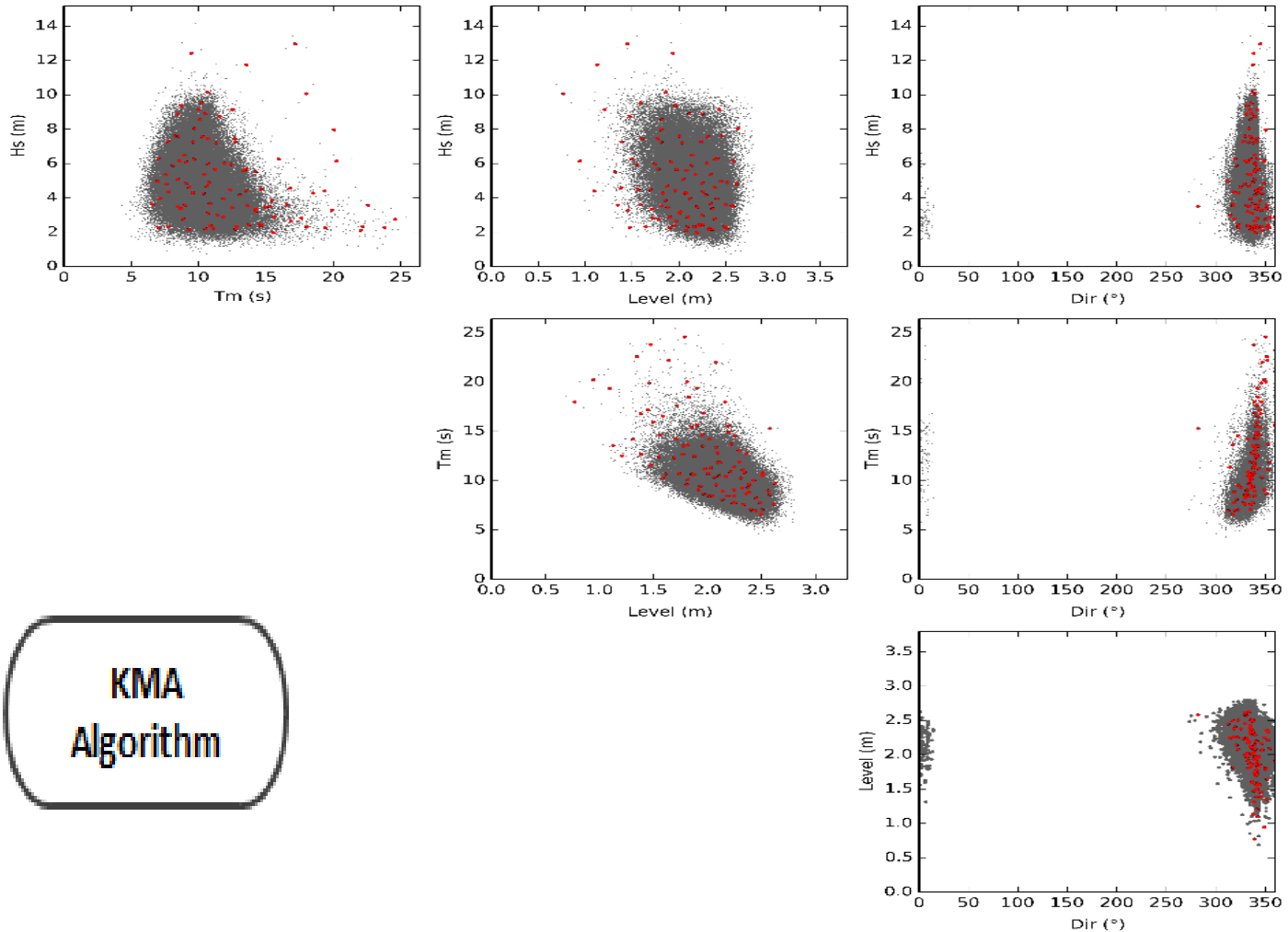
GENERADOR ESTOCÁSTICO DE EXTREMOS



GENERADOR ESTOCÁSTICO DE EXTREMOS

- (1) Colección de datos históricos del predictor (variables atmosféricas) y predictando (estados de mar, marea meteorológica)
- (2) Definición del predictor (presiones a nivel del mar a escala regional)
- (3) Clasificación del predictor en tipos de tiempo
- (4) Análisis extremal univariado y validación del ajuste extremal total a partir del productorio de los ajustes individuales y la probabilidad de cada tipo tiempo
- (5) Estructura de dependencia entre las variables para cada tipo de tiempo
- (6) Simulación estocástica bajo el régimen del clima presente

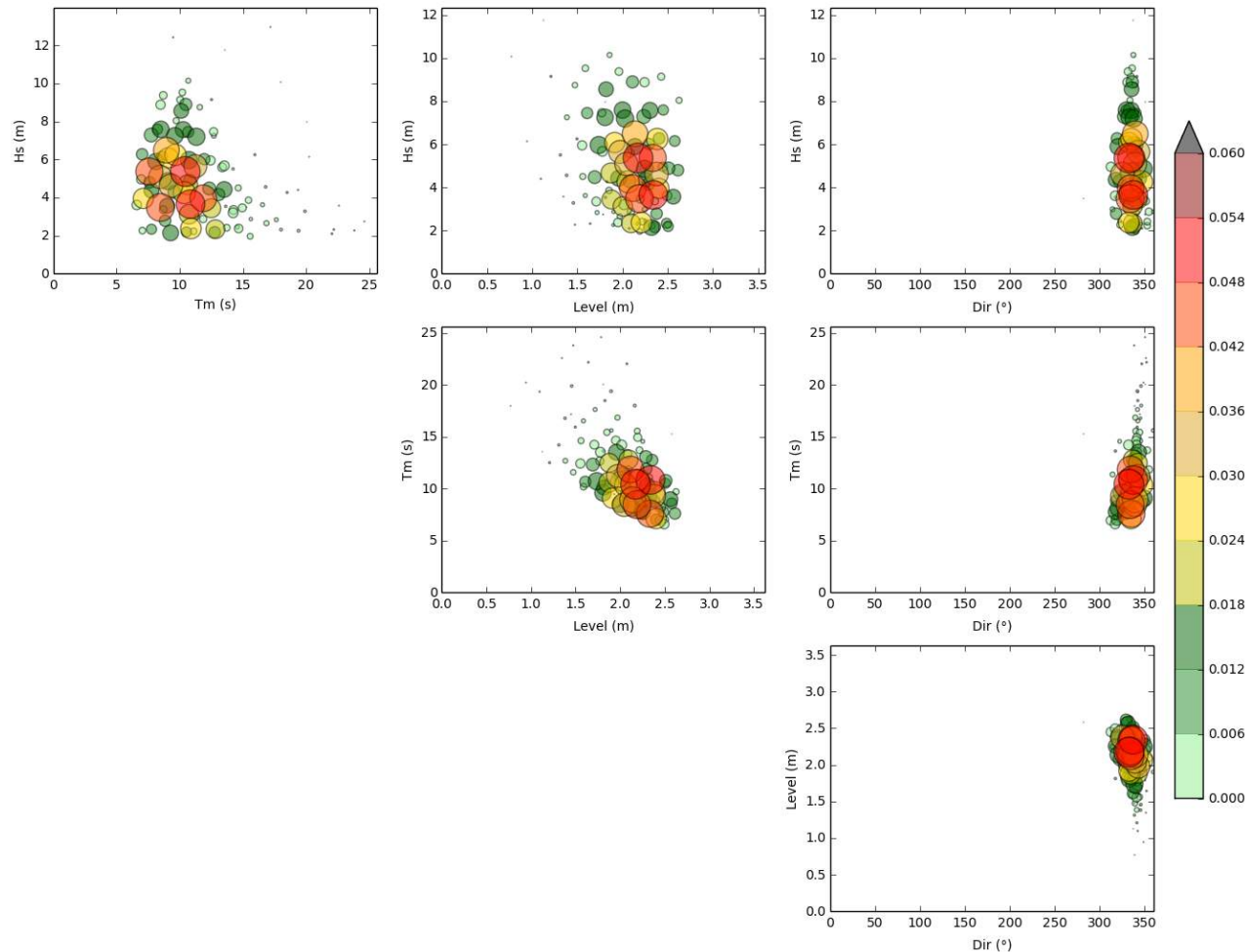
Se selecciona un número reducido (100) de condiciones multivariadas (oleaje y niveles) de las miles de simulaciones sintéticas generadas.



KMA
Algorithm

• Data points • Selected points

Las miles de condiciones multivariadas (oleaje y niveles) quedan agrupadas en las 100 clases (clústers) con una determinada probabilidad. Se simula numéricamente la inundación generada por estos 100 clústers (condiciones multivariadas)

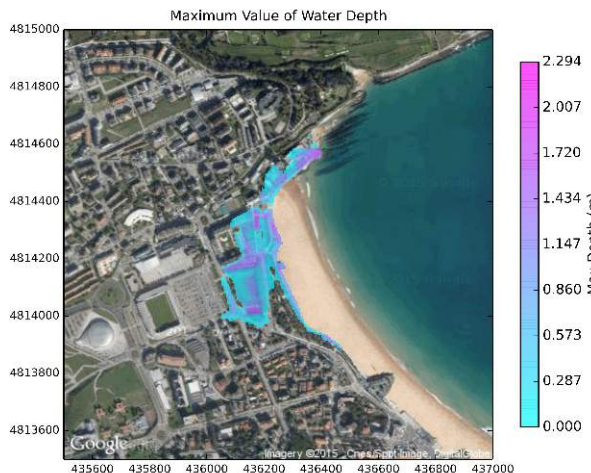
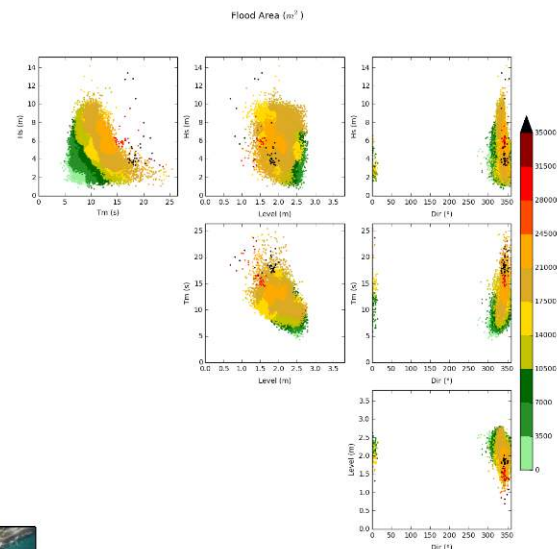
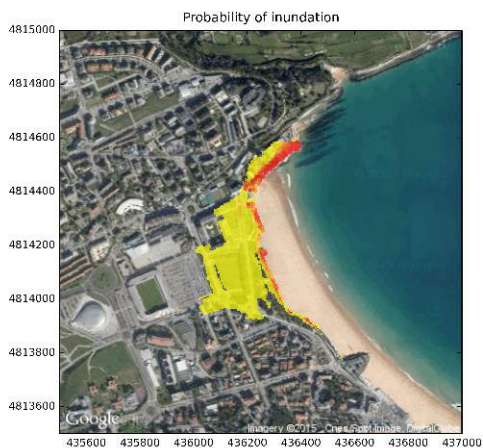


Probability of inundation



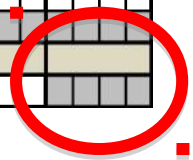
T6. Metodología para el Análisis de Alta Resolución de Impactos por Inundación en un Tramo de Costa

ST6.2. Simulación de procesos físicos de inundación en la costa mediante modelado numérico



TAREAS/SUBTAREAS - CRONOGRAMA

Tareas	Sub-tareas														
0	COORDINACI														



PROYECTO

“Generación e Integración de Bases de Datos Climáticas, Históricas y de Proyecciones de Cambio Climático, para la Gestión de Riesgos Costeros en el Estado de Santa Catarina”

PARA:

Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (*CEPAL*)

Iñigo J. Losada (losadai@unican.es)