

# GUÍA DE REFERENCIA PARA CENTROS DE ALERTA DE TSUNAMIS

**OCTUBRE de 2007**

Esta publicación fue sometida a revisión por la Agencia de EE.UU. para el Desarrollo Internacional (*United States Agency for International Development, USAID*) y fue preparada por el Programa de Sistema de Alerta de Tsunamis en el Océano Índico (*US Indian Ocean Tsunami Warning System Program*) de EE.UU.

# Agradecimientos

Esta guía fue preparada como un esfuerzo de colaboración entre los miembros del Programa de Sistema de Alerta de Tsunamis en el Océano Índico (*US Indian Ocean Tsunami Warning System Program, US IOTWS*) de EE.UU. y el personal de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA*). Los autores principales fueron Christopher Hill, de la Oficina de Actividades Internacionales del NWS de NOAA y Andre LeDuc y Krista Mitchell de la Universidad de Oregón.

Los comentarios y la revisión técnica fueron invaluable para el desarrollo de la guía. Se encargaron de las revisiones Edward H. Young, Jr., Subdirector de la región del Pacífico del Servicio Nacional de Meteorología (NWS) de NOAA; Curt Barrett y Jennifer Lewis de la Oficina de Actividades Internacionales del NWS de NOAA; el Dr. Paul Whitmore (Director del WC/ATWC) y su personal; el Dr. Charles McCreery (Director del PTWC) y su personal; la Dra. Laura Kong, Directora del Centro Internacional de Información sobre Tsunamis (*International Tsunami Information Center*); el Dr. Eddie Bernard, Director del Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico (*Pacific Marine Environmental Laboratory*) de NOAA; David McKinnie de NOAA PMEL; el Dr. Geoff Crane de la Oficina de Meteorología (*Bureau of Meteorology*) de Australia y el Dr. Stan Goosby del Centro de Desastres del Pacífico (*Pacific Disaster Center*), Kihei, Maui; el Dr. Pariatmono, Ministro de Investigación y Tecnología de Indonesia y el Dr. Sunarjo de la Agencia Meteorológica y Geofísica de Indonesia (BMG); S.H.M.Bapon Fakhruddin del Centro Asiático de Preparación ante Desastres (*Asian Disaster Preparedness Center*); Deanne Shulman del Servicio Forestal/USDA; Ranjith George, contratista de NOAA, Coordinador Internacional de Notificaciones de Tsunami; y Chris Maier de NOAA. La Dra. Kitty Courtney estuvo a cargo de la edición técnica, Ferry Brodersen realizó la revisión editorial y Regina Scheibner y Arista Carlson, de Tetra Tech Inc., realizaron el diseño gráfico y la maquetación, bajo el contrato No. WC133F04CQ003 de NOAA.

Muchas agencias y organizaciones contribuyeron a la creación de esta guía. En particular, quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a:

- La Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), los países miembros del Grupo Intergubernamental de Coordinación (GCI)/IOTWS (Sistema de Alerta contra los Tsunamis y Atenuación de sus Efectos en el Océano Índico), la Secretaría y participantes del Grupo de Trabajo 5 (Interoperabilidad entre Centros).
- Comisión de Geociencias Aplicadas del Pacífico Sur (*South Pacific Applied Geoscience Commission, SOPAC*).
- Secretaría del Programa Ambiental Regional del Pacífico (*Secretariat of the Regional Environment Programme, SPREP*).
- Organización Meteorológica Mundial, Oficina Subregional de la Región V (Pacífico Suroeste), Apia, Samoa.



# Contenido

## Agradecimientos

<b>Prefacio</b> .....	<b>xiii</b>
-----------------------	-------------

## Capítulo 1

<b>Introducción a la <i>Guía de referencia para centros de alerta de tsunamis</i></b> .....	<b>1-1</b>
---	------------

Propósito de la guía .....	1-2
----------------------------	-----

Organización de la guía .....	1-3
-------------------------------	-----

## Capítulo 2

### Descripción general de los requisitos

<b>de organización y operación de los centros de alerta de tsunamis</b> .....	<b>2-1</b>
---	------------

Componentes operativos de los centros de alerta de tsunamis .....	2-4
---	-----

Datos de observación terrestre .....	2-4
--------------------------------------	-----

Recolección de información y datos .....	2-5
--	-----

Requisitos para la detección de tsunamis .....	2-6
--	-----

Respaldo a las decisiones del sistema de alerta de tsunamis .....	2-6
---	-----

Alertas y otros productos .....	2-6
---------------------------------	-----

Diseminación y notificación .....	2-8
-----------------------------------	-----

Conexiones con la comunidad .....	2-11
-----------------------------------	------

<b>Requisitos para organizar un centro de alerta de tsunamis</b> .....	<b>2-12</b>
--	-------------

