



## **Persistencia de ondas de tsunami producto del terremoto del 27F**

**Benjamín Carrión**



**GUÍA DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS Y COSTERAS**  
Primer Seminario



## CONTENIDOS

---

### NUESTRA EMPRESA

Estudios de Tsunami

### MODELO TSUNAMI 27-02-2010

Antecedentes

Modelo de Propagación

Modelo de Inundación

### CONCLUSIONES



# NUESTRA EMPRESA

## Categorías de Proyectos

PUERTOS		CENTRALES Energía Petroquímica	MINERÍA	DESCARGAS Riles Servidas	ESTUDIOS ESPECIALES	DESARROLLO COSTERO
Industrial	Recreacional					
PLANIFICACIÓN PORTUARIA ROMPEOLAS SITIOS DE ATRAQUE Y MUELLES DRAGADOS TERMINALES PORTUARIOS INFRAESTRUCTURA TERRESTRE BYPASS DE SEDIMENTOS DIQUES SECOS	MARINAS DESARROLLO INMOBILIARIO FRENTE PORTUARIOS PUERTOS PESQUEROS	CAPTACIONES DESCARGAS MONOBOYAS CAÑERÍAS SUBMARINAS MUELLES ESTRUCTURAS COSTA AFUERA	MUELLES TERMINALES CAÑERÍAS SUBMARINAS DRAGADOS MANEJO DE MATERIALES	EMISARIOS CAPTACIONES CAÑERÍAS SUBMARINAS	ADMIN. DE BORDE COSTERO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL MOD. MATEMÁTICOS MOD. FÍSICOS MANIOBRAS Y NAVIGACIÓN CALIDAD DEL AGUA DINÁMICA SEDIMENTOS COSTEROS	DUNAS COSTERAS PROTECCIONES COSTERAS EXPLANADAS GANADAS AL MAR ESTUARIOS RECUPERACIÓN Y DESARROLLO DE PLAYAS



## PROYECTOS DESTACADOS

### Estudios de Tsunami > GNL Quintero

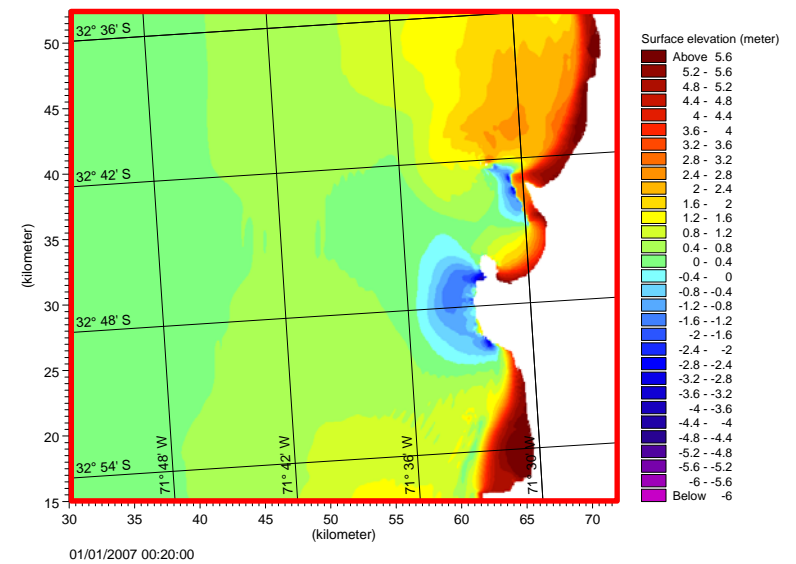
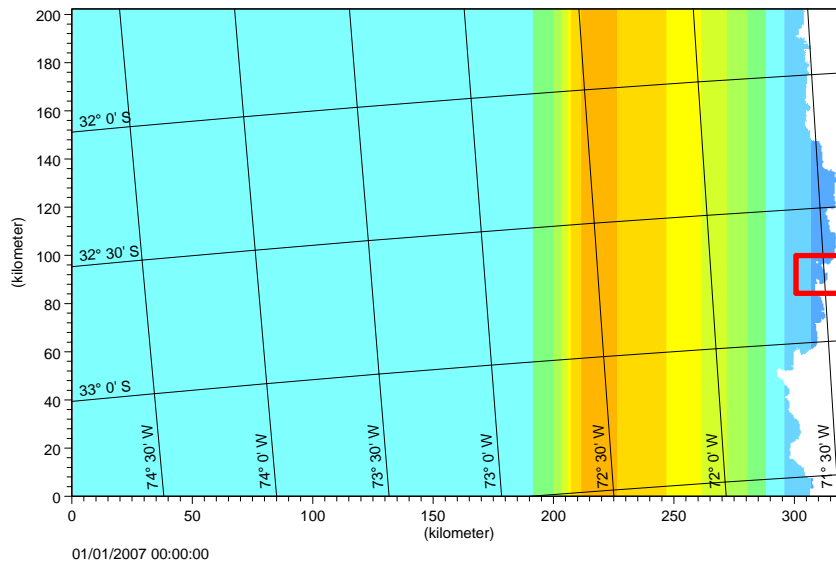
#### Descripción General

El proyecto consistió en un muelle para la atención de 2 naves de GNL de hasta 265,000 m<sup>3</sup>; un sitio para el almacenamiento y procesamiento y el otro para la descarga de naves.

El proyecto involucró un estudio de Tsunami.



Bahía de Quintero, Región de Valparaíso. Chile





## PROYECTOS DESTACADOS

### Estudios de Tsunami > GNL Mejillones

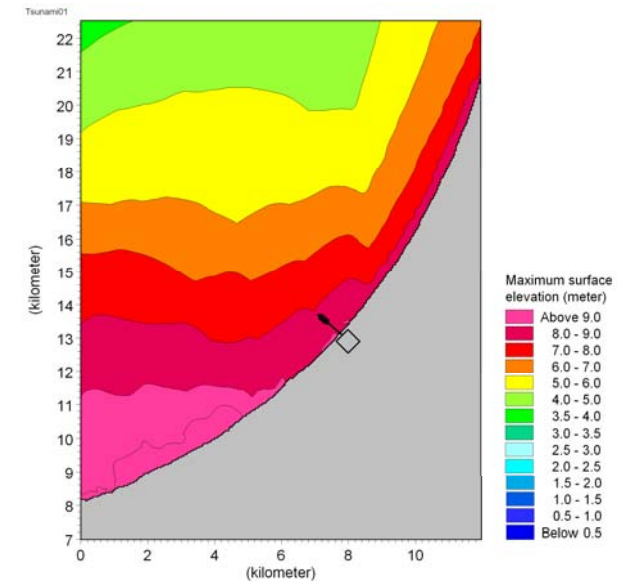
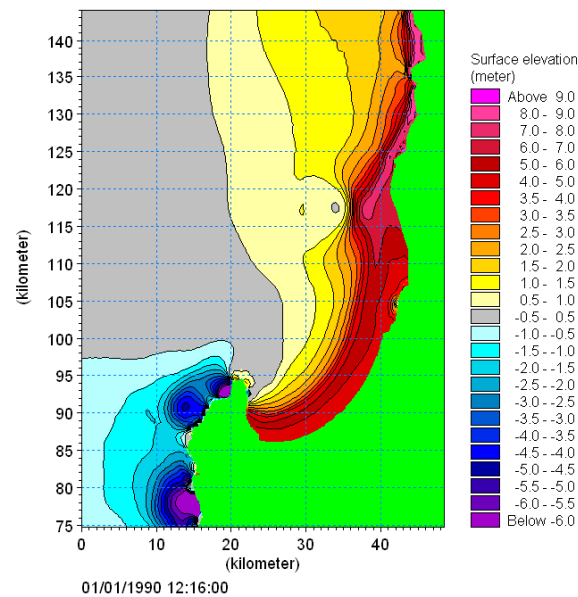
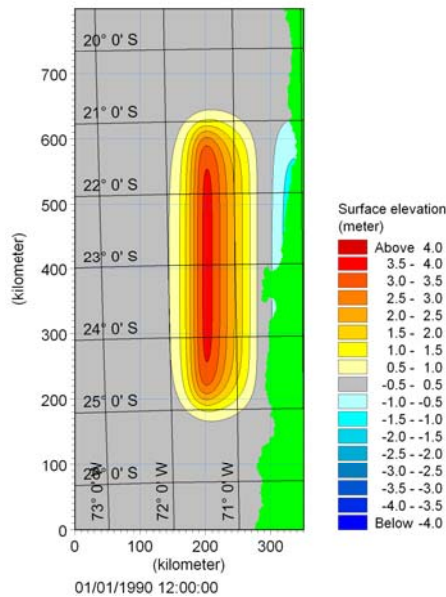
#### Descripción General

El proyecto consistió en un muelle para la atención de 2 naves de GNL de 165,000 m<sup>3</sup>; un sitio para el almacenamiento y procesamiento y el otro para la descarga de naves.

El proyecto involucró un estudio de Tsunami.



