



---

**COI-SHOA-CICESE Curso sobre  
Modelación Numérica de Tsunamis**

**Proyecto TIME**

---

Valparaiso, Chile

11 de Marzo - 11 de Mayo de 1996

## **CONTENIDO**

### **INFORME RESUMIDO**

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. PARTICIPANTES	1
3. INSTRUCTORES	1
4. OBJETIVO	1
5. PROGRAMA DEL CURSO	1
5.1 APERTURA	2
5.2 ESTUDIOS DE CASOS	2
6. EVALUACION DEL CURSO	2
7. CONCLUSIONES GENERALES	2
8. PROPUESTA Y RECOMENDACIONES	2
9. CLAUSURA	3

### **ANEXOS**

- I. LISTA DE PARTICIPANTES
- II. PROGRAMA DEL CURSO
- III. LISTA DE ESTUDIOS DE CASOS
- IV. CERTIFICADO DE PARTICIPACION DEL CURSO
- V. LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

## **1. INTRODUCCION**

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), como responsable del funcionamiento y operación del Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM) requiere permanentemente del conocimiento y de la información relacionada con el fenómeno Tsunami, para el perfeccionamiento de sus planes de acción frente a situaciones de emergencia derivadas de estos desastres naturales. En este contexto, el SHOA organizó un curso de entrenamiento de Simulación Numérica de Tsunamis en conjunto con el Departamento de Oceanografía Física del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México (CICESE).

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) apoyó esta iniciativa comprometiéndose a financiar parcialmente el proyecto, acuerdo que se adoptó durante la XV Sesión del Grupo Internacional de Coordinación del Sistema de Alerta contra los tsunamis en el Pacífico (GIC/ITSU/IOC/UNESCO) celebrada en Papeete, Tahití, durante el mes de julio de 1995.

Este Curso corresponde a la etapa de transferencia tecnológica del proyecto denominado "*Tsunami Inundation Modelling for Exchange*" (TIME) y está basado en los avances logrados por el Dr. Nobuo Shuto en el análisis de modelo numérico para la investigación de tsunamis en el campo cercano, en la Universidad de Tohoku, Japón. El propósito de realización del proyecto TIME es transferir la tecnología de la simulación numérica de tsunamis a países de América Latina que en sus áreas costeras se ven afectados por estos fenómenos naturales, poniendo a disposición de los Estados miembros asistencia técnica y software para elaborar cartas de inundación por tsunamis.

El Curso tuvo una duración de 2 meses y se realizó entre el 11 de marzo y el 11 de mayo de 1996 en Valparaíso, Chile, incluyéndose en su última semana el Curso TREMORS (Tsunami Risk Evaluation through Seismic Moment from a Real-Time System) orientado a explicar y demostrar el uso del sistema basado en 3 componentes de banda ancha para la determinación temprana de Momentos Sísmicos y la evaluación de posibles terremotos tsunamigénicos.

## **2. PARTICIPANTES**

Se invitó formalmente a los distintos países de América Latina miembros del GIC/ITSU a participar en el Curso enviando a sus representantes, a través de carta conteniendo los antecedentes y programa general definido (28-29 septiembre 1995). El requisito académico de los participantes fue el equivalente a nivel de licenciatura en una rama de Ciencias o Ingeniería. El Curso TREMORS incluido en la última semana del Curso TIME contó además con la participación del Sr. Salvador Farreras, investigador del Depto. de Oceanografía Física del CICESE. La lista de los participantes se adjunta como Anexo I.

## **3. INSTRUCTORES**

El Curso TIME fue impartido por el profesor Modesto Ortiz Figueroa (MCs) del Departamento de Oceanografía Física del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México (CICESE). El entrenamiento para el manejo del sistema TREMORS fue realizado por el Dr. Francois Schindele, Director del Laboratorio de Geofísica de la Polinesia Francesa asociado al Comisariado de la Energía Atómica de Francia (C.E.A).

## **4. OBJETIVO DEL CURSO**

Describir y aplicar un modelo numérico para elaborar mapas de zonas costeras con riesgo de inundación debido a tsunamis locales generados en zonas de subducción de placas tectónicas.

## **5. PROGRAMA**

El programa definitivo del Curso fue establecido por el instructor con meses de antelación lo cual, permitió a los participantes el mejor conocimiento de la temática a seguir. El resumen y temario del Curso detallado por semanas se adjunta como Anexo II. Las clases se desarrollaron en sesiones de 8 horas diarias de las cuales, 2 se dedicaron a la instrucción teórica y 6 a la instrucción práctica en tareas y laboratorios. El idioma utilizado fue únicamente el español.