Requisitos de personal .....	2-12
------------------------------	------

Requisitos de equipo y mantenimiento .....	2-13
--	------

Requisitos de comunicaciones .....	2-13
------------------------------------	------

Requisitos de documentación .....	2-13
-----------------------------------	------

Requisitos de capacidad e interoperabilidad de un RTWP .....	2-17
--	------

Indicadores de rendimiento de un RTWP .....	2-18
---	------

## Capítulo 3

<b>Datos de observación terrestre</b> .....	<b>3-1</b>
---	------------

¿Cómo se utilizan los datos de observación terrestre en un sistema integral de alerta de tsunamis? .....	3-2
---	-----

¿Qué contiene este capítulo? .....	3-2
------------------------------------	-----

¿Cuáles son los puntos más importantes a recordar sobre los datos de observación terrestre que necesitan los NTWC y RTWP? .....	3-3
--	-----

<b>Datos sísmicos necesarios para la detección de tsunamis</b> .....	<b>3-3</b>
--	------------

Puntos importantes que recordar acerca de los datos sísmicos .....	3-4
--	-----

Fuerzas físicas que generan tsunamis .....	3-5
--	-----

Tipos de fallas . . . . .	3-5
Falla normal o conforme . . . . .	3-5
Falla inversa o de cabalgadura . . . . .	3-5
Falla horizontal o de desplazamiento de rumbo . . . . .	3-6
Tectónica de placas. . . . .	3-6
Dorsales oceánicas . . . . .	3-7
Fosas oceánicas . . . . .	3-7
Arcos insulares . . . . .	3-8
Ondas sísmicas . . . . .	3-9
Puntos importantes que recordar acerca de las fuerzas físicas que generan tsunamis . . . . .	3-11
Localización del epicentro e hipocentro de un terremoto . . . . .	3-12
Tiempo de propagación de las ondas sísmicas . . . . .	3-12
Velocidad de las ondas sísmicas . . . . .	3-13
Ondas P o de compresión. . . . .	3-13
Ondas S o secundarias . . . . .	3-14
El uso de las ondas P y S para localizar terremotos . . . . .	3-14
Determinación del hipocentro de un terremoto . . . . .	3-17
Puntos importantes que recordar acerca de la localización del epicentro e hipocentro de un terremoto . . . . .	3-18
Intensidad y magnitud de los terremotos . . . . .	3-19
Escala de intensidad de Mercalli . . . . .	3-19
Escala de magnitud de los terremotos . . . . .	3-21
La escala de magnitud Richter . . . . .	3-22
Escala de magnitud del momento . . . . .	3-23
Momento sísmico . . . . .	3-24
Energía sísmica . . . . .	3-26
Formas prácticas de estimar la magnitud . . . . .	3-27
Magnitud del momento a partir de las ondas P. . . . .	3-26
Puntos importantes que recordar sobre la intensidad y magnitud de un terremoto. . . . .	3-28
Instrumentos utilizados para detectar la sismicidad. . . . .	3-30
Sismómetros. . . . .	3-30
Consideraciones para la instalación de una estación sismográfica típica de banda ancha. . . . .	3-32
Construcción del plataforma del sismómetro . . . . .	3-32
Aislamiento térmico del sismómetro de banda ancha . . . . .	3-33
Sensor y sismógrafo . . . . .	3-34
Puntos importantes que recordar acerca de los instrumentos sísmicos. . . . .	3-35
Requisitos de red sísmica y procesamiento en centros de alerta de tsunamis que necesitan un tiempo de respuesta de 5 minutos . . . . .	3-36

Redundancia de los datos . . . . .	3-37
Redes de observación . . . . .	3-37
Plataformas de observación. . . . .	3-37
Puntos importantes que recordar sobre los requisitos de las redes sísmicas . . .	3-38
<b>Datos de nivel del mar necesarios para la detección de tsunamis . . . . .</b>	<b>3-39</b>
Puntos importantes que recordar sobre los datos de nivel del mar . . . . .	3-40
Causas de las variaciones en el nivel del mar y detección de la señal de la ola de tsunami. . . . .	3-41
Puntos importantes que recordar sobre las causas de las variaciones del nivel del mar . . . . .	3-45
Uso de mareógrafos para medir cambios en el nivel del mar. . . . .	3-46
Mareógrafo de flotador . . . . .	3-47
Sistemas de presión . . . . .	3-48
Sistemas acústicos. . . . .	3-52
Medidores acústicos con tubo de resonancia . . . . .	3-53
Medidores acústicos sin tubo de resonancia . . . . .	3-54
Sistemas de radar . . . . .	3-55
Plataformas multiuso . . . . .	3-57
Puntos importantes que recordar sobre los mareógrafos. . . . .	3-59
Redes mareográficas costeras y requisitos de procesamiento. . . . .	3-60
Requisitos para una red de estaciones mareográficas costeras. . . . .	3-60
Calidad de los datos de los mareógrafos costeros . . . . .	3-61
Requisitos para procesar los datos de los mareógrafos costeros . . . . .	3-62
Software de procesamiento de datos de los mareógrafos costeros. . . . .	3-63
Puntos importantes que recordar sobre las redes mareográficas costeras y los requisitos de procesamiento . . . . .	3-63
Uso de tsunámetros para detectar la señal de las olas de tsunami . . . . .	3-64
Descripción general del sistema DART II . . . . .	3-65
Boya de superficie del sistema DART II . . . . .	3-67
Tsunámetro del sistema DART II . . . . .	3-69
Comunicaciones de datos. . . . .	3-71
Características del sitio . . . . .	3-75
Características y resumen de las especificaciones del DART II . . . . .	3-75
Puntos importantes que recordar acerca de las boyas y tsunámetros. . . . .	3-76
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Recolección de información y datos . . . . .</b>	<b>4-1</b>
¿Cómo encaja la recolección de información y datos en un sistema integral de alerta de tsunamis?. . . . .	4-2
¿Qué contiene este capítulo?. . . . .	4-2
¿Cuáles son los puntos más importantes a recordar sobre la recolección de información y datos de los NTWC y RTWP?. . . . .	4-3

<b>Recolección de información y datos principales a través del Sistema Mundial de Telecomunicaciones</b> . . . . .	<b>4-3</b>
Contenido y formatos de los datos . . . . .	4-5
Sistemas de conmutación de mensajes (MSS). . . . .	4-5
Puntos importantes que recordar acerca de la recolección de datos a través del SMT . . . . .	4-6
<b>Otros canales de comunicación para recolección de información y datos.</b> . . . . .	<b>4-7</b>
Comunicación de datos sísmicos: acceso a redes sísmicas internacionales . . . . .	4-7
Red Sismológica Mundial (GSN) de IRIS . . . . .	4-7
Sensores utilizados en la GSN de IRIS . . . . .	4-8
Comunicaciones de la GSN. . . . .	4-9
Datos de nivel del mar: acceso a las redes mareográficas internacionales . . . . .	4-11
Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar (GLOSS). . . . .	4-11
Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (SPNMM) . . . . .	4-12
Comunicaciones. . . . .	4-12
Sistema Mundial de Telecomunicaciones . . . . .	4-12
Otras comunicaciones satelitales para recolección de datos. . . . .	4-14
Elección de un sistema de comunicaciones . . . . .	4-15
Transmisión de datos de tsunámetros en tiempo real . . . . .	4-17
Puntos importantes que recordar sobre los canales de comunicación de datos . . . . .	4-17
<b>Comunicación de respaldo para la recolección de información y datos</b> . . . . .	<b>4-18</b>
Puntos importantes que recordar sobre las comunicaciones de respaldo. . . . .	4-19
<b>Formatos de recolección de datos.</b> . . . . .	<b>4-19</b>
Datos sísmicos . . . . .	4-19
Datos mareográficos. . . . .	4-20
Datos del nivel del mar en formato codificado de la OMM . . . . .	4-20
Datos del nivel del mar que no están en el formato codificado de la OMM. . . . .	4-22
Tsunámetros (boyas DART). . . . .	4-23
Protocolo de interrogación . . . . .	4-23
Transmisión de mensajes en tiempo real:	
transmisiones de Iridium y formatos de datos de series temporales . . . . .	4-24
Informe horario en modo normal . . . . .	4-24
Informe en modo evento de tsunami . . . . .	4-26
Informe horario en modo extendido . . . . .	4-27
Formato de datos de alta resolución a demanda . . . . .	4-28
Formato de datos DART en tiempo real DART: reformateo de datos de Iridium . . . . .	4-28
Puntos importantes que recordar sobre el formato de datos . . . . .	4-29