Bahía de Mejillones, Región de Antofagasta. Chile







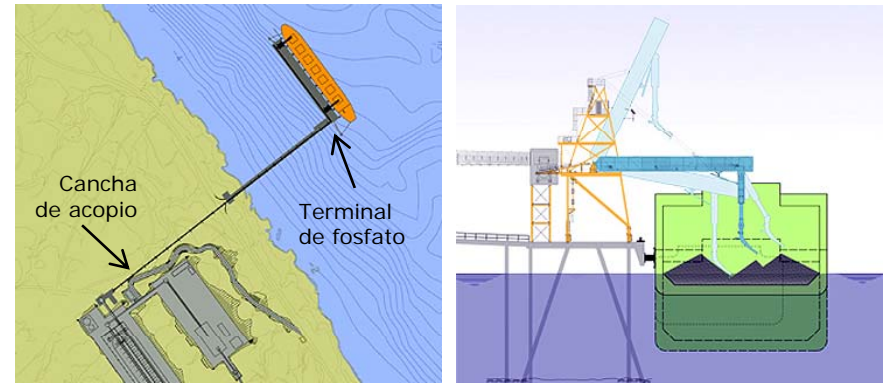
## PROYECTOS DESTACADOS

### Estudios de Tsunami > Bayóvar, Perú

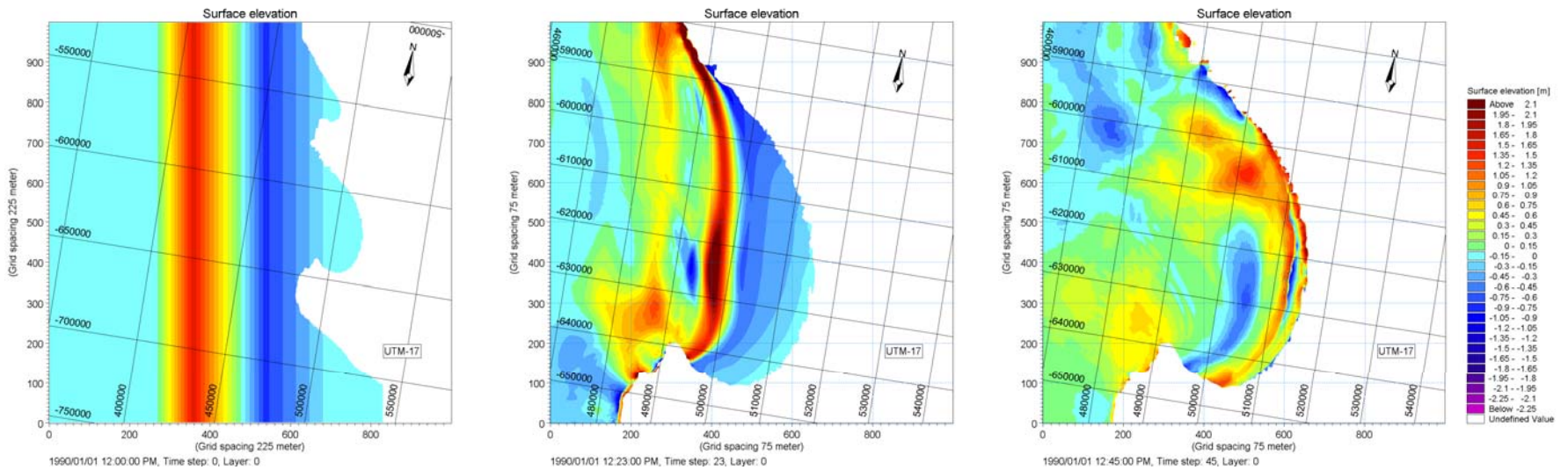
#### Descripción General

Se desarrolló la ingeniería Conceptual y Básica para un muelle de carga de fosfato con capacidad de 8MTPY. El proyecto consideró el diseño de las obras marítimas, mecánicas para manejo de materiales y el equipamiento para la carga de fosfato.

El proyecto involucró un estudio de Tsunami.



Bahía de Bayóvar, Sechura, Piura. Perú



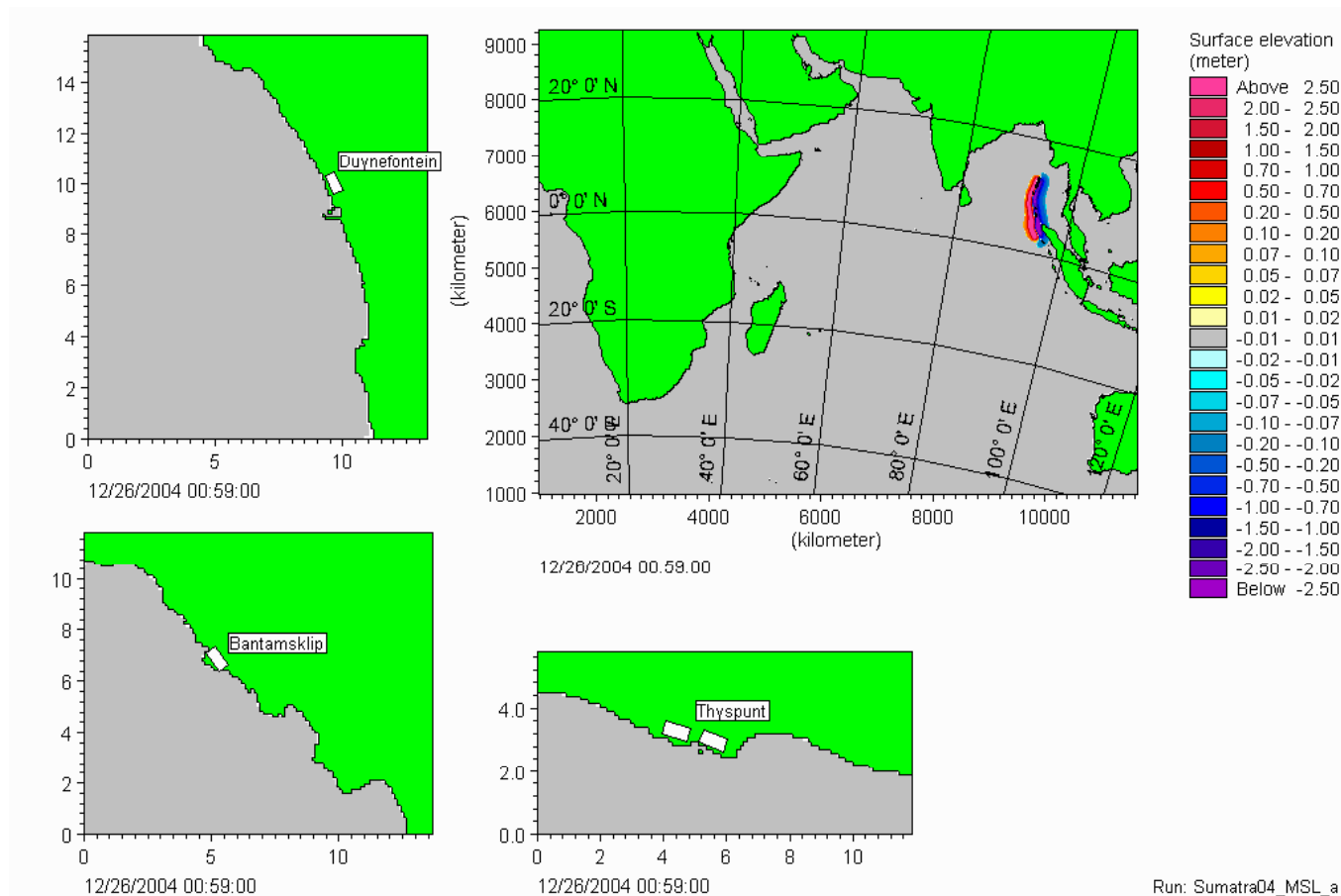


## PROYECTOS DESTACADOS

### Estudios de Tsunami > Tsunami Sumatra (PRDW South Africa)

#### Descripción General

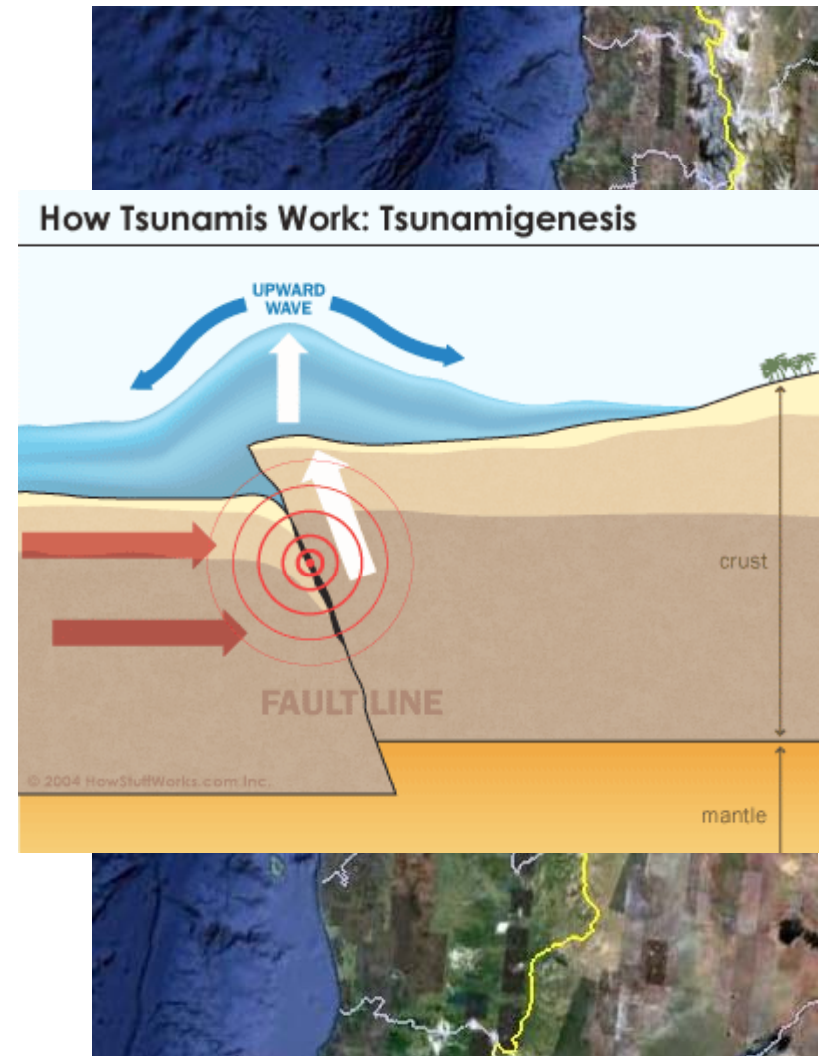
El caso del Tsunami de Sumatra, que tuvo lugar el 26 de diciembre de 2004, ha sido utilizado para evaluar el riesgo de varios proyectos frente a eventos de esta naturaleza.