## 5.1 APERTURA

El Director del SHOA, Capitán de Navío Hugo Gorziglia A. y el Jefe del Departamento de Oceanografía, Capitán de Fragata Alejandro Cabezas C. dieron la bienvenida a los participantes en una reunión en la que se dió por iniciado oficialmente el Curso y en la que se enfatizó sobre la importancia de las cartas de inundación para el manejo de las áreas costeras vulnerables a este tipo de desastres y en lo prioritario que significa para los países costeros de América Latina el contar con los avances tecnológicos que disminuyan las consecuencias negativas de estos eventos.

## 5.2. ESTUDIOS DE CASOS

Cada participante presentó un caso de estudio enfocado en los objetivos del Curso, seleccionado según zonas de interés o áreas respaldadas por antecedentes históricos de tsunamis y niveles de vulnerabilidad asociados. El listado de estas presentaciones se adjunta como Anexo III.

## 6. EVALUACION DEL CURSO

Se realizó una evaluación de la organización y de los resultados del Curso días antes del término de este, obteniéndose conclusiones ampliamente positivas por parte de los participantes y del instructor. Tanto el interés dispensado por los alumnos durante el desarrollo del Curso como los excelentes recursos pedagógicos y metodológicos utilizados por el instructor, facilitaron completamente el logro del objetivo propuesto. Se reconoció además, la adecuada infraestructura técnica y la organización administrativa local proporcionada por el SHOA.

Los resultados de la simulación lograda por cada participante se entregaron a través de informe escrito y verbal, este último por medio de una exposición breve a modo de evaluación personal que contó con la presencia del Director del SHOA y del Jefe del Departamento de Oceanografía junto a un grupo de profesionales ligados al área.

## 7. CONCLUSIONES GENERALES

El Curso fue calificado como exitoso, siendo respaldado por la calidad de los temas tratados, por el uso de métodos pedagógicos fácilmente asimilados por los alumnos, por el excelente nivel académico de los participantes y por el apoyo técnico y administrativo proporcionado por el SHOA lo cual, hace que exista plena confianza en la capacidad de los alumnos para transmitir los nuevos conocimientos en los planes de prevención y mitigación de desastres de los organismos de protección civil en los respectivos países.

## 8. PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

Cada uno de los participantes se comprometió dentro de los programas de su incumbencia, a desarrollar y afianzar la metodología de la simulación numérica de tsunamis principalmente para las áreas costeras más vulnerables. Se acordó además mantener el contacto entre los participantes con el fin de continuar el monitoreo de los resultados del Curso y su evolución en el futuro, especialmente frente a la ocurrencia de un sismo tsunamigénico real previamente simulado a través de esta técnica. El intercambio de resultados y avances logrados en cada país será de gran importancia para el perfeccionamiento de la metodología aplicada a casos de la costa Pacífica Sudamericana.

Chile por su parte, se comprometió a elaborar a través de esta metodología, 18 cartas de inundación para los principales puertos del país en un plazo de 5 años a partir de 1997.

## **9. CLAUSURA DEL CURSO**

El Curso fue clausurado oficialmente el día 11 de mayo de 1996. Se realizó una ceremonia de graduación presidida por el Director del SHOA y que contó con la presencia de todo el personal del Servicio, entregándose en la oportunidad los certificados de participación a cada alumno (Anexo IV).

## ANEXO I

### LISTA DE PARTICIPANTES

#### ALUMNOS

Dante Gutierrez Besa  
Oceanógrafo, Departamento de Oceanografía  
Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la  
Armada, SHOA  
Av. Errázuriz 232, Playa Ancha  
Valparaíso  
CHILE  
Tel: <56> (32) 28 26 97  
Fax: <56> (32) 28 35 37  
E-mail: shoa@huelen.reuna.cl

Carolina Martínez Reyes  
Geógrafo, Departamento de Oceanografía  
Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la  
Armada, SHOA  
Av. Errázuriz 232, Playa Ancha  
Valparaíso  
CHILE  
Tel: <56> (32) 28 26 97  
Fax: <56> (32) 28 35 37  
E-mail: shoa@huelen.reuna.cl