**Capítulo 5**

<b>Detección de tsunamis</b> . . . . .	<b>5-1</b>
¿Cómo encaja la detección de tsunamis en un sistema integral de alerta de tsunamis? . . . . .	5-2
¿Qué contiene este capítulo? . . . . .	5-3
¿Cuáles son los puntos más importantes que recordar acerca de las necesidades de los NTWC y RTWP para detectar tsunamis? . . . . .	5-4
<b>Requisitos de tecnología de la información</b> . . . . .	<b>5-4</b>
Redes de área amplia (WAN) . . . . .	5-4
Redes de área local (LAN) . . . . .	5-7
Componentes físicos de una LAN . . . . .	5-7
Topologías de LAN . . . . .	5-8
Métodos de transmisión utilizados por las LAN . . . . .	5-9
Servidores de archivos . . . . .	5-10
Otros equipos de LAN . . . . .	5-10
Problemas de las LAN . . . . .	5-10
Puntos importantes que recordar acerca de las redes informáticas . . . . .	5-11
<b>Requisitos de hardware y sistema operativo de los NTWC y RTWP</b> . . . . .	<b>5-11</b>
Sistemas operativos . . . . .	5-12
Estaciones de trabajo . . . . .	5-12
Puntos importantes que recordar acerca de los sistemas operativos y el hardware . . . . .	5-14
<b>Requisitos de software y procesamiento de los NTWC y RTWP</b> . . . . .	<b>5-15</b>
Software (programas o aplicaciones) . . . . .	5-16
Recolección de datos sísmicos y del nivel del mar en tiempo real . . . . .	5-16
Requisitos de procesamiento de datos de nivel del mar . . . . .	5-18
Software de procesamiento de datos de nivel del mar . . . . .	5-19
Requisitos de red de datos sísmicos y procesamiento para los centros que necesitan un tiempo de respuesta de 5 minutos . . . . .	5-20
Densidad de datos de la red sísmica y requisitos de tiempo . . . . .	5-20
Capacidad de procesamiento de datos sísmicos . . . . .	5-20
Software de procesamiento de datos sísmicos . . . . .	5-21
Puntos importantes que recordar acerca de los requisitos de software y procesamiento . . . . .	5-21
<b>Capacidad de respaldo y redundancia</b> . . . . .	<b>5-21</b>
Puntos importantes que recordar acerca de las operaciones de respaldo y redundancia . . . . .	5-22
<b>Requisitos de mantenimiento</b> . . . . .	<b>5-23</b>
Mantenimiento del software . . . . .	5-24
Mantenimiento del hardware . . . . .	5-25
Entrenamiento del personal técnico en electrónica . . . . .	5-25

Sismómetros. . . . .	5-26
Mareógrafos. . . . .	5-27
Puntos importantes que recordar acerca de los programas de mantenimiento de los sistemas de alerta de tsunami. . . . .	5-29

## Capítulo 6

### Apoyo a la toma de decisiones sobre tsunamis. . . . . 6-1

#### ¿Cómo encaja en un sistema integral

el apoyo a la toma de decisiones sobre la emisión de alertas de tsunamis? . . . . . 6-2

¿Qué contiene este capítulo? . . . . . 6-2

¿Cuáles son los puntos más importantes a recordar sobre los requisitos de  
apoyo a las decisiones de emisión de alertas de tsunamis en los NTWC y RTWP? . 6-3

Criterios de umbral de emisión de boletines . . . . . 6-3

Umbrales de emisión de boletines . . . . . 6-4

Enfoque de la Agencia Meteorológica de Japón . . . . . 6-5

Enfoque del NDWC de Tailandia. . . . . 6-5

Enfoque utilizado en centros con múltiples criterios . . . . . 6-8

Puntos importantes que recordar acerca de los umbrales de emisión  
de boletines basados únicamente en información de movimientos sísmicos . . . . . 6-8

Apoyo a la conciencia situacional del personal de turno . . . . . 6-8

EarlyBird. . . . . 6-8

EarthVu . . . . . 6-12

Sobreposiciones . . . . . 6-13

Tiempo de propagación y modelos de tsunami . . . . . 6-14

Puntos importantes que recordar acerca del uso  
de los programas EarthVu y EarlyBird del WC/ATWC . . . . . 6-14

Modelos numéricos de inundación y altura de las olas de tsunami. . . . . 6-15

Modelo MOST . . . . . 6-15

Generación. . . . . 6-15

Propagación . . . . . 6-16

Penetración máxima (*runup*). . . . . 6-17

Modelo de tsunamis generados por asteroides. . . . . 6-17

Otros modelos de inundación . . . . . 6-18

Puntos importantes que recordar acerca de los modelos de tsunamis . . . . . 6-18

Entrenamiento del personal de turno . . . . . 6-19

Puntos importantes que recordar acerca del entrenamiento del personal de turno 6-19

Investigación y desarrollo . . . . . 6-20

Productos experimentales . . . . . 6-21

Programa de mejora de los productos . . . . . 6-22

Pronósticos numéricos de olas de tsunami . . . . . 6-22

Modelado de inundación . . . . . 6-23

Puntos importantes que recordar acerca de los programas de investigación y desarrollo de los NTWC y RTWP . . . . .	6-24
<b>Capítulo 7</b>	
<b>Alertas y otros productos . . . . .</b>	<b>7-1</b>
¿Cómo encajan las alertas y otros productos en un sistema integral de alerta de tsunami? . . . . .	7-3
¿Qué contiene este capítulo? . . . . .	7-3
¿Cuáles son los puntos más importantes que recordar sobre los requisitos de productos de tsunamis de los NTWC y RTWP? . . . . .	7-4
Alerta: el nivel más alto de amenaza de tsunami . . . . .	7-4
Vigilancia: el segundo nivel de amenaza de tsunami . . . . .	7-6
Advertencia: el tercer nivel de amenaza de tsunami . . . . .	7-9
Comunicados informativos . . . . .	7-10
Cancelación de una alerta de tsunami . . . . .	7-11
<b>Capítulo 8</b>	
<b>Diseminación y notificación . . . . .</b>	<b>8-1</b>
¿Cómo encajan las alertas y otros productos dentro de un sistema integral de alerta de tsunamis? . . . . .	8-2
¿Qué contiene este capítulo? . . . . .	8-2
¿Cuáles son los puntos más importantes a recordar sobre los requisitos de diseminación y notificación de los NTWC y RTWP? . . . . .	8-3
Diseminación . . . . .	8-3
Mensajes de alerta oportunos . . . . .	8-5
Diseminación de boletines . . . . .	8-6
Aparatos de recepción de alertas . . . . .	8-8
Credibilidad del sistema de alerta . . . . .	8-9
Puntos importantes que recordar acerca de la diseminación de alertas de tsunami . . . . .	8-9
Red EMWIN . . . . .	8-10
¿Qué es EMWIN? . . . . .	8-10
Protocolo de transmisión . . . . .	8-13
Puntos importantes que recordar acerca de EMWIN . . . . .	8-15
Tecnologías de radio e internet para la comunicación de información hidrometeorológica y climática (RANET) a comunidades rurales y remotas . . . . .	8-16
La propuesta de RANET . . . . .	8-16
Áreas de actividad y programas de RANET . . . . .	8-17
Organización y apoyo económico a RANET . . . . .	8-18
Sistema Internacional de Comunicaciones por Satélite (ISCS) . . . . .	8-19
Puntos importantes que recordar acerca de ISCS . . . . .	8-20

Los sistemas de distribución satelital SADIS del Reino Unido e INSAT del Departamento Meteorológico de la India . . . . .	8-21
Sistema SADIS de la oficina meteorológica del R.U. . . . .	8-21
Sistema de distribución INSAT de la India . . . . .	8-21
Puntos importantes que recordar acerca de SADIS e INSAT. . . . .	8-22
GEONETCast, el componente de diseminación de GEOSS . . . . .	8-23
Generalidades. . . . .	8-23
Estándares del servicio . . . . .	8-26
Estándares técnicos. . . . .	8-26
Puntos importantes que recordar acerca de GEONETCast. . . . .	8-27
<b>Notificación . . . . .</b>	<b>8-28</b>
Diseño del sistema de alerta . . . . .	8-29
Canales de alerta . . . . .	8-30
Contenido del mensaje de alerta . . . . .	8-30
Fuentes de alerta . . . . .	8-31
Contexto del sistema de alerta . . . . .	8-32
Puntos importantes que recordar acerca de la notificación . . . . .	8-32
Programas de preparación de la comunidad de los NTCW y RTWP . . . . .	8-33
Identificación de asociados y usuarios. . . . .	8-34
Comité de revisión técnica de tsunamis en Hawai. . . . .	8-35
Puntos importantes que recordar acerca de los programas de preparación de la comunidad . . . . .	8-35
El programa TsunamiReady de Estados Unidos . . . . .	8-36
Objetivos del programa TsunamiReady . . . . .	8-36
Beneficios de TsunamiReady . . . . .	8-36
Requisitos de las comunidades para participar en TsunamiReady. . . . .	8-38
Puntos importantes que recordar acerca del programa TsunamiReady . . . . .	8-43
Programa para aumentar la capacidad de recuperación de las comunidades costeras. . . . .	8-44
Elementos de recuperación de las comunidades costeras . . . . .	8-44
Evaluar la recuperación de comunidades costeras (RCC). . . . .	8-45
Herramientas para evaluar la vulnerabilidad de una comunidad . . . . .	8-47
Puntos importantes que recordar acerca del programa de capacidad de recuperación de comunidades costeras . . . . .	8-47
Materiales de entrenamiento para <b>divulgación</b> y educación. . . . .	8-48
Puntos importantes que recordar acerca de los materiales de entrenamiento para <b>divulgación</b> y educación . . . . .	8-49

<b>Capítulo 9</b>	
<b>Conexiones con la comunidad</b> . . . . .	<b>9-1</b>
¿Cómo encajan las conexiones con la comunidad en un sistema integral de alerta de tsunamis? . . . . .	9-2
¿Qué contiene este capítulo? . . . . .	9-2
¿Cuáles son los puntos más importantes a recordar sobre las conexiones entre los NTWC y RTWP y la comunidad? . . . . .	9-3
El modelo de comunicación . . . . .	9-3
<b>Desarrollo de asociaciones y conexión con el público</b> . . . . .	<b>9-4</b>
Desarrollo de asociaciones con los medios de comunicación . . . . .	9-5
Creación de amplias asociaciones comunitarias . . . . .	9-6
Ideas para las primeras reuniones de asociación . . . . .	9-9
Conexión con el público: modelo de comunicación . . . . .	9-10
El público . . . . .	9-11
El canal . . . . .	9-12
El mensaje . . . . .	9-12
La fuente . . . . .	9-13
<b>Diseño e implementación     de un programa de divulgación para el sistema de alerta</b> . . . . .	<b>9-13</b>
Estrategias para grupos específicos . . . . .	9-13
Ancianos . . . . .	9-14
Niños y adolescentes . . . . .	9-15
Comercio local . . . . .	9-15
Visitantes . . . . .	9-16
Gente que no habla el idioma local . . . . .	9-17
Residentes . . . . .	9-18
Funcionarios elegidos . . . . .	9-18
Enfoque local . . . . .	9-19
<b>Apéndice A: Acrónimos, siglas y abreviaturas</b> . . . . .	<b>A-1</b>
<b>Apéndice B: Glosario</b> . . . . .	<b>B-1</b>
<b>Apéndice C: Descripción de los cargos del personal del NTWC y RTWP</b> . . . . .	<b>C-1</b>
<b>Apéndice D: Requisitos de documentación de los NTWC y RTWP</b> . . . . .	<b>D-1</b>
<b>Apéndice E: Referencias y recursos</b> . . . . .	<b>E-1</b>

## Figuras

<b>Figura 1-1.</b> Esquema de un sistema integral de alerta de tsunamis . . . . .	1-1
<b>Figura 1-2.</b> Componentes operativos clave del proceso integral de un centro de alerta de tsunamis	1-4
<b>Figura 2-1.</b> Componentes operativos clave del proceso integral de un centro de alerta de tsunamis	2-4
<b>Figura 2-2.</b> Organigrama de un NTWC que opera las 24 horas del día, los 7 días de la semana . . .	2-12
<b>Figura 3-1.</b> Datos de observación terrestre que requieren los centros de alerta de tsunamis. . . . .	3-1
<b>Figura 3-2.</b> Falla de desplazamiento normal. . . . .	3-5
<b>Figura 3-3.</b> Falla inversa o de cabalgadura. . . . .	3-5
<b>Figura 3-4.</b> Falla transversal o de desplazamiento de rumbo . . . . .	3-5
<b>Figura 3-5.</b> Sección transversal de la estructura de las placas tectónicas de la Tierra . . . . .	3-6
<b>Figura 3-6.</b> Principales placas tectónicas de la Tierra. . . . .	3-7
<b>Figura 3-7a.</b> La fricción retarda el movimiento de la placa emergente en una zona de subducción .	3-8
<b>Figura 3-7b.</b> La placa cabalgante se distorsiona lentamente. . . . .	3-8
<b>Figura 3-7c.</b> La placa cabalgante rebota y desplaza hacia arriba el océano. . . . .	3-8
<b>Figura 3-7d.</b> Las olas de tsunami se propagan desde la región de origen. . . . .	3-8
<b>Figura 3-8.</b> Movimiento de partículas asociadas a los diversos tipos de ondas sísmicas . . . . .	3-10
<b>Figura 3-9.</b> Localización del epicentro de un terremoto. . . . .	3-16
<b>Figura 3-10a.</b> Disposición óptima de los sensores . . . . .	3-16
<b>Figura 3-10b.</b> Disposición de los sensores en una zona de subducción . . . . .	3-16
<b>Figura 3-11.</b> Hipocentro y epicentro de un terremoto . . . . .	3-18
<b>Figura 3-12.</b> Mareas características registradas en cinco estaciones que muestran diferentes regímenes . . . . .	3-43
<b>Figura 3-13.</b> Modelo de atracción gravitacional en un planeta completamente cubierto de océano . . . . .	3-44
<b>Figura 3-14.</b> Interacción entre el Sol y la Luna en la producción de las mareas . . . . .	3-44
<b>Figura 3-15.</b> Señal de un tsunami . . . . .	3-45
<b>Figura 3-16.</b> Mareógrafo básico de flotador y pozo. . . . .	3-48
<b>Figura 3-17.</b> Componentes de un sistema de burbuja . . . . .	3-49
<b>Figura 3-18a.</b> Medidor de presión montado directamente en el mar . . . . .	3-51
<b>Figura 3-18b.</b> Medidor de presión fijado a un muelle en Puerto Stanley . . . . .	3-51
<b>Figura 3-19.</b> Mareógrafo de del sistema NGWLMS de NOAA/NOS . . . . .	3-54
<b>Figura 3-20a.</b> Comparación entre un sistema de radar y un sistema de burbujas . . . . .	3-56
<b>Figura 3-20b.</b> Instalación de prueba de mareógrafo de radar Kalesto OTT en Liverpool, Inglaterra	3-56
<b>Figura 3-21.</b> Distribución operativa de la boyas de tsunámetro en 2007 . . . . .	3-65
<b>Figura 3-22.</b> Componentes de un sistema DART . . . . .	3-66

<b>Figura 3-23a.</b> Boya DART II estadounidense . . . . .	3-68
<b>Figura 3-23b.</b> Boya de SHOA chilena . . . . .	3-68
<b>Figura 3-24.</b> Componentes del sistema DART II localizados en el fondo del océano . . . . .	3-69
<b>Figura 4-1.</b> Componentes de requisitos de recolección de información y datos de un centro de alerta de tsunamis . . . . .	4-1
<b>Figura 4-2.</b> Estructura básica del SMT . . . . .	4-4
<b>Figura 4-3.</b> Estructura de un boletín del SMT . . . . .	4-5
<b>Figura 4-4.</b> Distribución mundial de las redes sísmicas . . . . .	4-8
<b>Figura 4-5.</b> Métodos de comunicación que se utilizan en los sitios de la GSN . . . . .	4-10
<b>Figura 4-6.</b> Red central mundial de GLOSS definida por GLOSS02 . . . . .	4-11
<b>Figura 4-7a.</b> Estado de las estaciones GLOSS en los archivos del SPNMM en octubre de 2006 . . . . .	4-12
<b>Figura 4-7b.</b> GLOSS en las regiones del Océano Índico en octubre de 2006 . . . . .	4-13
<b>Figura 4-8.</b> Transmisión de datos de una estación de campo a los centros de alerta de tsunamis . . . . .	4-20
<b>Figura 4-9.</b> Ejemplo de formato CREX de la OMM decodificado . . . . .	4-22
<b>Figura 4-10.</b> Ejemplo de un reporte codificado GLOSS y no-OMM de un medidor del nivel del mar . . . . .	4-22
<b>Figura 4-11.</b> Ejemplo de informe horario en modo estándar . . . . .	4-26
<b>Figura 4-12.</b> Ejemplo de informe en modo de evento . . . . .	4-27
<b>Figura 4-13.</b> Ejemplo de informe horario en modo extendido . . . . .	4-27
<b>Figura 4-14.</b> Ejemplo de formato de dato DART de alta resolución a demanda . . . . .	4-28
<b>Figura 5-1.</b> Componentes necesarios en los centros de alerta de tsunamis para detectar y predecir tsunamis . . . . .	5-1
<b>Figura 5-2.</b> Cronograma de emisión de un boletín de tsunami local (en segundos) . . . . .	5-2
<b>Figura 5-3.</b> Cronograma de emisión de un boletín de teletsunami (en minutos) . . . . .	5-3
<b>Figura 5-4.</b> Conexiones del WC/ATWC a varias redes de área amplia (WAN) . . . . .	5-6
<b>Figura 5-5.</b> Diagrama esquemático de una LAN idealizada . . . . .	5-7
<b>Figura 5-6.</b> Configuración del hardware del PTWC en julio de 2006 . . . . .	5-14
<b>Figura 5-7.</b> Red de procesamiento de información sísmica del WC/ATWC . . . . .	5-14
<b>Figura 6-1.</b> Rol del apoyo a la toma de decisiones en un sistema integral de alerta de tsunamis . . . . .	6-1
<b>Figura 6-2.</b> Procedimientos básicos de respuesta de un centro de alerta . . . . .	6-5
<b>Figura 6-3.</b> Tabla de “niveles de riesgo” y distancia de radio efectivo de los sismos en áreas costeras de Tailandia . . . . .	6-6
<b>Figura 6-4.</b> Probabilidad de generación de un tsunami según la posición del hipocentro . . . . .	6-7
<b>Figura 6-5.</b> Umbrales de emisión de boletines del WC/ATWC . . . . .	6-7
<b>Figura 6-6.</b> Conexiones entre módulos de importación/exportación y sistemas de procesamiento del WC/ATWC . . . . .	6-9
<b>Figura 6-7.</b> Diagrama de flujo del procesamiento de datos del programa EarlyBird del WC/ATWC . . . . .	6-10

**Figura 6-8.** Pasos para implementar un producto experimental [instrucción 10-102 del Servicio Nacional de Meteorología (*National Weather Service, NWS*) de EE.UU., 18 de mayo de 2006] . . . . . 6-22

**Figura 7-1.** Alertas y otros productos en un sistema integral de alerta de tsunamis . . . . . 7-1

**Figura 8-1.** Requisitos de diseminación y notificación de los centros de alerta de tsunamis . . . . . 8-1

**Figura 8-2a.** Canales de diseminación del WC/ATWC . . . . . 8-7

**Figura 8-2b.** Canales de diseminación del PTWC . . . . . 8-8

**Figura 8-3.** Cobertura de los satélites GOES Este y Oeste . . . . . 8-10

**Figura 8-4.** Configuración de EMWIN. . . . . 8-11

**Figura 8-5.** Configuración del Sistema Internacional de Comunicaciones por Satélite (ISCS). . . . . 8-20

**Figura 8-6.** Huella de cobertura del satélite Asia de WorldSpace . . . . . 8-22

**Figura 8-7.** Estructura de GEONETCast . . . . . 8-24

**Figura 8-8.** Cobertura inicial y final de GEONETCast en las Américas . . . . . 8-25

**Figura 8-9.** Cobertura de EUMETCast y FengYunCast . . . . . 8-25

**Figura 8-10.** Ejemplo del formato de un mensaje oral (boletín informativo) . . . . . 8-31

**Figura 9-1.** Componentes de las conexiones con la comunidad de los centros nacionales de alerta de tsunamis . . . . . 9-1

**Figura 9-2.** Etapas de la comunicación persuasiva . . . . . 9-3

**Figura 9-3.** Rol de los medios de comunicación (radio, prensa, TV, etc.) . . . . . 9-4

**Figura 9-4.** Modelo de comunicación . . . . . 9-10

## Tablas

**Tabla 2-1.** Indicadores de rendimiento recomendados para los RTWP. . . . . 2-19

**Tabla 3-1.** Ondas sísmicas . . . . . 3-11

**Tabla 3-2.** Escala de Intensidad de Mercalli modificada . . . . . 3-20

**Tabla 3-3.** Escalas de magnitud de los terremotos . . . . . 3-21

**Tabla 3-4.** Comparación entre la escala Mercalli y la escala Richter . . . . . 3-23

**Tabla 5-1.** Diferentes opciones de conectividad a WAN . . . . . 5-5

**Tabla 6-1.** Umbrales de emisión de boletines con base en la intensidad de un terremoto . . . . . 6-4

**Tabla 8-1.** Requisitos para el reconocimiento como una comunidad TsunamiReady. . . . . 8-37

## Prefacio

Basta reflexionar un poco sobre la devastación causada por el tsunami del Océano Índico que ocurrió en diciembre de 2004 para comprender la importancia de crear un sistema de alerta de tsunamis sólido que permita salvar vidas en caso de que vuelva a producirse una secuencia de eventos sísmicos similar.

Para contrarrestar la amenaza de tsunamis en Estados Unidos, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA) diseñó los muchos componentes de un sistema de alerta integral que comprende, entre otros elementos, el sistema de tecnología de boyas DART (*Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*) que evalúa el fondo oceánico e informa de tsunamis, modelos numéricos de propagación de tsunamis, el establecimiento de centros de alerta de tsunamis y el desarrollo del programa TsunamiReady para preparar a las comunidades costeras para la eventualidad de un tsunami. La NOAA comparte el liderazgo técnico, la tecnología y el desarrollo de capacidad en estos aspectos como parte de la respuesta del Gobierno de Estados Unidos en la región del Océano Índico frente al tsunami de 2004.



Para establecer un sistema de alerta operativo ante una de las amenazas naturales más intensas y severas para las poblaciones costeras, la NOAA desarrolló un “concepto de operaciones” que define los recursos humanos, científicos y tecnológicos necesarios para brindar las alertas esenciales a las comunidades a riesgo. Este documento, que representa el conocimiento acumulado por la NOAA al diseñar un programa de alerta operativo para EE.UU., constituye un compendio de nuestras “mejores prácticas”.

Esperamos que este documento, la *Guía de Referencia para centros de alerta de tsunamis*, ayude a la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en su esfuerzo por alentar a los países a establecer sistemas de alerta de tsunami. Los conceptos de operaciones que se presentan en esta guía deberían ayudar a los países ribereños del Océano Índico a establecer programas de alerta para sus centros nacionales y los proveedores regionales de vigilancia de tsunami. Esperamos además que este documento sirva de catalizador para el desarrollo de un concepto de operaciones para hacer frente a múltiples amenazas.

Muchos países reconocen que para reducir la vulnerabilidad y el peligro de futuros desastres como el tsunami de 2004 es esencial contar con un programa de alerta integral que permita hacer frente a múltiples amenazas. Es nuestra esperanza que este concepto de operaciones contribuya a los importantísimos esfuerzos que se han emprendido en la región del Océano Índico y los demás esfuerzos que se está realizando en otros lugares alrededor del globo. En conformidad con la Ley de Alerta y Educación sobre Tsunamis (*Tsunami Warning and Education Act*), NOAA promete su apoyo continuo a la comunidad internacional.

A handwritten signature in black ink that reads "Conrad C. Lautenbacher, Jr." in a cursive script.

Conrad C. Lautenbacher, Jr.  
Vicealmirante de la Armada de EE.UU. (jubilado)  
Subsecretario de Comercio para los Océanos y la Atmósfera y  
Administrador de NOAA

