

# Nuevas mallas para pronóstico de marea de tormenta en el Golfo de México

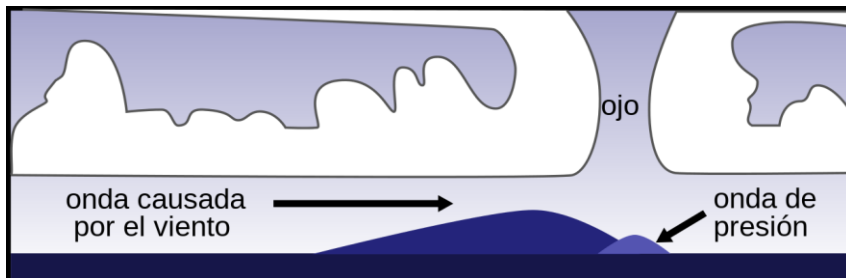
E. Eduardo Gómez-de la Peña, Ovel Díaz-García, Jorge Zavala-Hidalgo

29-enero-2021

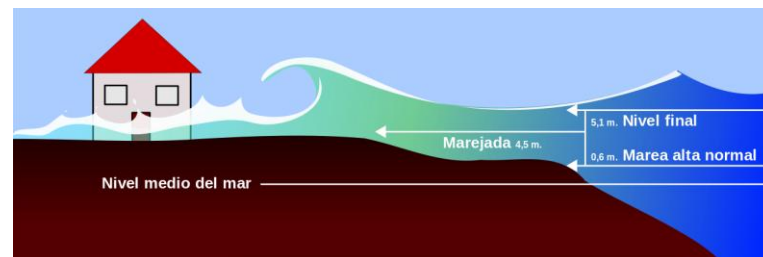
# Marea de tormenta ¿qué es y porqué estudiarla?

La marea de tormenta es una inundación costera asociada a un sistema atmosférico de baja presión (en México se asocia con ciclones y frentes fríos).

Es causada por el apilamiento de agua que resulta del efecto conjunto del viento y, en menor medida, la baja presión atmosférica.



Grandes inundaciones y pérdidas asociadas (ej: Katrina 2005, Karl 2010, Eta 2020).



Veracruz, huracán Karl 2010 (Periódico La silla Rota, Veracruz)

# Antecedentes y trabajo realizado en el grupo IOA

Cómo parte del proyecto conjunto entre el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se ha diseñado y desarrollado un Sistema de Pronóstico Numérico de Mareas de Tormentas, Marejadas y Oleaje para los mares mexicanos y zona costera.

<http://grupo-ioa.atmosfera.unam.mx/pronosticos/index.php/marea-de-tormenta>

ADCIRC: ADvanced  
CIRCulation Model for Oceanic,  
Coastal and Estuarine Waters  
(Luetich y Westerink, 1991)



- Resuelve la circulación y transporte en 2D y 3D
- Elementos finitos
- Mallas no-estructuradas

**Objetivo:**

Mejorar los productos del pronóstico de marea de tormenta del grupo IOA.

**Objetivos  
particulares:**

**PARTE I.**

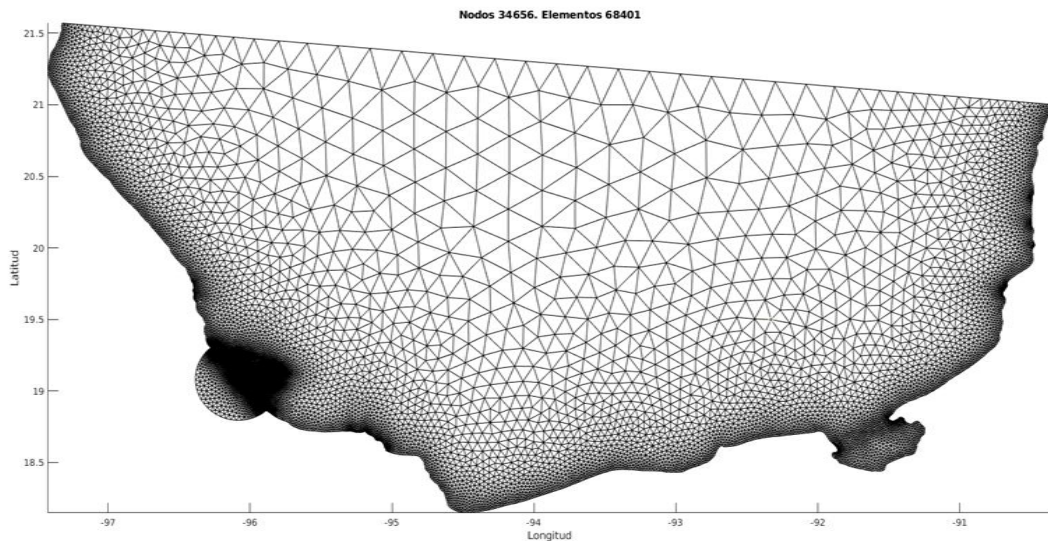
1. Aumentar la resolución de los productos actuales (generación de nueva malla no-estructurada).
2. Experimentos numéricos y validación.

**PARTE II.**

3. Refinar resolución y línea de costa.
4. Incluir malla en tierra.

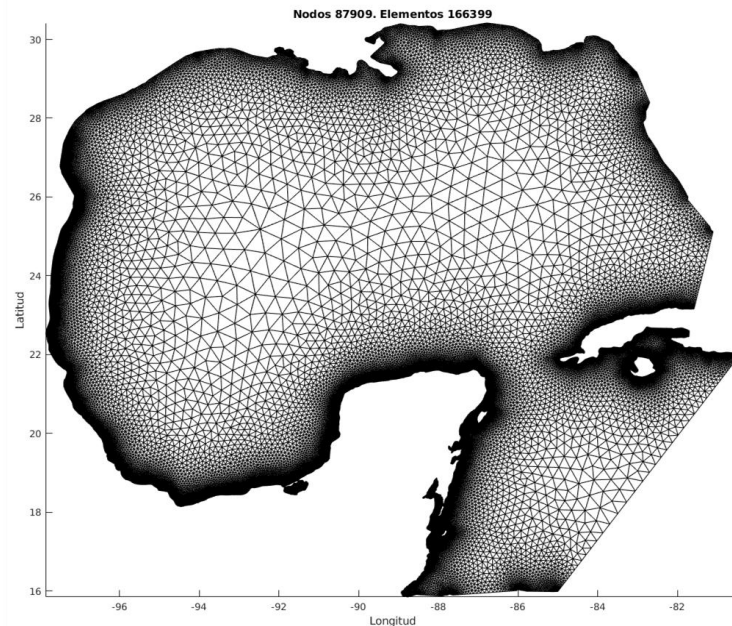
# PARTE I

# 1. Aumentar la resolución de los productos actuales



**Ver01L**

Mayor resolución en Veracruz y Ciudad del Carmen (30-50 m) + malla en tierra

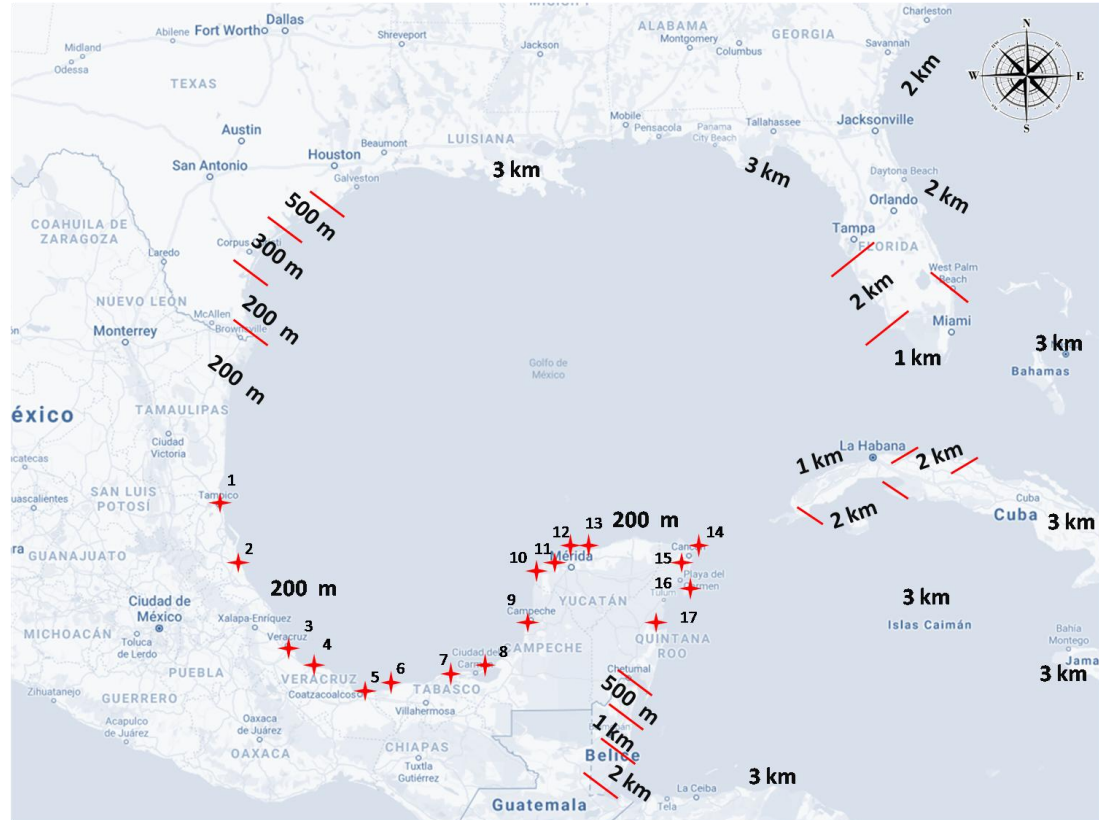


**GoMOp2**

(La que está actualmente en el Operativo del IOA).

# 1. Aumentar la resolución de los productos actuales

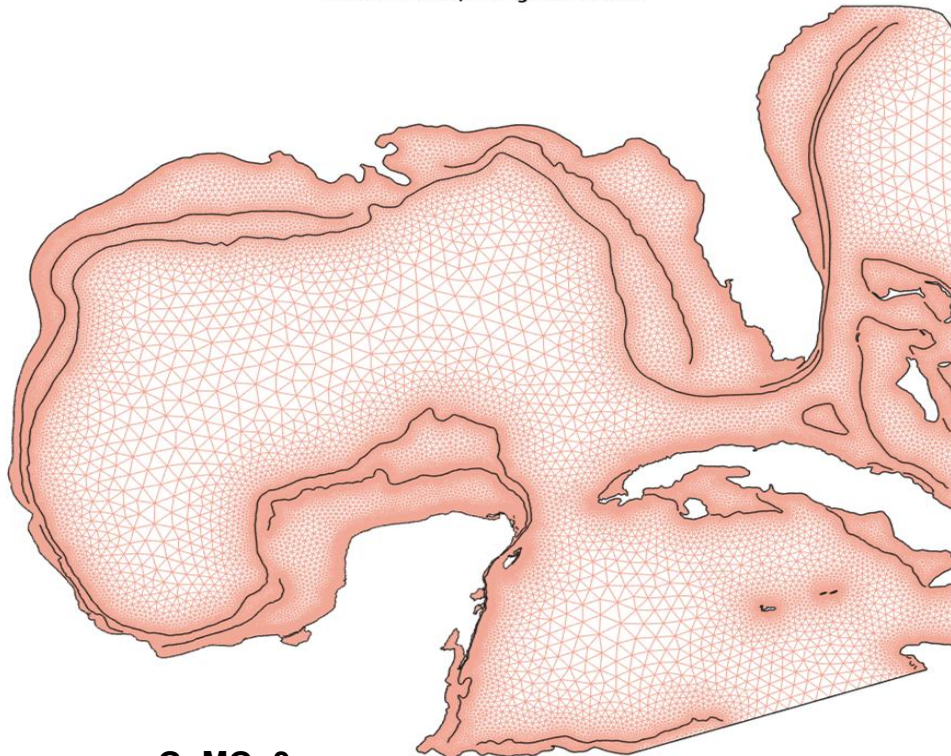
Estación del S. Mareográfico	Número
Tampico	1
Tuxpan	2
Veracruz	3
Alvarado	4
Coatzacoalcos	5
Sánchez Magallanes	6
Rio Grijalva	7
Ciudad del Carmen	8
Campeche	9
Celestun	10
Sisal	11
Progreso	12
Telchac	13
Isla Mujeres	14
Puerto Morelos	15
Cozumel	16
Sian Ka'an	17



Resolución de 100 m en los puntos de interés

# Nueva malla generada: GoMOp3

Nodos: 179108, Triangulos: 332662



GoMOp3

- **Línea de costa:**  
Global Self-consistent Hierarchical, High-resolution Geography Database (**GSHHG**).

- Edición manual con software **SMS** (Surface-water Modeling System).

- Generación de malla no-estructurada con Matlab (paquetería **mesh2d**)

- Batimetría : etopo1 +Hycom

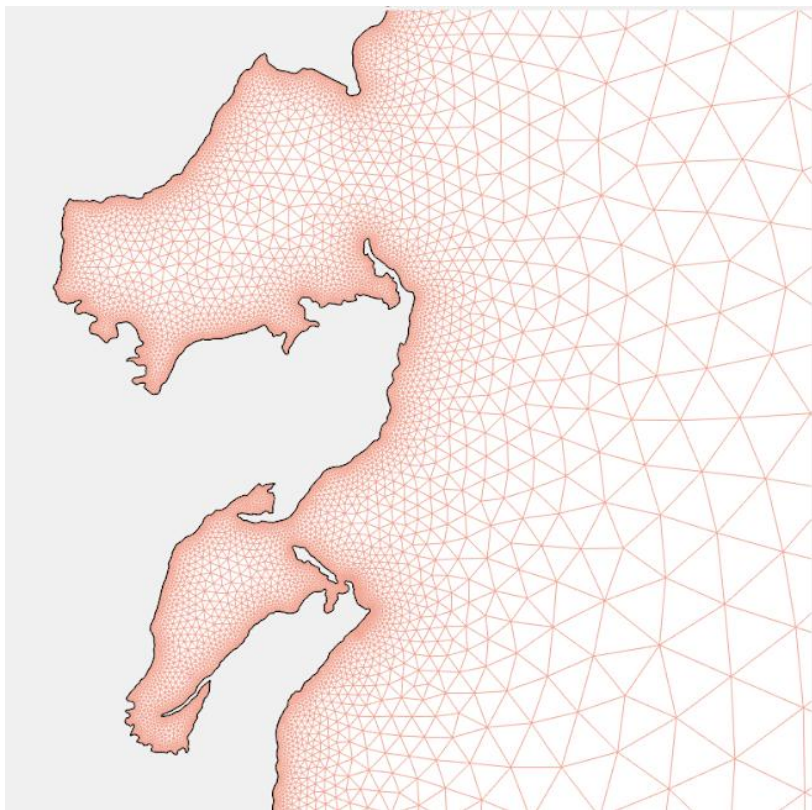
- Isobatas 50 y 200 m



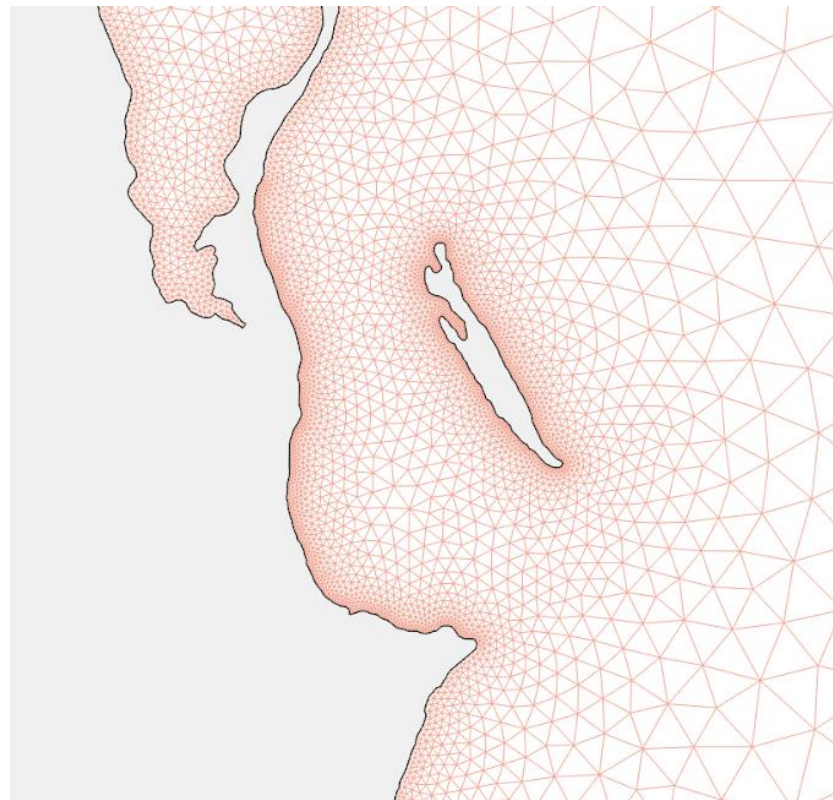
- Experimentos numéricos (con ADCIRC):

- a) Tide
- b) Wind
- c) Windwave





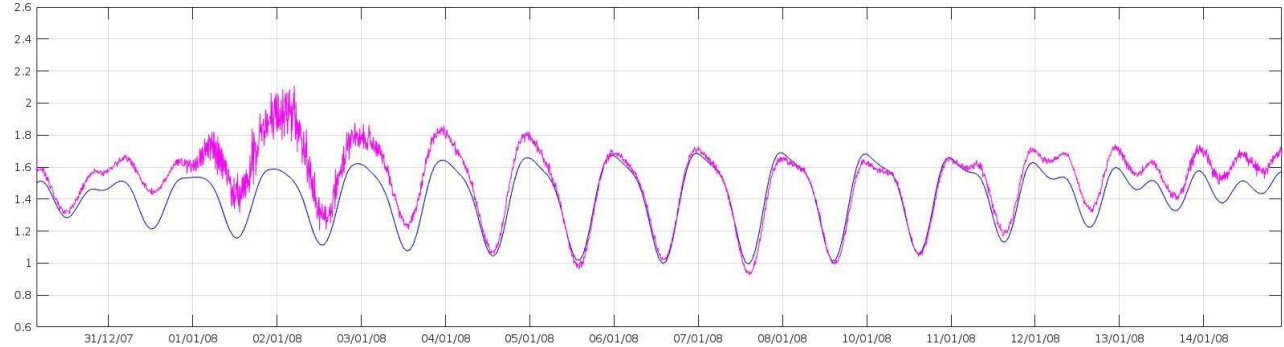
Sian Ka'an



Isla Mujeres

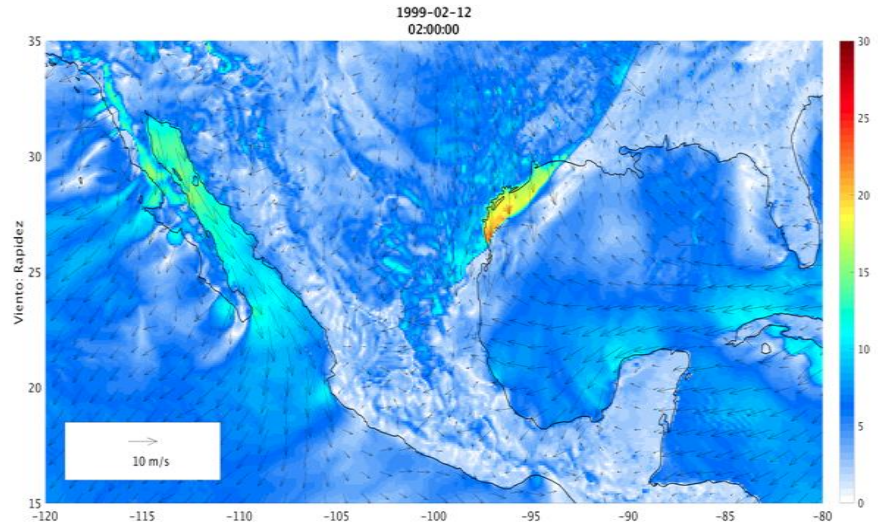
## 2. Experimentos numéricos y validación

• **Serie de tiempo del Servicio Mareográfico Nacional** (observaciones + pronóstico)



• **Forzamiento atmosférico: NetCDFs (reanálisis WRF)**  
→ archivos con viento y presión (duración 6 días)

17 Nortes históricos			
10-02-1999	25-11-2011	14-11-2008	14-01-2013
20-10-2007	01-01-2012	07-01-2010	22-01-2014
31-12-2007	23-02-2012	03-11-2010	14-03-2014
04-02-2008	19-12-2012	11-01-2011	19-11-2015
08-11-2011			



# Resultados

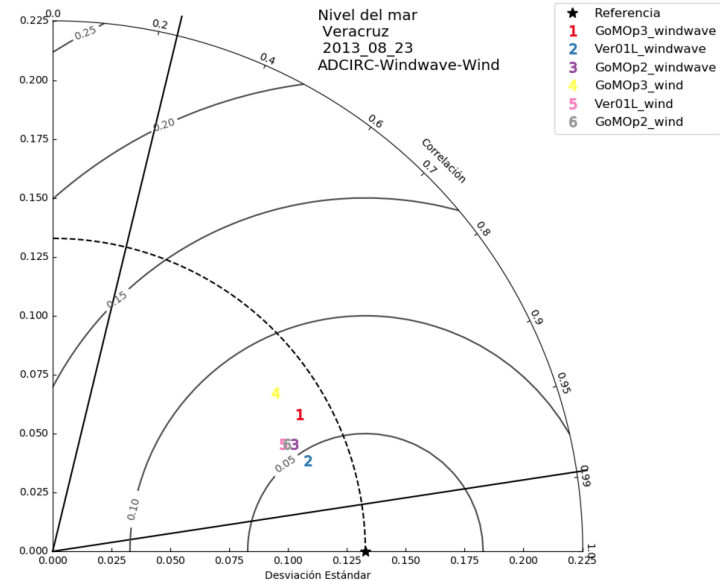
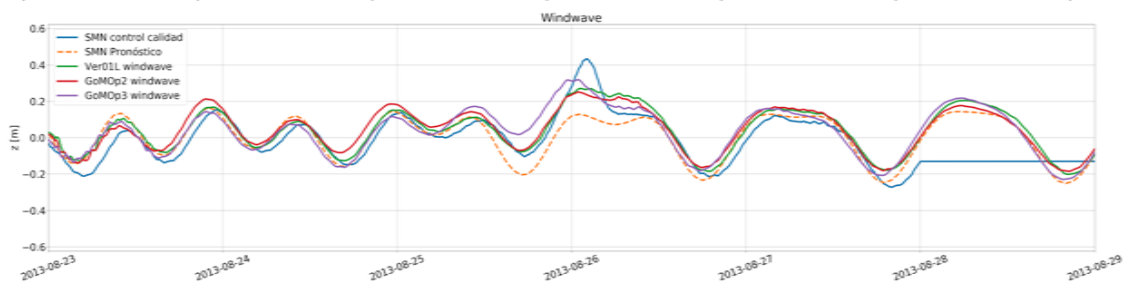
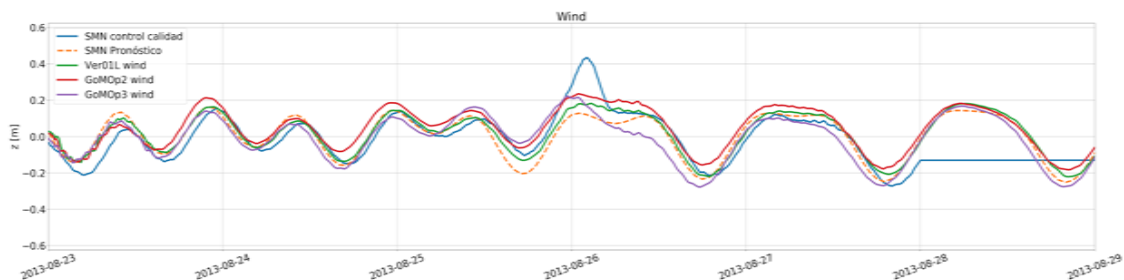
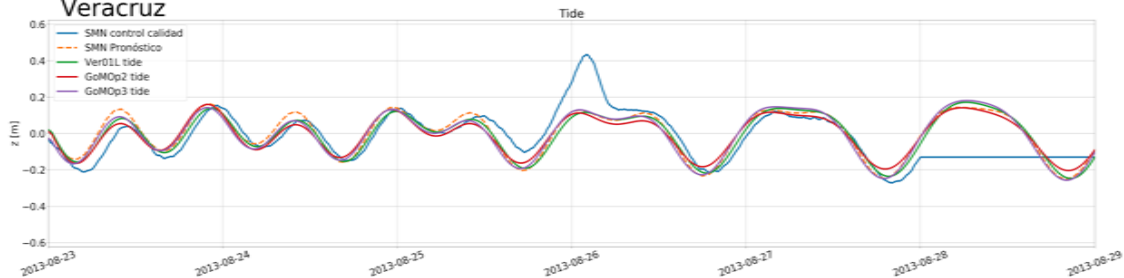


<b>Mallas</b>	<b>ADCIRC</b>	
Ver01L	Tide	<b>17 estaciones</b>
GoMOp2	Tide+wind	<b>17 Nortes</b>
GoMOp3	Tide+wind+waves	

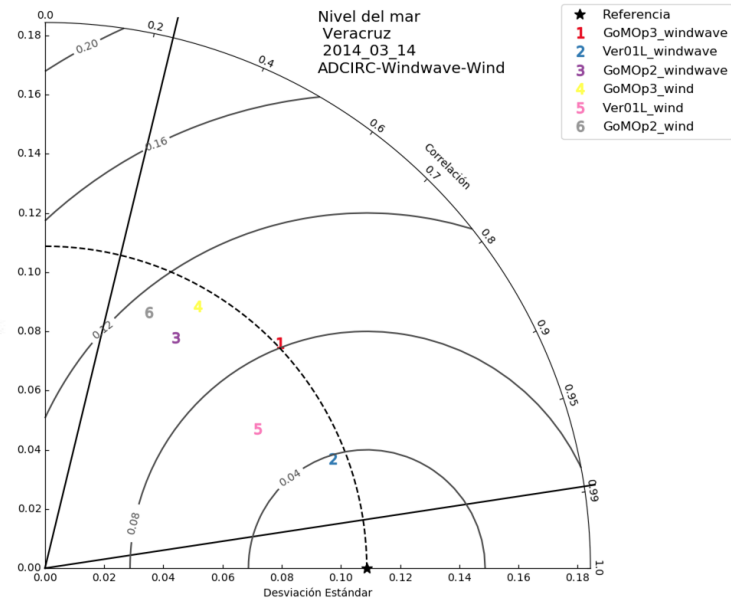
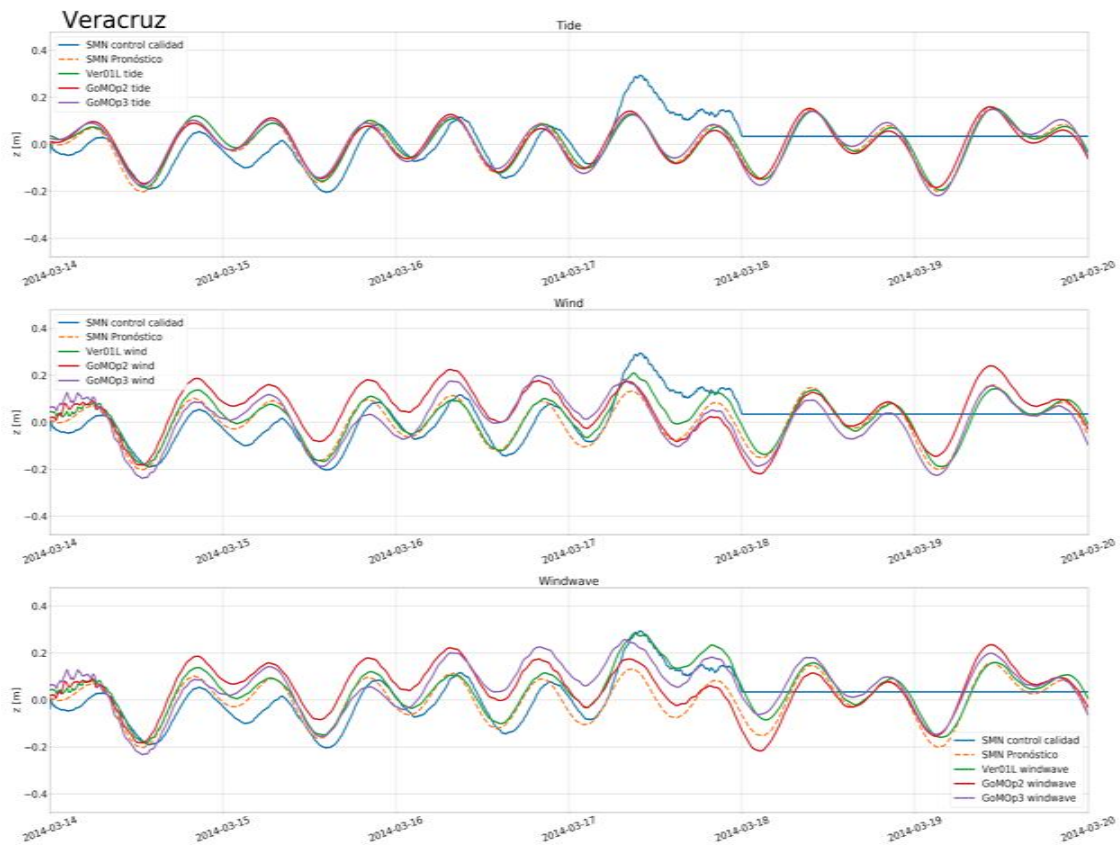
Scripts en Python para generación automática de gráficas de series de tiempo y diagramas de Taylor.

# Mejores eventos

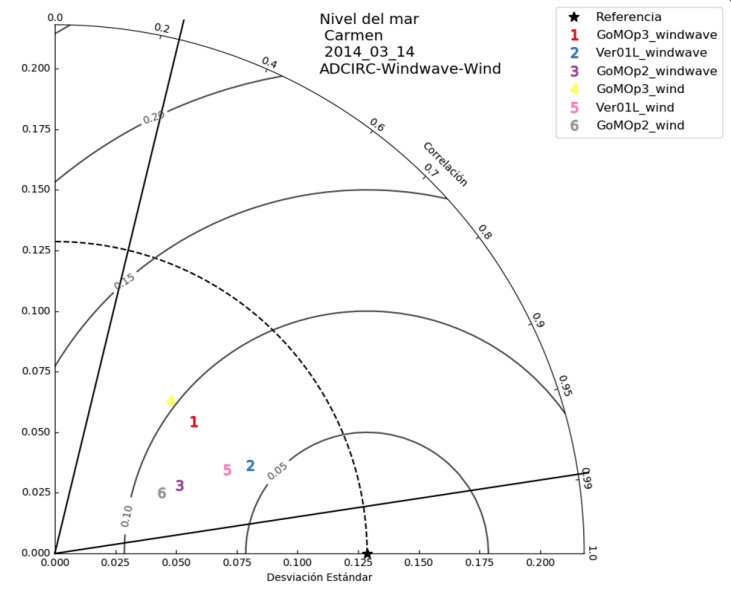
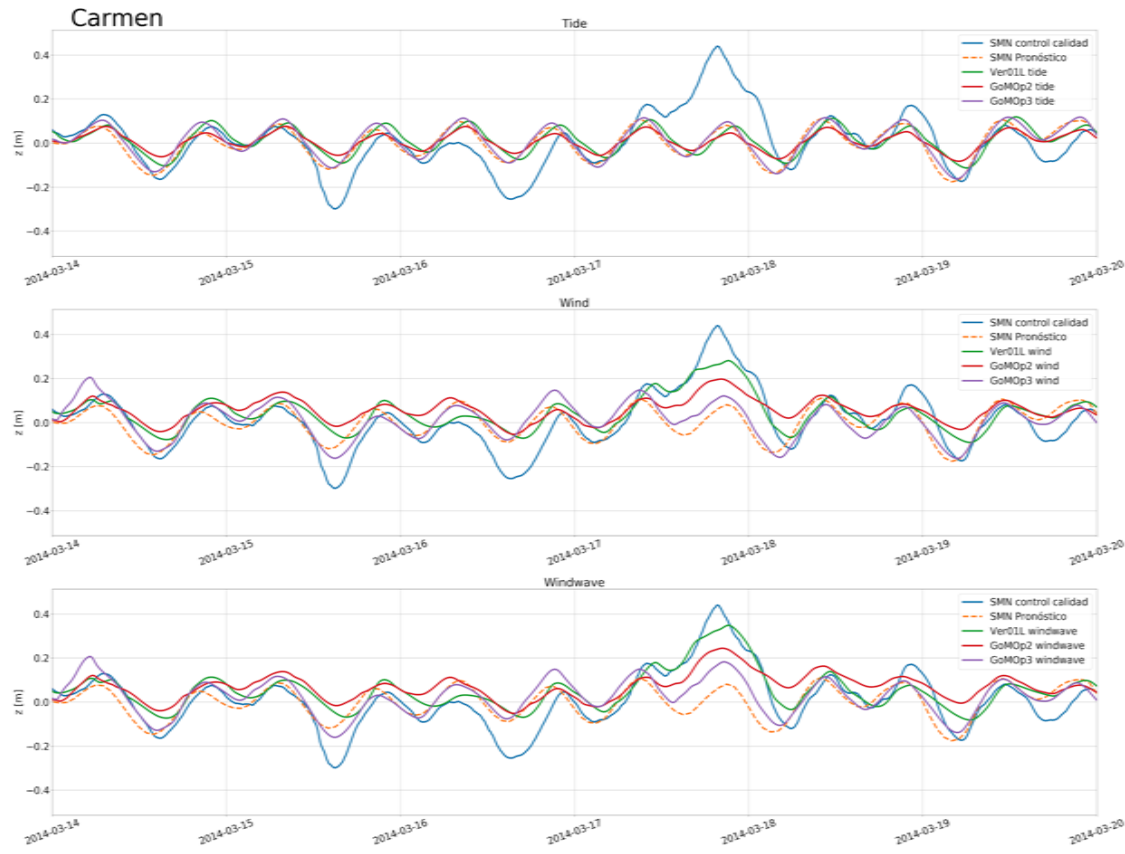
Veracruz



Veracruz	2013-08-23	
	r	std
GoMOp3_windwave	0.869	0.128
Ver01L_windwave	0.929	0.120
GoMOp2_windwave	0.917	0.115
GoMOp3_wind	0.828	0.125
Ver01L_wind	0.901	0.115
GoMOp2_wind	0.911	0.113
Observaciones	1	0.138



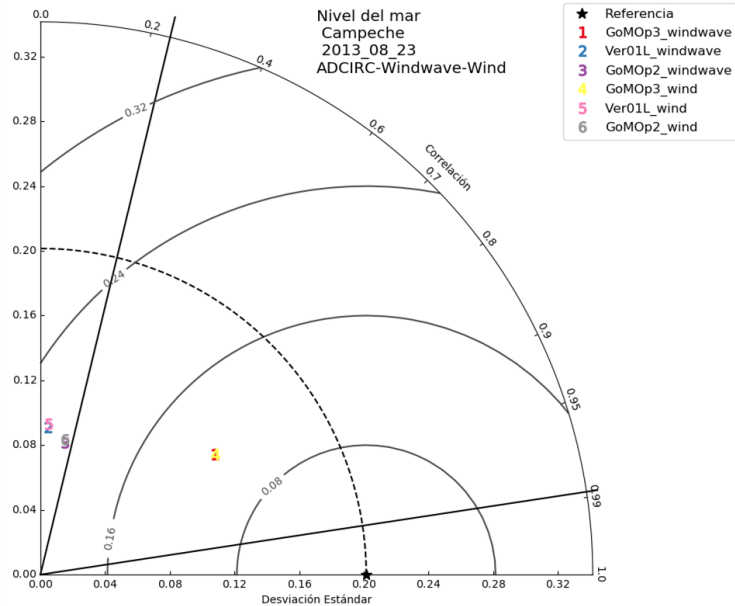
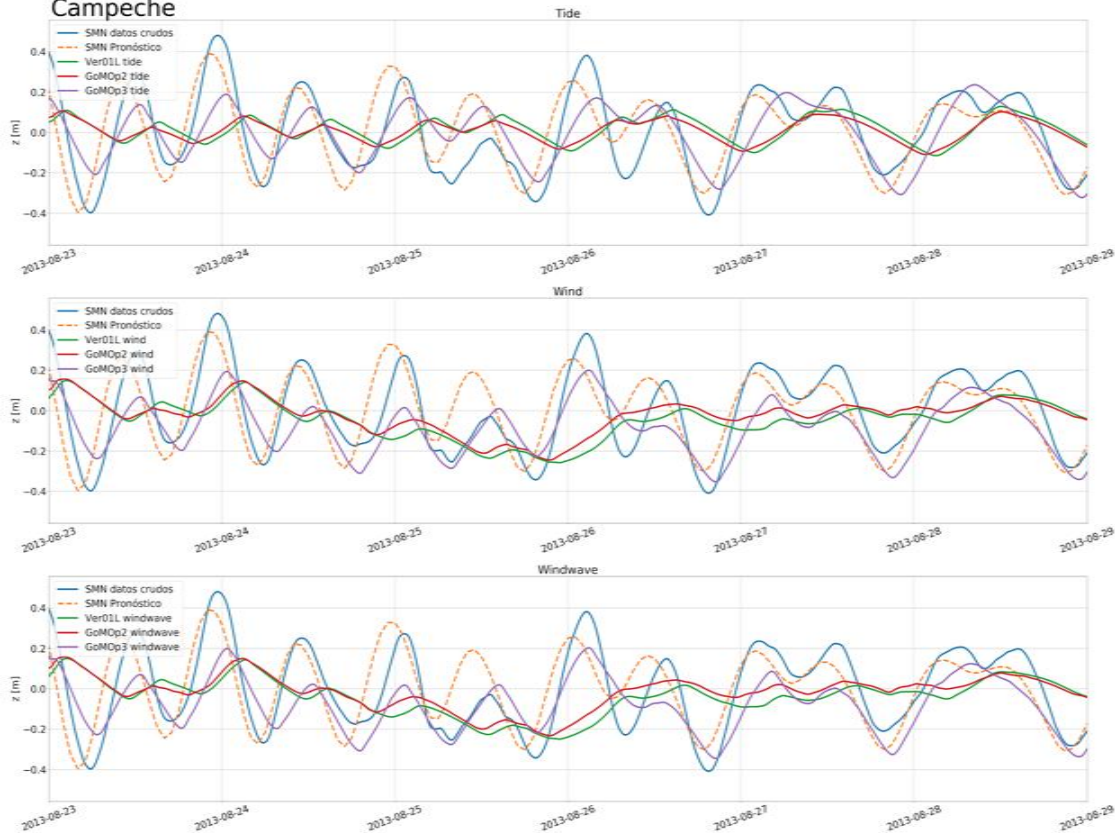
Veracruz	2014-03-14	
	r	std
GoMOp3_windwave	0.731	0.103
Ver01L_windwave	0.917	0.098
GoMOp2_windwave	0.587	0.099
GoMOp3_wind	0.598	0.103
Ver01L_wind	0.841	0.088
GoMOp2_wind	0.508	0.101
Observaciones	1	0.105



Carmen	2014-03-14	
	r	std
GoMOp3_windwave	0.722	0.078
Ver01L_windwave	0.910	0.088
GoMOp2_windwave	0.876	0.058
GoMOp3_wind	0.602	0.078
Ver01L_wind	0.897	0.078
GoMOp2_wind	0.866	0.050
Observaciones	1	0.128

# Peores eventos

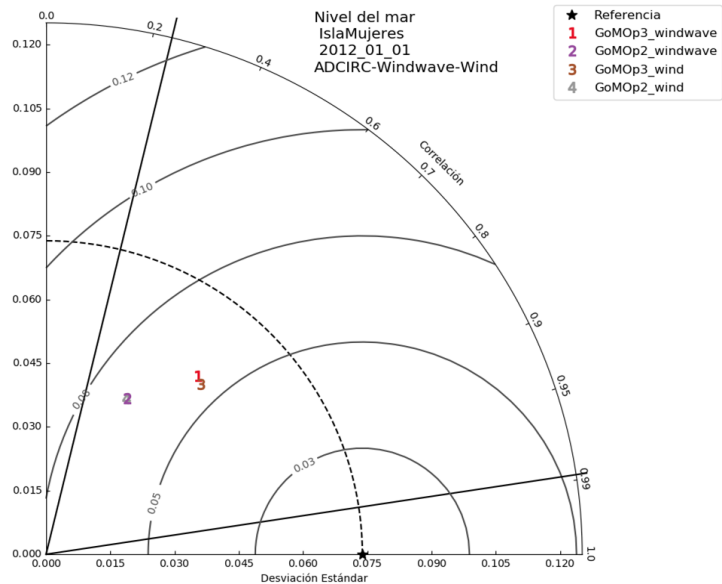
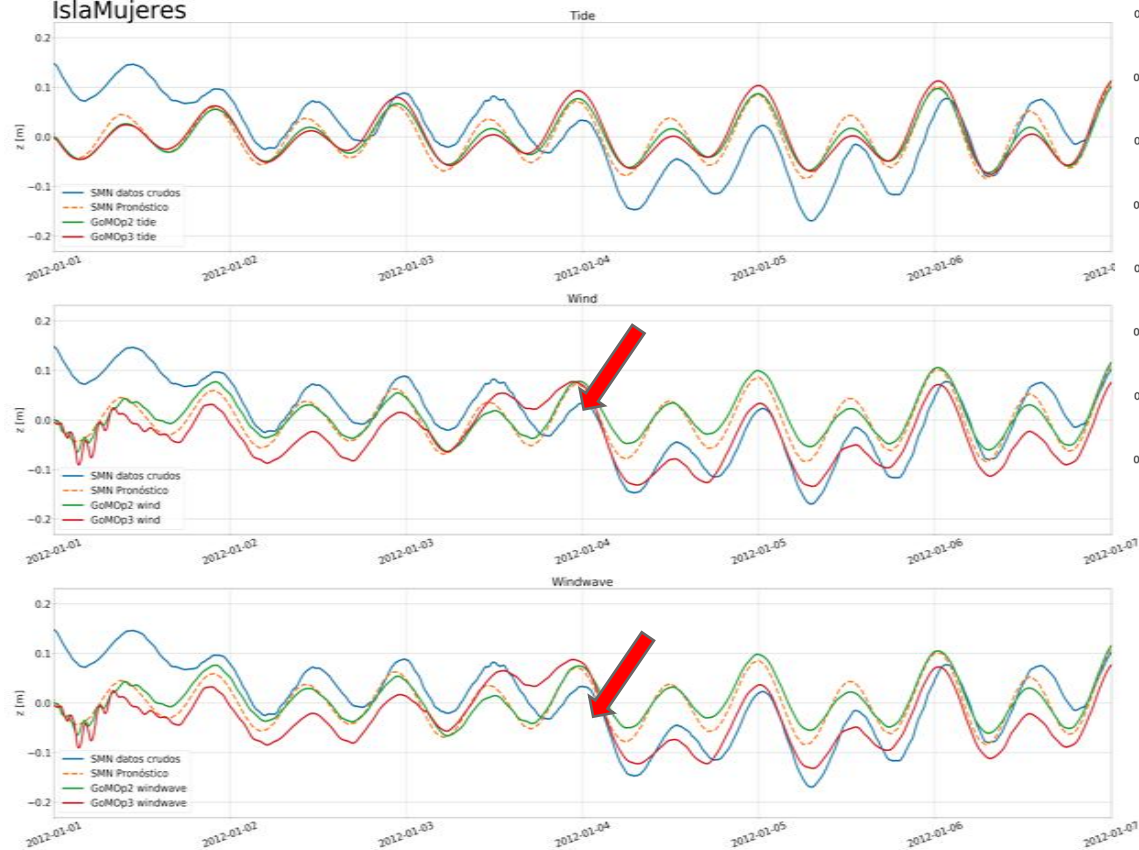
## Campeche



Campeche	2013-08-23	
	r	std
GoMOp3_windwave	0.821	0.130
Ver01L_windwave	0.049	0.091
GoMOp2_windwave	0.180	0.083
GoMOp3_wind	0.823	0.130
Ver01L_wind	0.049	0.093
GoMOp2_wind	0.177	0.084
Observaciones	1	0.201

NOTA: En Campeche siempre hemos tenido problemas con la forma de la señal

## Isla Mujeres



Isla Mujeres	2012-01-01	
	<b>r</b>	<b>std</b>
GoMOp3_windwave	0.642	0.054
Ver01L_windwave	---	----
GoMOp2_windwave	0.456	0.041
GoMOp3_wind	0.668	0.053
Ver01L_wind	----	----
GoMOp2_wind	0.450	0.041
Observaciones	1	0.073



# Motivaciones para la parte II

- ✓ Las simulaciones con forzamientos wind-wave (ADCIRC-SWAN) dan los mejores resultados.
- ✓ La señal de la marea tiene buen comportamiento en todas las estaciones, excepto en Campeche .
- ✓ En la estación de Veracruz, a veces son mejores los resultados de la malla Ver01L que la GoMOp3. Esto puede deberse a :
  - ✓ La malla Ver01L tiene mayor resolución en la zona (50 vs 100 m).
  - ✓ La malla Ver01L tiene dominio en tierra en esa zona, por lo que en el nodo cercano a la línea de costa donde se extraen los datos no están influenciados por ninguna condición de frontera cercana.

# Resoluciones para la parte II

Creación de una nueva malla (GoMOp4) que incluya dominio sobre tierra hasta la cota de 13 m, y con alta resolución (>100 metros) en los alrededores de las estaciones del SMN.

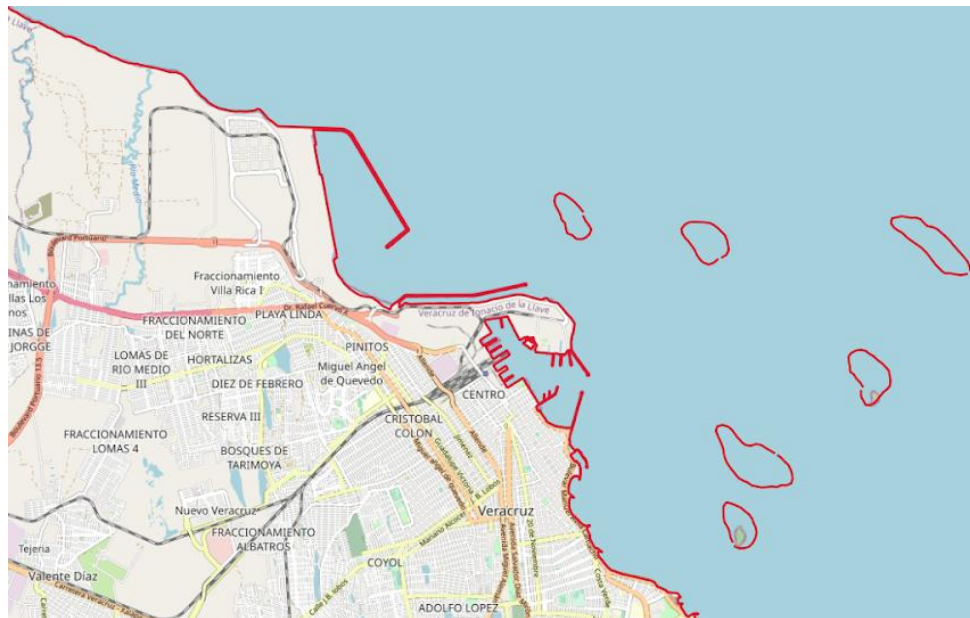
Con el propósito de mejorar el pronóstico de marea de tormenta del grupo, se acordó:



- Aumentar resolución.
- Refinar la línea de costa con imágenes satelitales.
- Incluir dominio sobre tierra hasta cota de 13 m.
- Incluir ríos.

# PARTE II

### 3. Refinar resolución y línea de costa



Software QGIS para refinar línea de costa con imágenes satelitales de Google

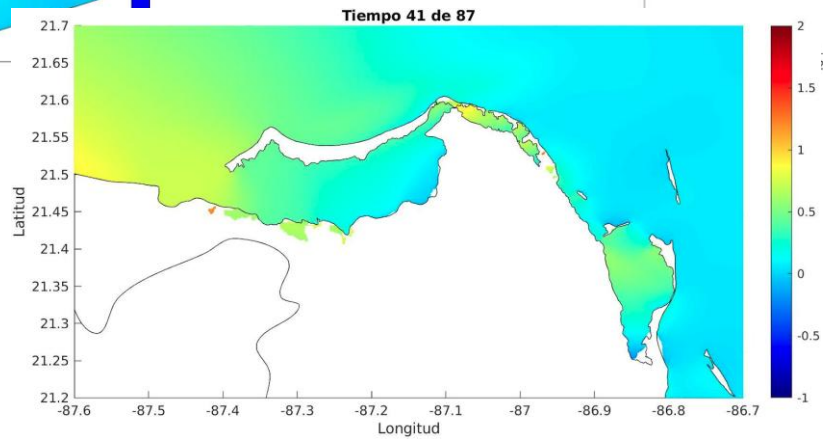
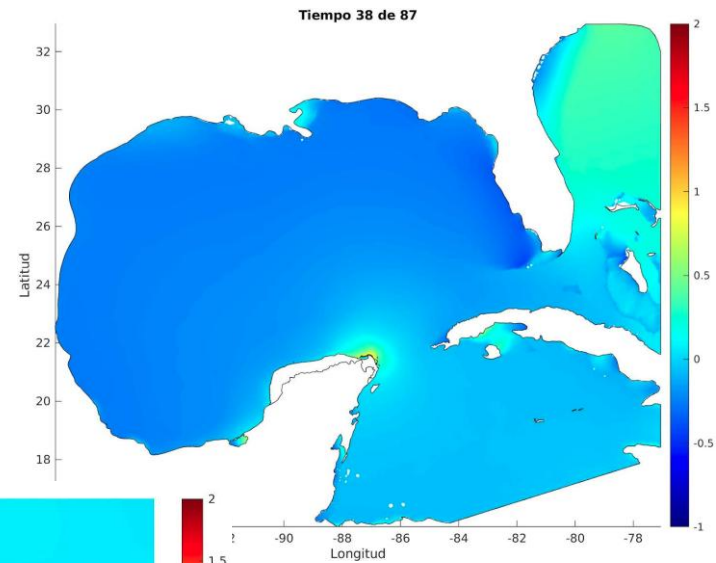
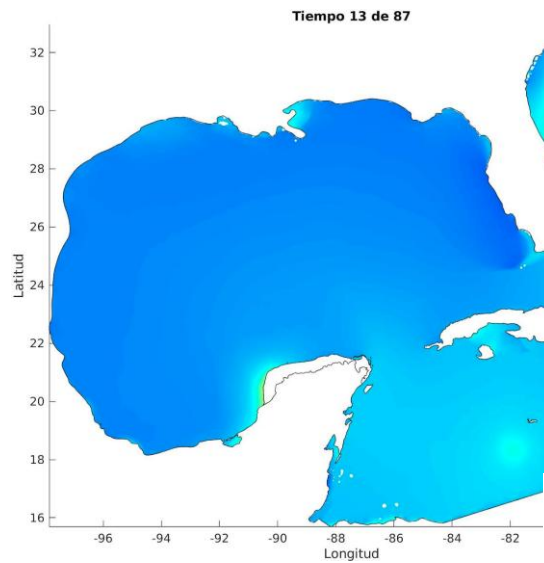


Se tomó como base la línea de costa de GoMOp3.

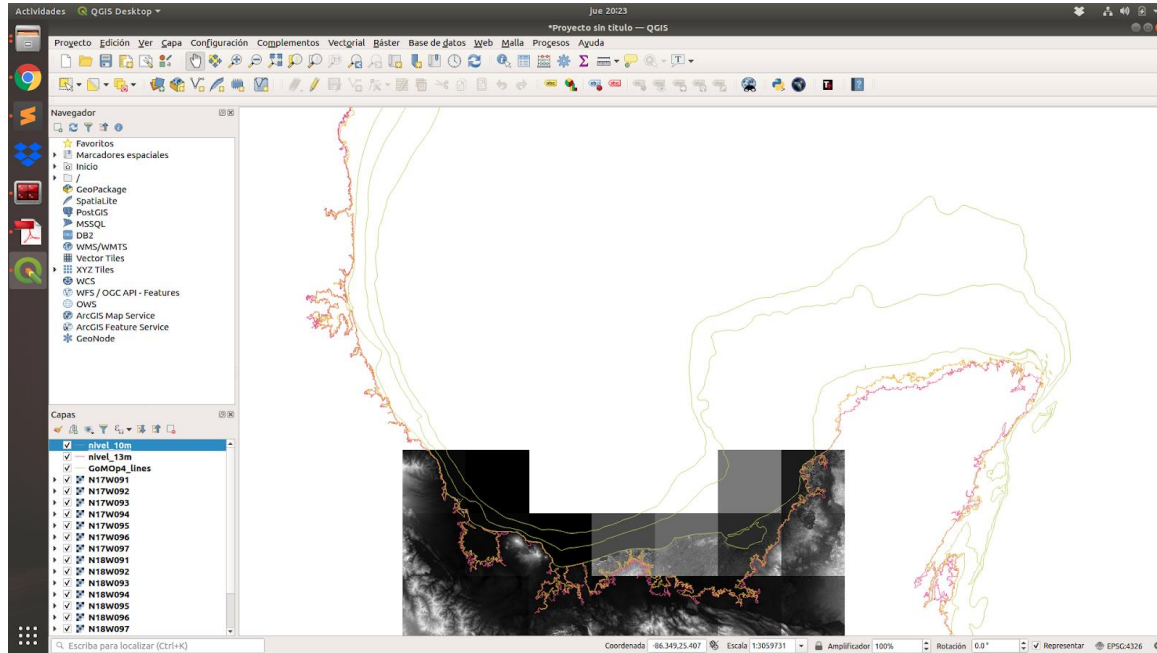
### 3. Refinar resolución y línea de costa



### 3. Delta, octubre 2020

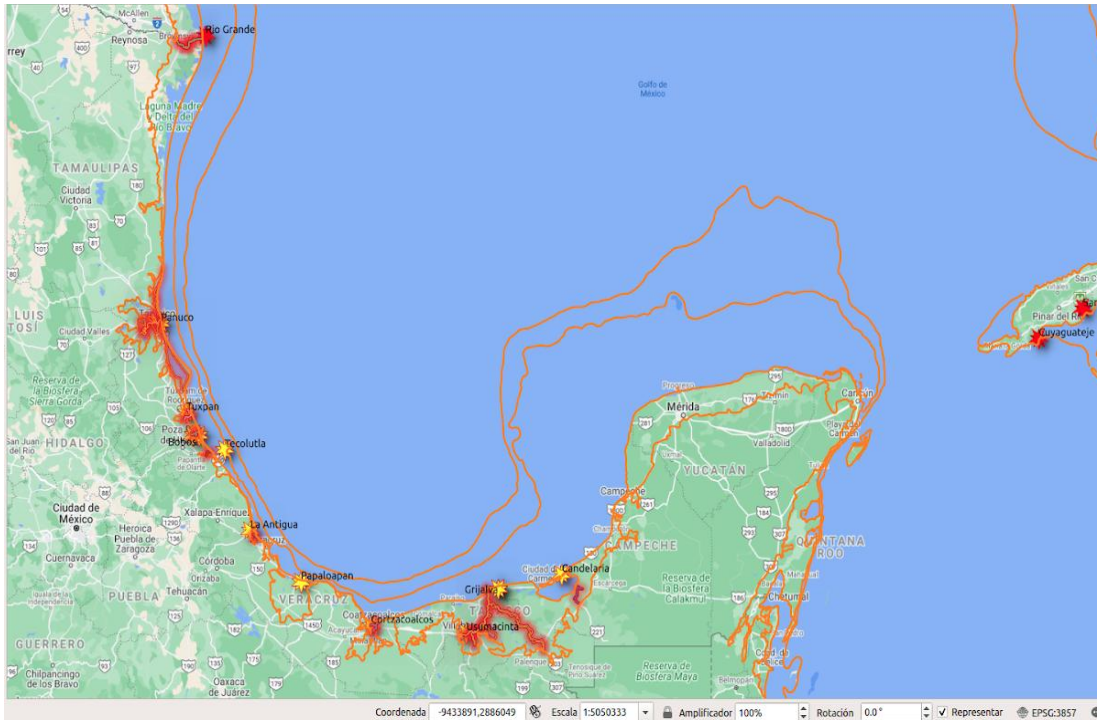


## 4. Incluir malla en tierra – cota de 13 m



Software QGIS para incluir cota de 13 m (línea roja) a partir de imágenes GeoTiff (INEGI).

## 4. Incluir malla en tierra – adición de ríos



### Ríos (11)

Usumacinta

Papaloapan

Panuco

Coatzacoalcos

Tecolutla

Grijalva

La Antigua

Cazones

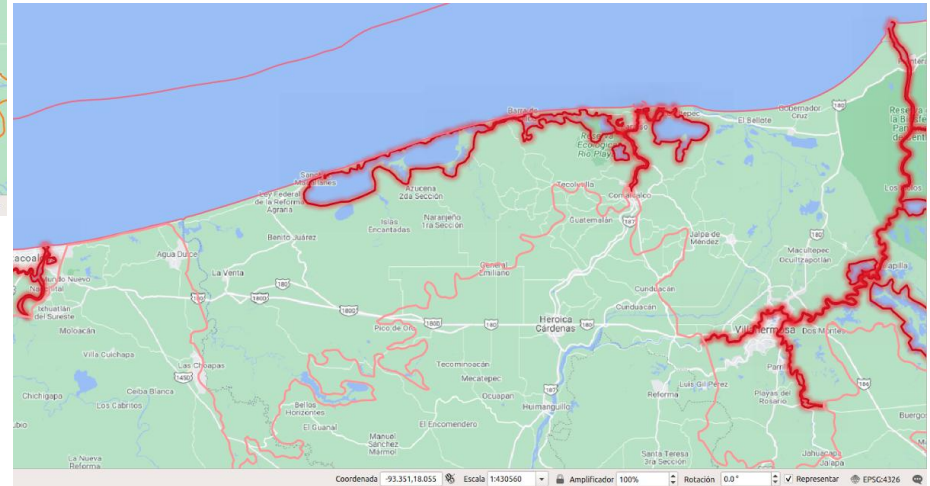
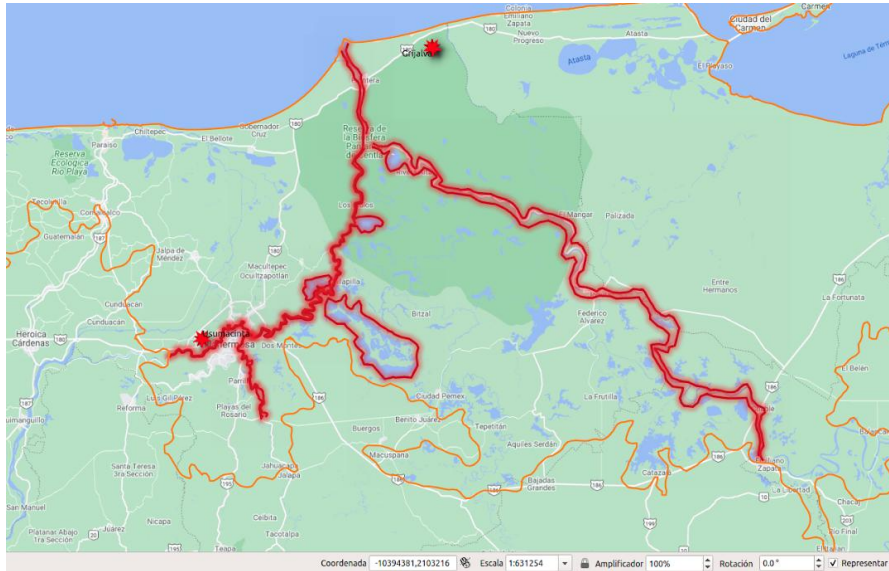
Tuxpan

Candelaria

Bravo



## 4. Incluir malla en tierra – adición de ríos



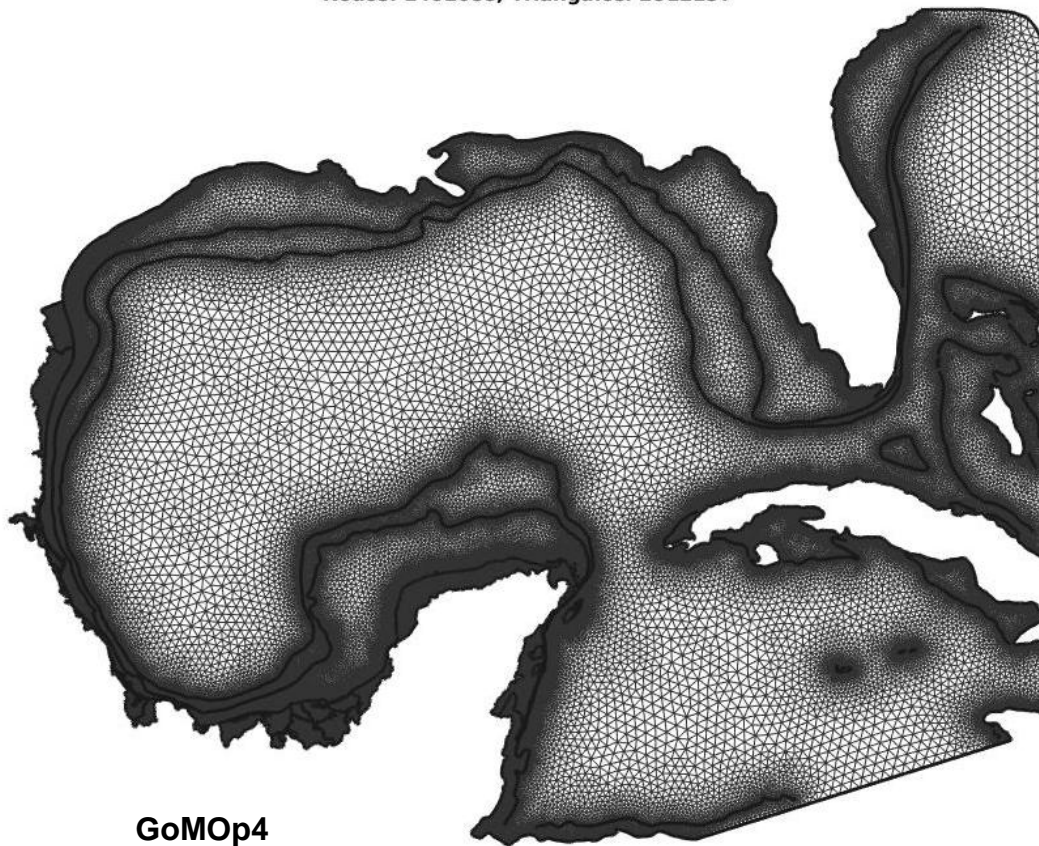
# Nueva malla generada: GoMOp4

Nodos: 1462088, Triangulos: 2912157

- **Línea de costa:** QGIS e imágenes Google Satellite

- Edición manual con software **SMS** (Surface-water Modeling System).

- Generación de malla no-estructurada con Matlab (paquetería **mesh2d**)



- **Batimetría :** etopo1 +Hycom

- **Isobatas** 50 y 200 m

- **Topografía:** SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

GoMOp4

¡Gracias por su atención !

# Bibliografía

- ✗ Luettich, R.A. and J.J. Westerink, 1991, A solution for the vertical variation of stress, rather than velocity, in a three-dimensional circulation model, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 12:911-928