Francisco Leiva Zurita  
Ingeniero de Ejecución en Informática  
Departamento de Oceanografía  
Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la  
Armada, SHOA  
Av. Errázuriz 232, Playa Ancha  
Valparaíso  
CHILE  
Tel: <56> (32) 28 26 97  
Fax: <56> (32) 28 35 37  
E-mail: shoa@huelen.reuna.cl

Patricia Arreaga Vargas  
Oceanógrafo, Departamento de Oceanografía  
Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR  
Av. 25 de julio Km.3 1/2  
Guayaquil  
ECUADOR  
Tel: <593> (4) 48 00 33  
Fax: <593> (4) 48 51 66  
E-mail: inocar@inocar.mil.ec

Fernando Ureña Elizondo  
Meteorólogo, Servicio Mareográfico y de Estado de  
Mar, SERMAR  
Universidad Nacional, Apartado 86  
Heredia  
COSTA RICA  
Tel: <506> 277 35 94  
Fax: <506> 260 25 46  
E-mail: furenae@cariari.ucr.ac.cr

John H. Caicedo Orbes  
Egresado Ingeniería en Informática  
Observatorio Sismológico del Suroccidente, OSSO  
Universidad del Valle  
Ciudad Universitaria-Meléndez-Torre de Ingeniería  
P.3, Apartado 25360  
Cali  
COLOMBIA  
Tel: <57> (2) 339 72 22  
Fax: <57> (2) 331 34 18  
E-mail: jhcaiced@osso.univalle.edu.co

Salvador Farreras  
Físico (M.Cs.)  
Departamento de Oceanografía Física  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, CICESE, Ensenada  
Baja California 22830, Apartado 2732  
MEXICO  
Tel: <52> (617) 44400  
Fax: <52> (617) 44880  
E-mail: sfarreras@cicese.mx

## **INSTRUCTORES**

Modesto Ortiz Figueroa  
Oceanólogo (M.Cs.)  
Departamento de Oceanografía Física  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, CICESE, Ensenada  
Baja California 22830, Apartado 2732  
MEXICO  
Tel: <52> (617) 44400  
Fax: <52> (617) 44880  
E-mail: ortizf@cicese.mx

Francois Schindele  
Director, Laboratorio de Geofísica de la Polinesia  
Francesa, LDG  
Centro Polinésico de Prevención de Tsunamis,  
CPPT  
B.P. 640  
Papeete, Tahíti  
POLINESIA FRANCESA  
Tel: <689> 82 80 25  
Fax: <689> 83 50 37  
E-mail: schindel@ldg.bruyeres.cea.fr

## ANEXO II

### PROGRAMA DE CURSO

#### RESUMEN

La forma inicial del tsunami se determina usando el modelo de Mansinha y Smylie (1971) suponiendo una deformación instantánea de la superficie del océano igual a la deformación vertical del lecho marino. La propagación del tsunami, desde la zona de generación hasta la costa, se simula usando el método de Goto y Ogawa (1982). Este método consiste en la integración numérica en diferencias finitas, de las ecuaciones de aguas someras. La inundación de zonas costeras se determina empleando la condición de frontera móvil de Iwasaki y Mano (1979). El dominio de integración (región de estudio) se discretiza mediante un conjunto de mallas anidadas, cada una de ellas con diferente resolución espacial. Las mallas con mayor resolución se emplean para discretizar las regiones en donde se desea elaborar los mapas de inundación.

#### TEMARIO SEPARADO POR SEMANAS

##### 1ra. semana (11 al 15 de marzo)

1. Introducción
  - 1.1 El tsunami de Michoacán, México de 1985
  - 1.2 El tsunami de Hokkaido, Japón de 1993
  - 1.3 El tsunami de Cuyutlán, México de 1932
  - 1.4 Selección de las regiones en donde se desean obtener estimaciones de zonas de inundación por tsunamis eventuales.
2. Repaso de las ecuaciones de la hidrodinámica
  - 2.1 Ecuación de conservación de masa
  - 2.2 Ecuación de conservación de momentum
  - 2.3 La aproximación hidrostática
  - 2.4 El modelo de aguas someras
  - 2.5 Las ecuaciones de aguas someras
  - 2.6 La ecuación de onda
  - 2.7 El método de las características aplicado a las ecuaciones de onda