### Antecedentes > Datos Generales

- **Tsunami**  
Tren de olas que se produce por una perturbación de la superficie del mar a causa de fenómenos geofísicos como sismos, erupciones volcánicas submarinas, deslizamientos de tierra, entre otros.
- **Sismo 27-02-2010**
  - **Magnitud: 8.8**
  - **Hora: 03:34am**
  - **Epicentro: 35.909°S 72.733°W**
  - **Profundidad: 35km**
- **Características de la falla**
  - Dislocación media: 4m
  - Dislocación máxima: 15m

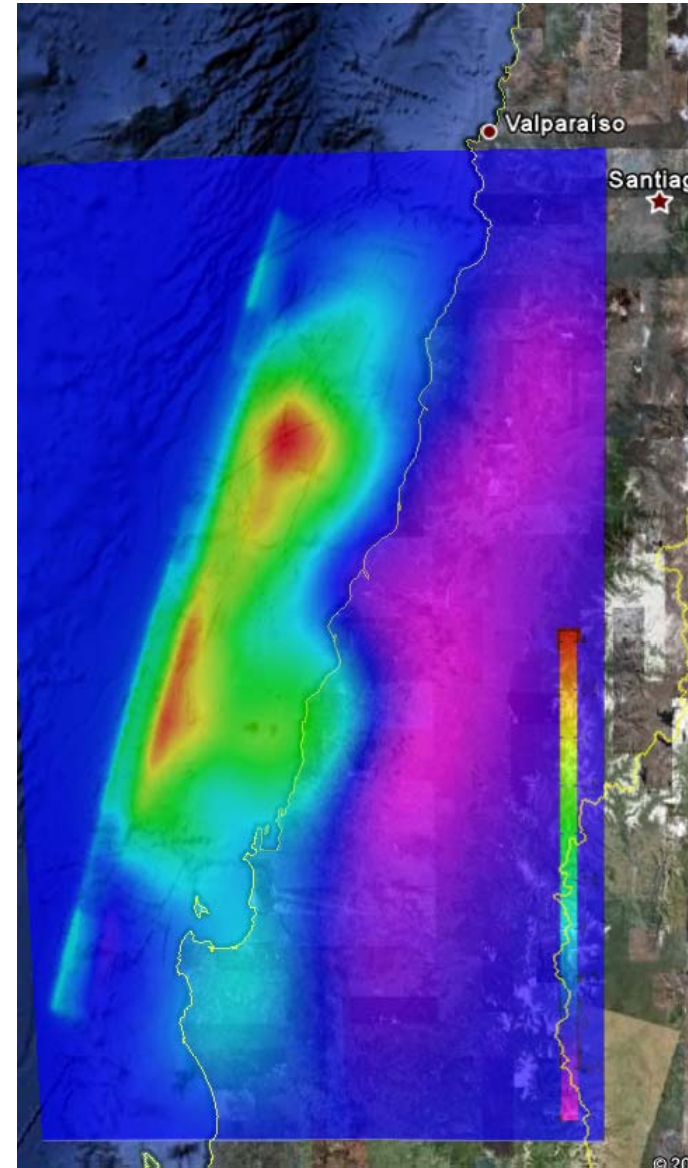
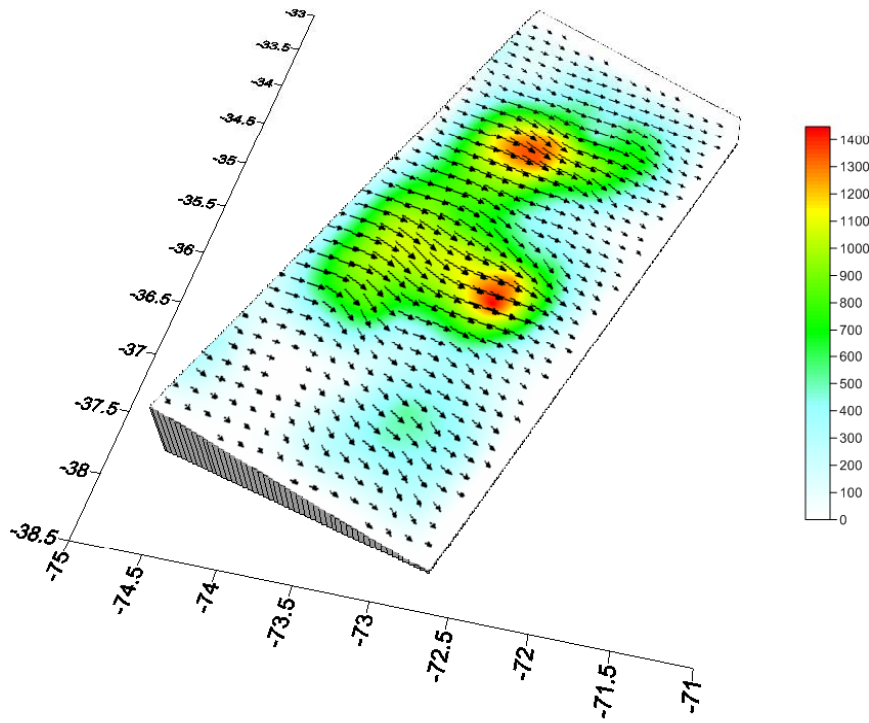






Antecedentes > Condición Inicial

- Condición inicial
    - Dislocación
- US Geological Survey – Earthquake Hazards Program







Modelo de Propagación > Dominio

Modelo **SWAN** (C. L. Mader)

SWAN es un modelo **hidrodinámico** que resuelve las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento para ondas en aguas someras en un método de **diferencias finitas** mediante un esquema numérico **explícito**.

Grilla regular en coordenadas esféricas:

0.025° x 0.025°

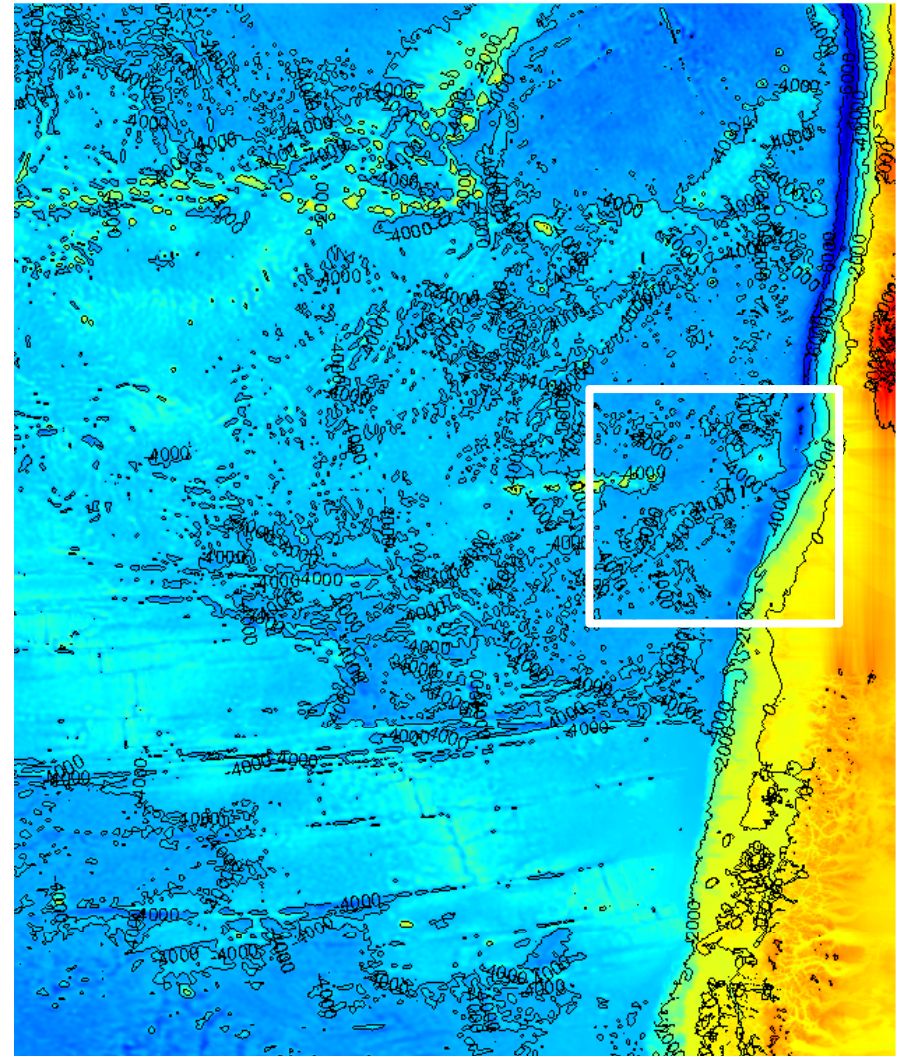
2.78km x 2.78km (aprox.)

Continuidad

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y}$$

Cantidad de movimiento

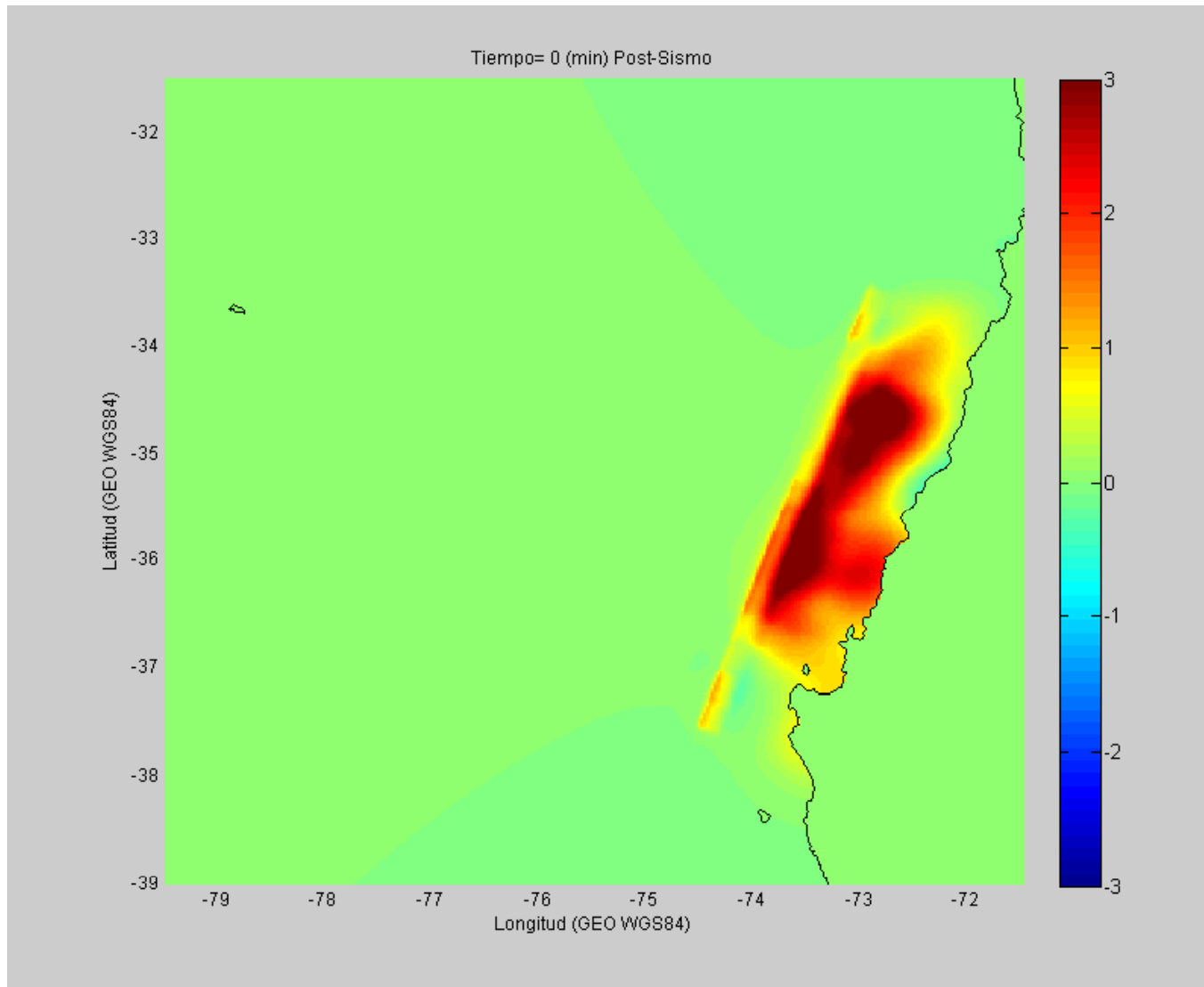
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = Fv + F(x) - g \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 h}$$
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = -Fu + F(y) - g \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 h}$$





# MODELO TSUNAMI 27-02-2010

Modelo de Propagación > Animación

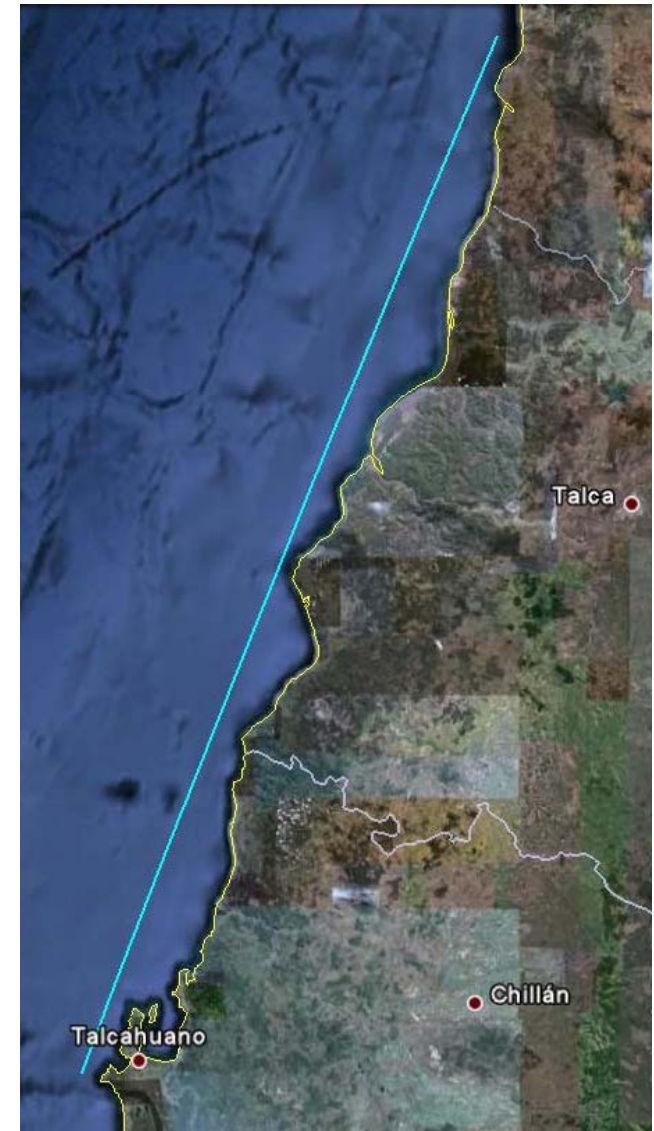
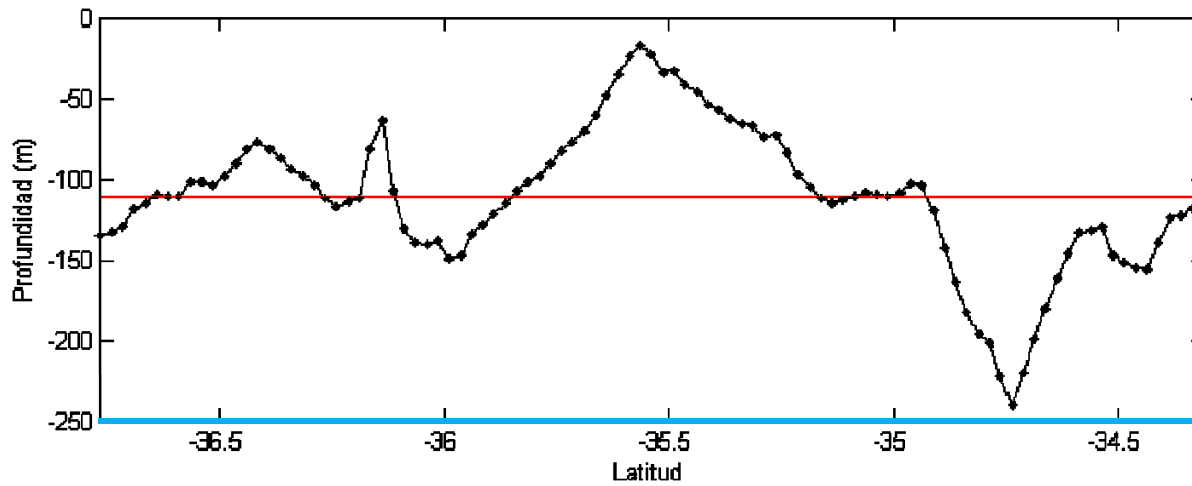






Modelo de Propagación > Edge waves

- Perfil Series de tiempo
  - Desde Pichilemu hasta Talcahuano
  - Salidas cada 3km.
  - Profundidad Media: 110m
  - Celeridad de 118km/h

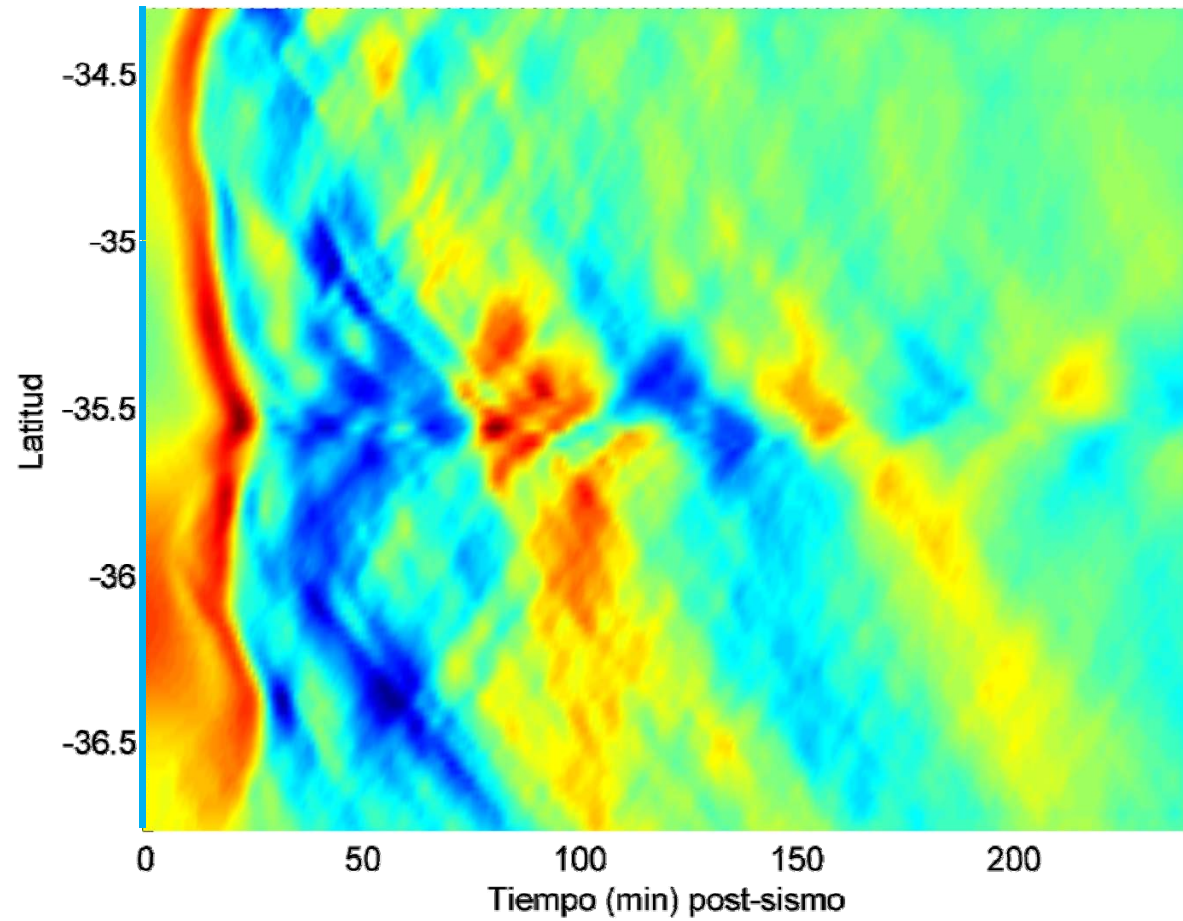
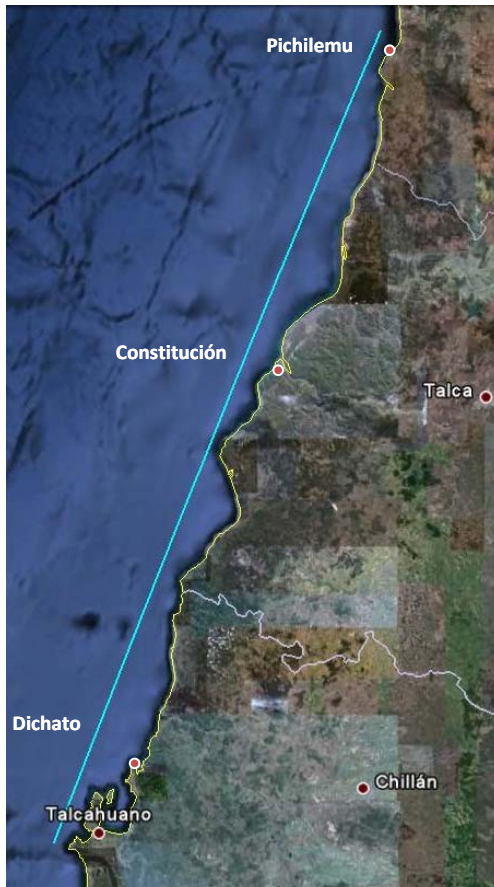


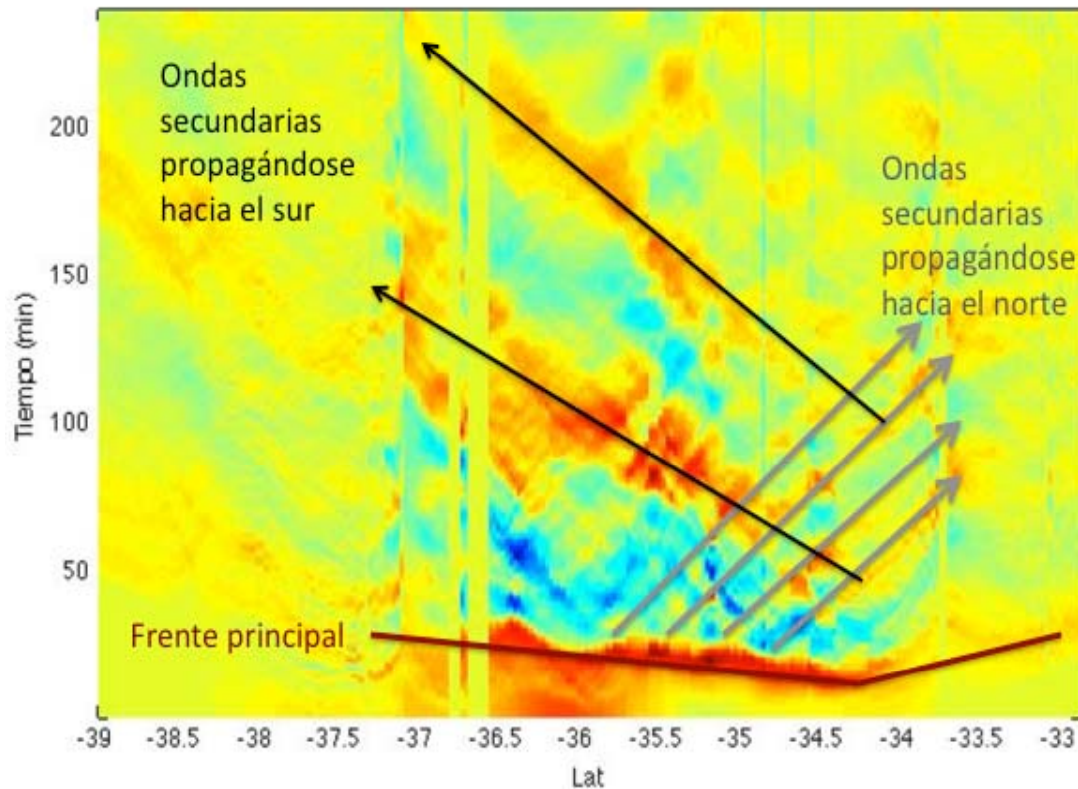




# MODELO TSUNAMI 27-02-2010

Modelo de Propagación > Edge waves





- Series de tiempo muestran diversidad de períodos: efectos globales (~84min) + amplificación local
- Presencia de ondas de orilla: ondas más largas viajan hacia el sur, más cortas hacia el norte.
- Edge waves de baja velocidad, función de la pendiente batimétrica.
- No hay evidencia de transporte perpendicular a la costa.



Modelo **ANUGA** (Australian National University and Geoscience Australia)

ANUGA es un modelo que utiliza un esquema de los **volúmenes finitos** para resolver las ecuaciones de onda en aguas someras en 2DDI, utilizando técnicas numéricas de **captura de shock**.

El programa es ejecutado en coordenadas planas **UTM**.

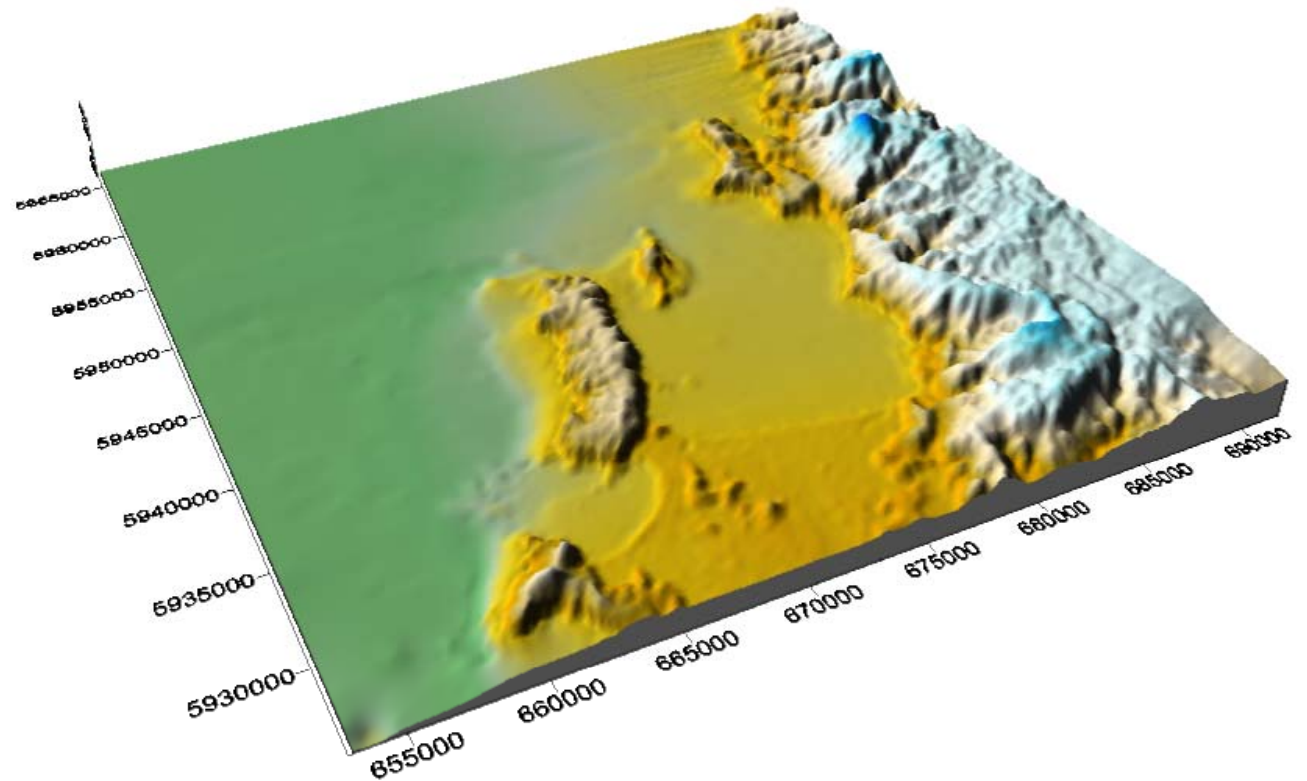
$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} = \mathbf{S}$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + gh^2/2 \\ uvh \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} vh \\ vuh \\ v^2h + gh^2/2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh(z_x + S_{fx}) \\ -gh(z_y + S_{fy}) \end{bmatrix}$$

$$S_{fx} = \frac{u\eta^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$





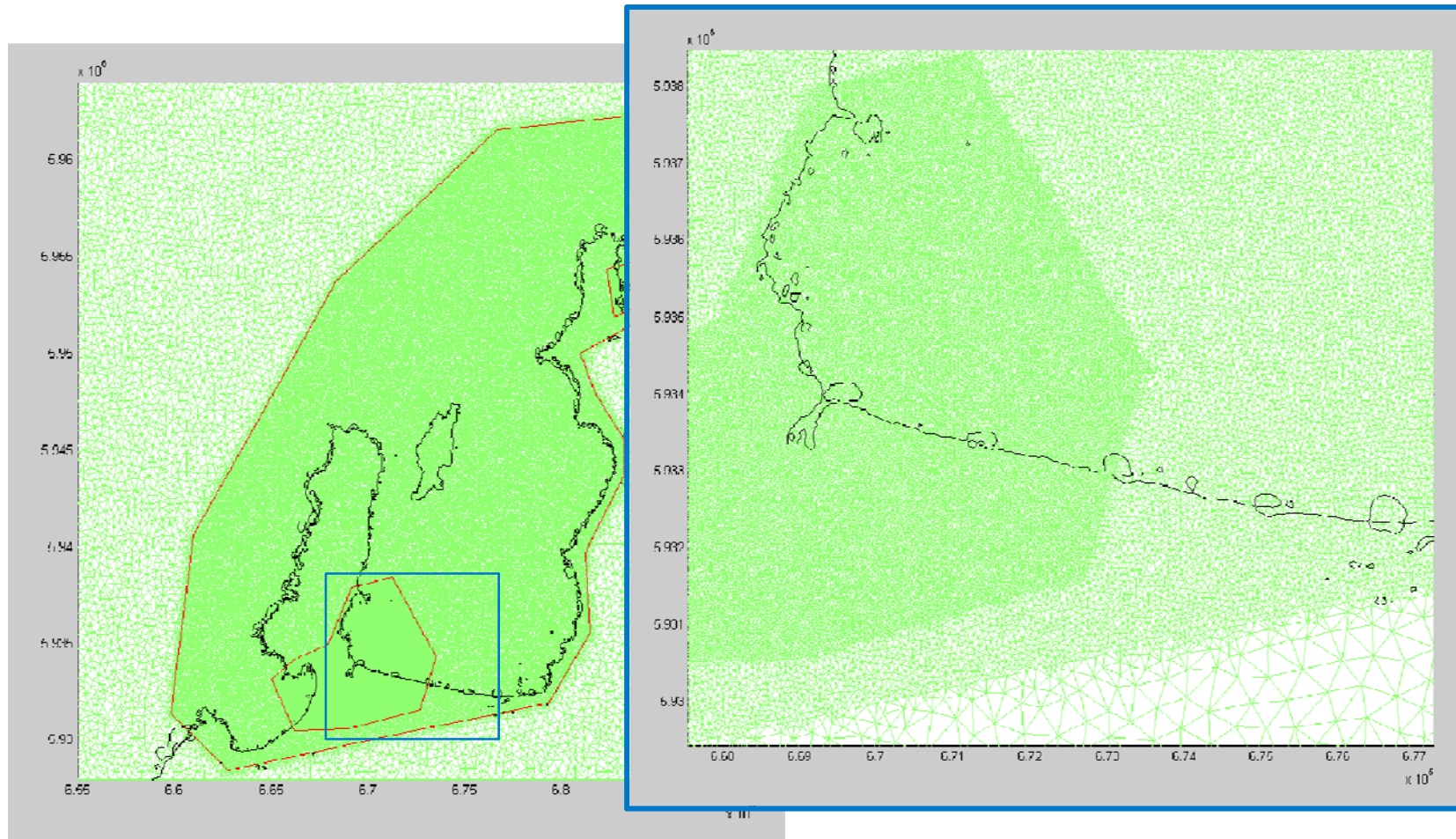


## MODELO TSUNAMI 27-02-2010

Modelo de Inundación > Dominio Bahía de Concepción

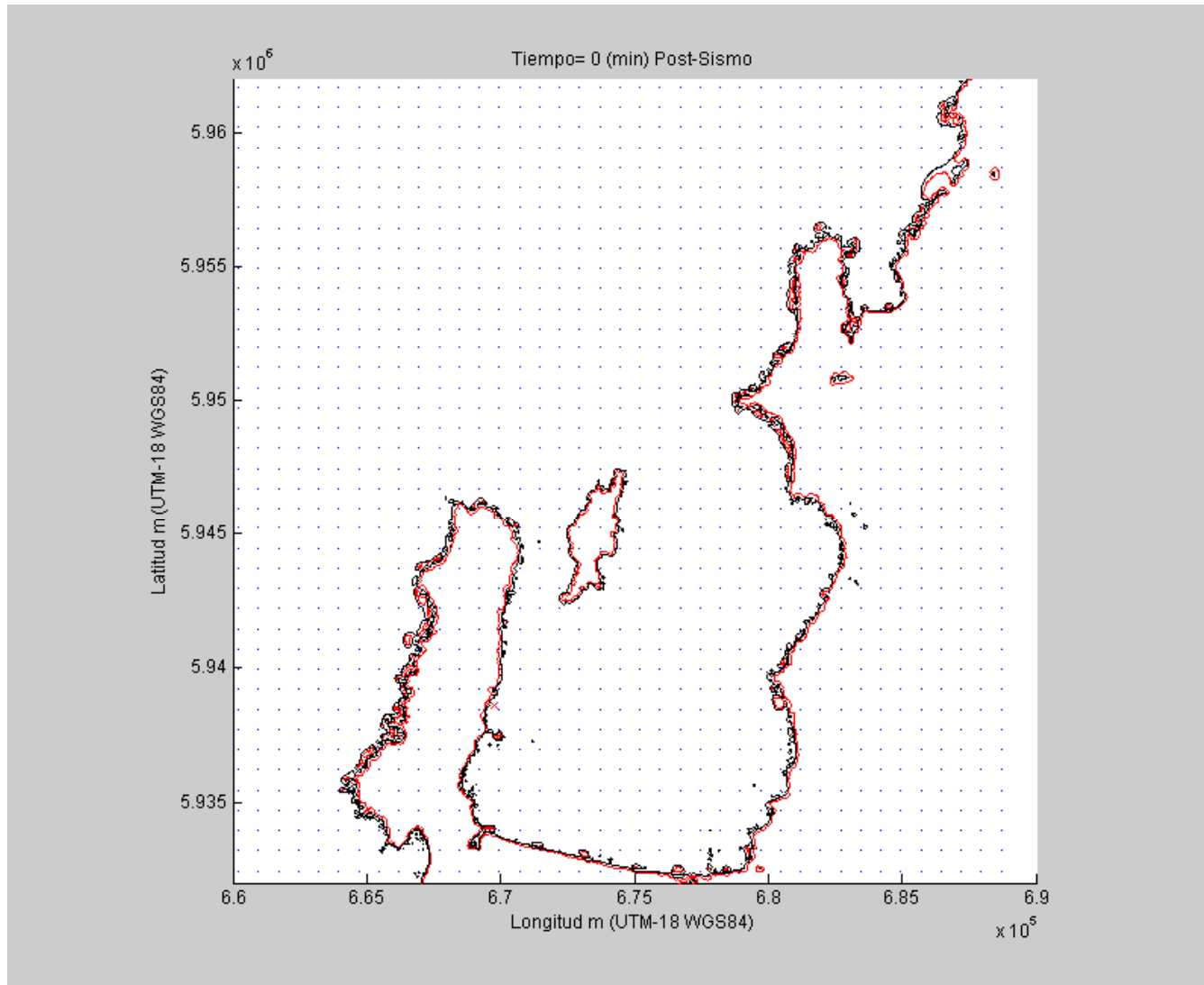
Grilla de volúmenes finitos:

Tamaño elementos: 500m ; 100m ; 50m





Resultados > Campos de Velocidad en Bahía de Concepción

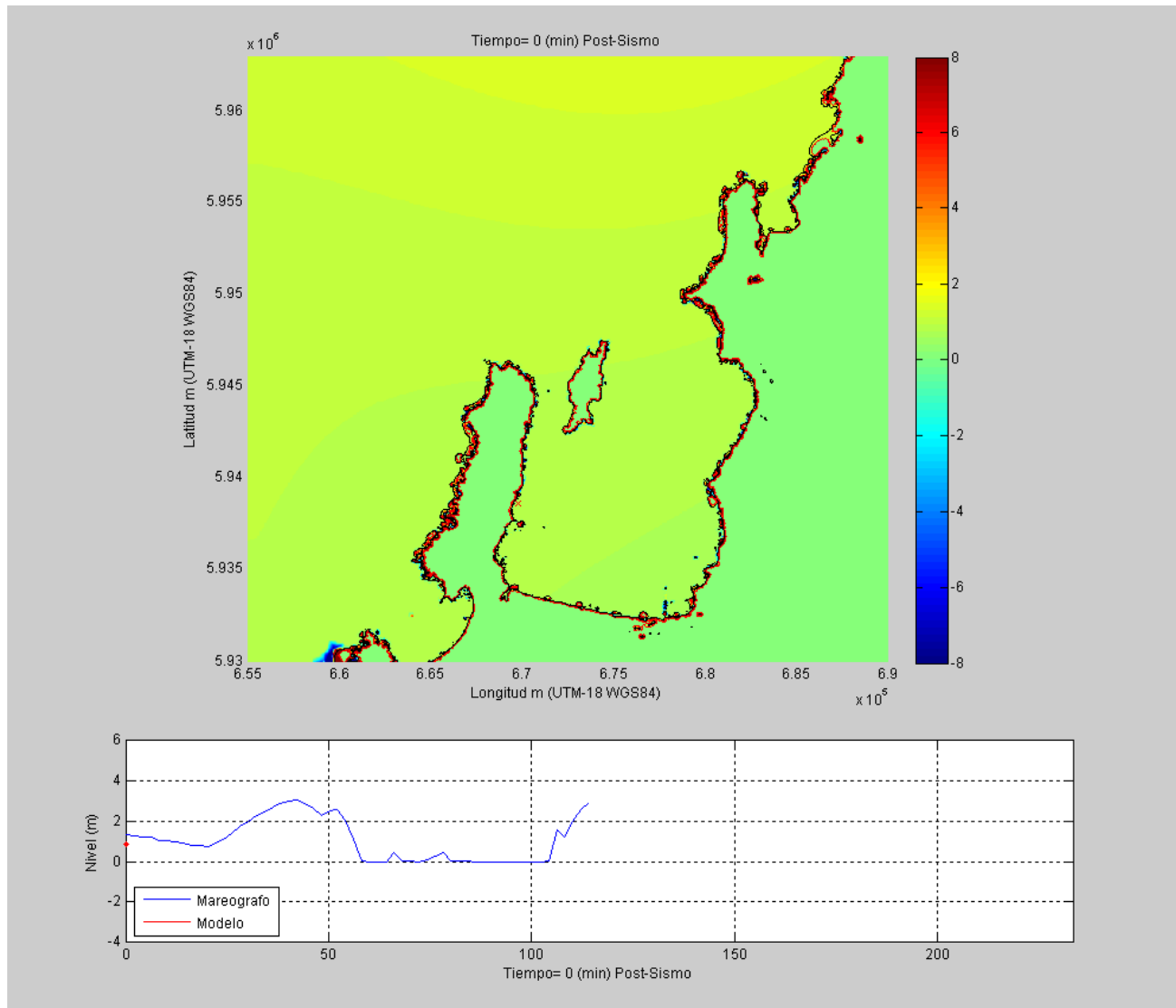






# MODELO TSUNAMI 27-02-2010

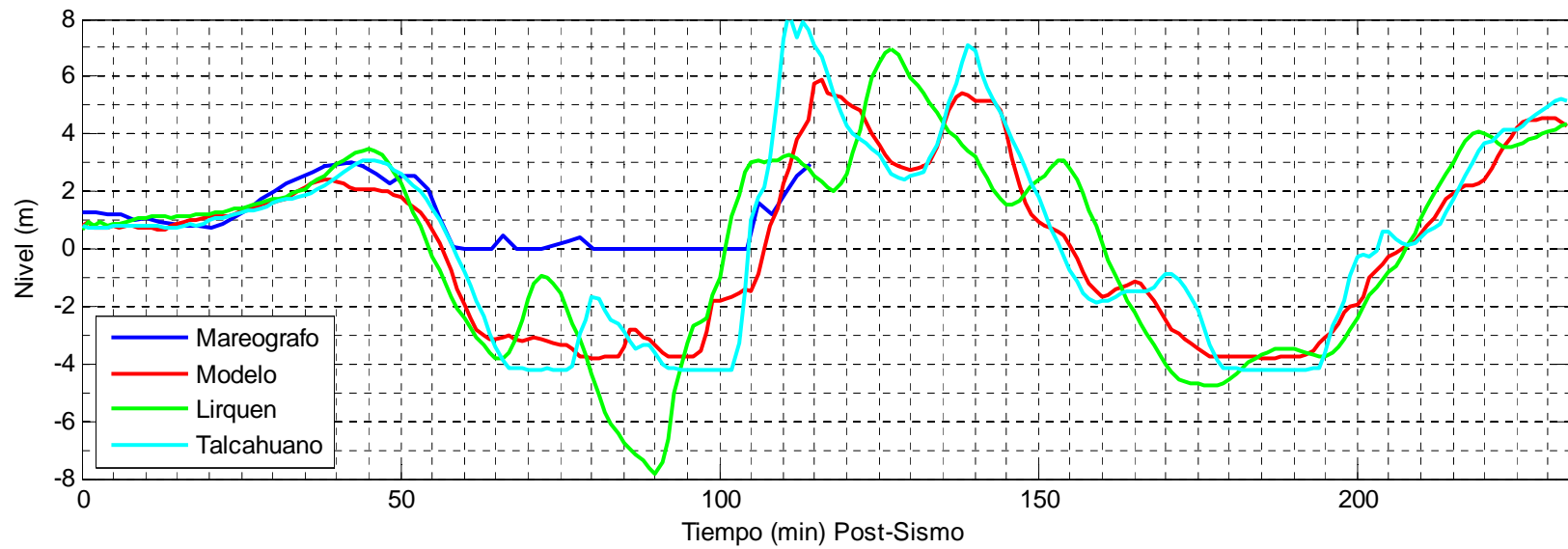
## Resultados > Animación Bahía de Concepción





# MODELO TSUNAMI 27-02-2010

Resultados > Series de tiempo en Bahía de Concepción





## MODELO TSUNAMI 27-02-2010

Otros sitios modelados > Constitución

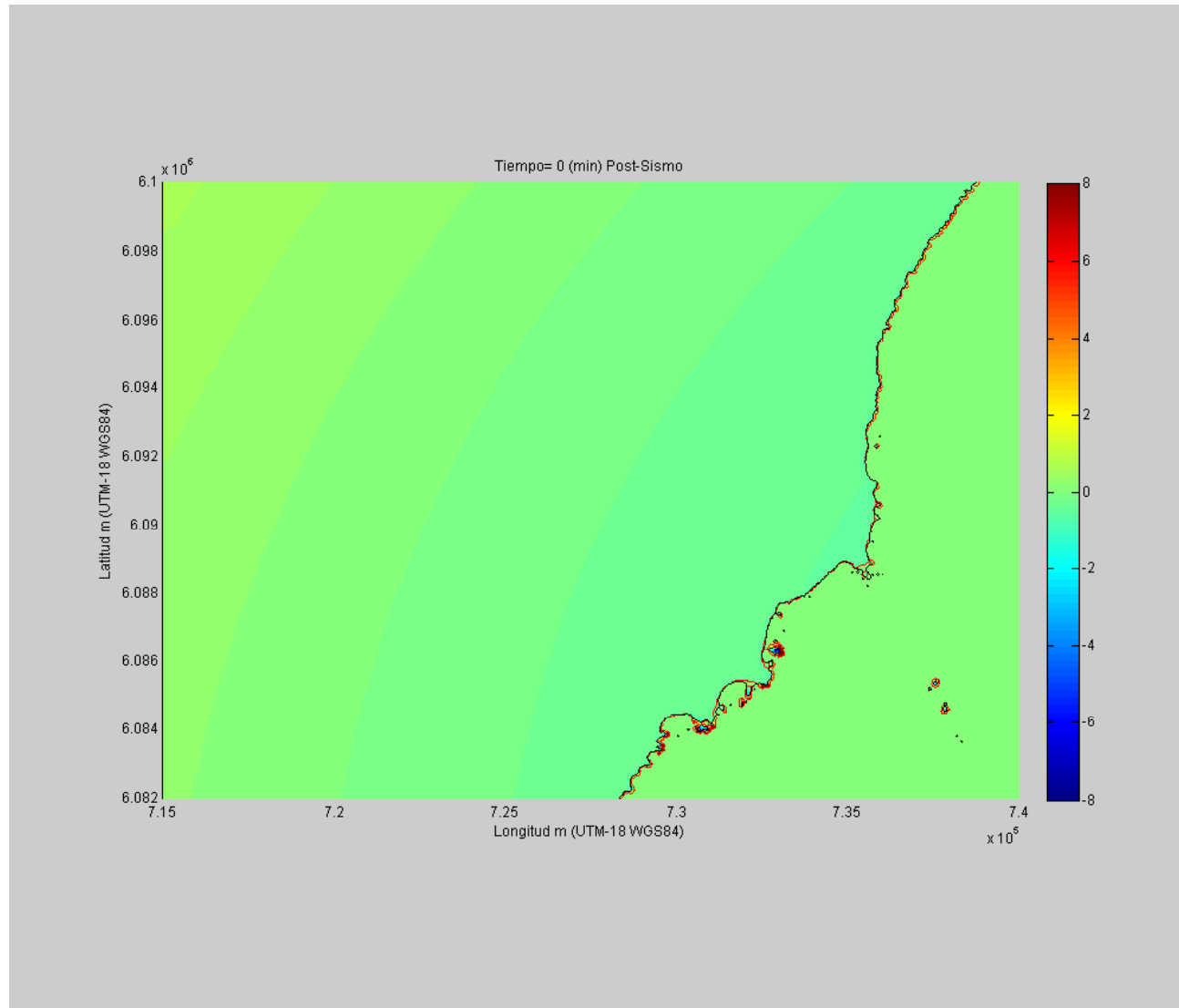


Fuente: Google Earth ©



# MODELO TSUNAMI 27-02-2010

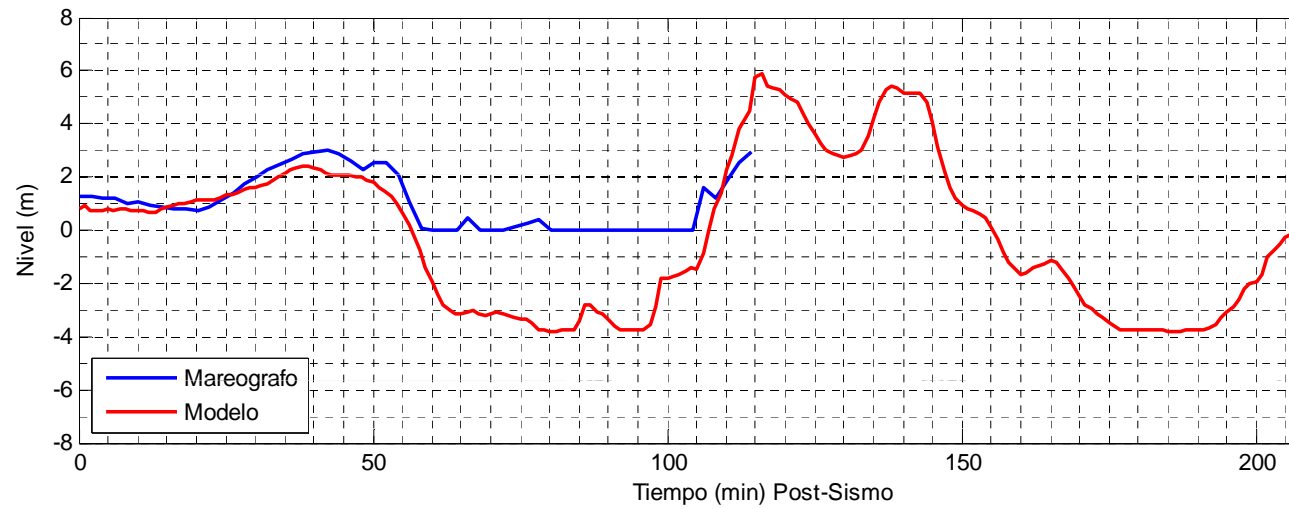
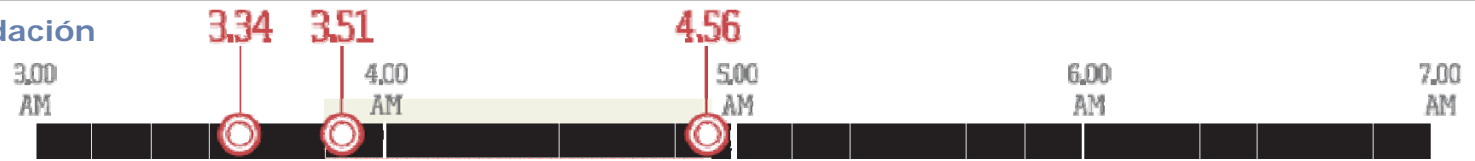
Resultados > Animación Constitución





## CONCLUSIONES

Validación







- Sismo es primera alerta. Evacuar sectores costeros inmediatamente.
- Edge waves → Procesos complejos. Costa permanece activa varias horas.
- Efectos locales → Amplificación en bahías.
- El modelo representa correctamente el evento 27F.

Muchas Gracias

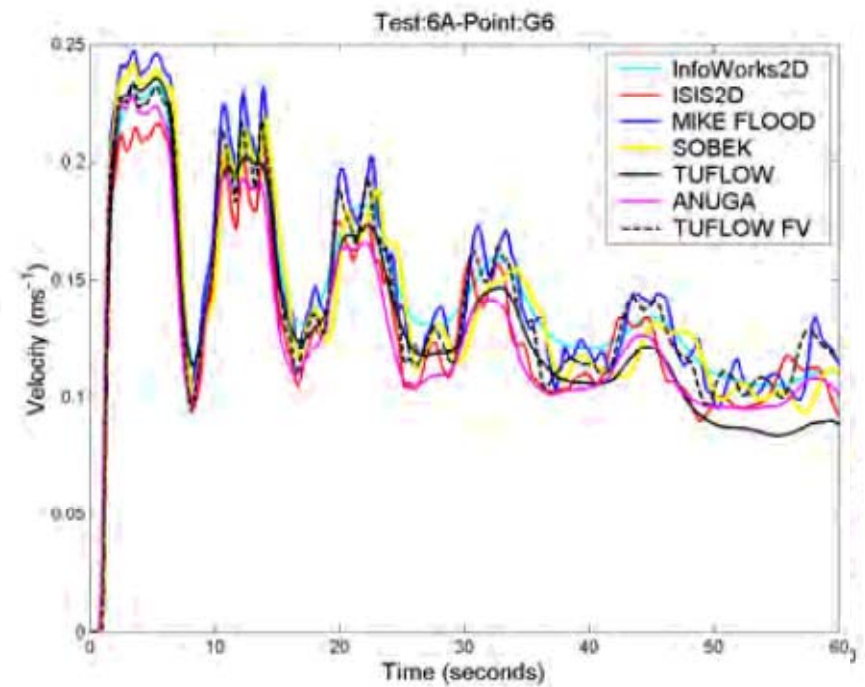
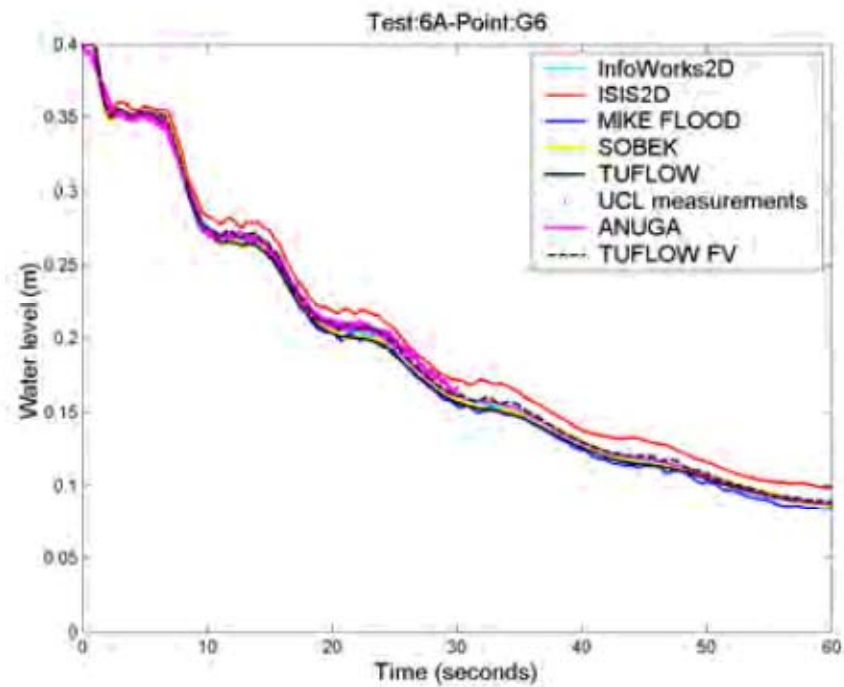


## CONCLUSIONES

### Validaciones ANUGA

Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling – Environment Agency UK

Flood and Coastal Erosion risk Management Research and Development Programme





# CONCLUSIONES

## Capacidades ANUGA



Ixhgwh=Geoscience D xvwdd