##### 2a. semana (18 al 22 de marzo)

3. Métodos de integración numérica
  - 3.1 Esquema de diferencias finitas (método "salto de rana")
  - 3.2 Integración numérica de la ecuación de onda (caso unidimensional)
  - 3.3 Estabilidad numérica
  - 3.4 Condiciones iniciales y de frontera
    - oscilaciones forzadas en una frontera abierta
    - oscilaciones libres en una frontera abierta
    - reflexión en una frontera cerrada
    - condiciones de frontera móvil
  - 3.5 Integración numérica de la ecuación de onda (caso bidimensional)
  - 3.6 Integración numérica de los términos advectivos de las ecuaciones de Aguas Someras (método "del río abajo")
  - 3.7 Integración numérica de los términos de fricción

**3a. semana (25 al 29 de marzo)**

4. Aplicaciones

4.1 El modelo de Mansinha y Smylie

4.2 Aplicación del modelo de Mansinha y Smylie para generar las condiciones iniciales de un tsunami eventual en la región de interés

4.3 Aplicación de la ecuación de onda para analizar la propagación del tsunami en la región de interés

**4ta. semana (1 al 5 de abril)**

5. Continuación de regiones de integración (método de mallas anidadas)

5.1 La necesidad de continuación de regiones en integración numérica

5.2 Continuación de regiones con diferente incremento espacial (DX)

5.3 Continuación de regiones con diferente incremento temporal (DT)

**5ta. a 8va. semanas (8 de abril al 3 de mayo)**

6. Aplicación de la ecuación de onda y de las ecuaciones de Aguas Someras, mediante el procedimiento de mallas anidadas, para estimar zonas con riesgo de inundación debido a tsunamis eventuales en las regiones de interés.

7. Análisis y presentación de resultados. Elaboración de informes finales.

### **ANEXO III**

#### **LISTA DE ESTUDIOS DE CASOS**

##### **1. CHILE**

- 1.1 Modelación Numérica de un tsunami eventual en el puerto de Iquique, II Región. Area de estudio comprendida entre los 20°11'-20°13' Lat S y los 70°10'-70°08' Long W.
- 1.2 Modelación Numérica para un tsunami eventual frente a la costa de Arica, I Región. Area de estudio comprendida entre los 18°44'-18°48' Lat S y los 70°42'-70°28' Long W.
- 1.3 Modelación Numérica del tsunami de Antofagasta del 30 de julio de 1995. Area de estudio comprendida entre los 24°44'-23°02' Lat S y entre los 70°44'-70°38' Long W.

##### **2. ECUADOR**

- 1.1 Simulación Numérica de un tsunami eventual frente al Golfo de Guayaquil en la costa ecuatoriana. Area de estudio comprendida entre los 2°-4° Lat S y los 79°5'-82° Long W.

##### **3. COSTA RICA**

- 1.1 Simulación Numérica de un tsunami eventual frente a la costa de la península de Nicoya y su influencia en el golfo de Nicoya, Puntarenas y Quepos. Area de estudio comprendida entre los 8°5'-10°5' Lat N y entre los 84°-87° Long W.

##### **4. COLOMBIA**

- 4.1 Simulación Numérica de un tsunami eventual en la costa Pacífica Colombiana, área de Tumaco. Area de estudio comprendida entre los 1°-3° Lat N y los 78°-80° Long W.

**ANEXO IV**

**CERTIFICADO DE PARTICIPACION DEL CURSO**

## ANEXO V

### LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

CEA	Atomic Energy Commission/Comisariado de la Energía Atómica (Francia)
CICESE	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (México)
CPPT	Polynesian Tsunami Warning Centre/Centro Polinésia de Alerta contra los Tsunamis (Francia)
ICG/ITSU	International Co-ordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific/Grupo Internacional de Coordinación del Sistema de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada (Ecuador)
IOC/COI	Intergovernmental Oceanographic Commission/Comisión Oceanográfica Intergubernamental
LDG	Laboratorio de Geofísica (Polinesia Francesa)
OSSO	Observatorio Sismológico del SurOccidente (Colombia)
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (Chile)
SNAM	Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (Chile)
TIME	Tsunami Inundation Modelling for Exchange/Proyecto de Intercambio de Modelos de Inundaciones Provocadas por Tsunamis
TREMORS	Tsunami Risk Evaluation through Seismic Moment from a Real-Time System/Sistema de Evaluación en Tiempo Real del Peligro de los Tsunamis por el Momento Sísmico (LDG, Francia)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura