a corto plazo generadas por fenómenos más efímeros como El Niño y las ondas de tormenta. Ahora bien, los centros de alerta contra los tsunamis también pueden necesitar sus propios mareógrafos para obtener interpretaciones en lugares estratégicos en los que no se dispone de otros datos y para recibir señales cuya calidad y carácter sean más adecuados para medir los tsunamis con fines de alerta.

Datos históricos sobre tsunamis y seísmos

Los centros de alerta han de disponer de un acceso rápido a los datos históricos sobre tsunamis y seísmos previos con objeto de contribuir a determinar si un seísmo procedente de una región concreta puede haber generado un tsunami, y si dicho tsunami puede tener repercusiones en las regiones costeras comprendidas en su ámbito de responsabilidad. Así, por ejemplo, es práctico saber si en una determinada zona de subducción se han producido en el pasado muchos seísmos de magnitud superior a 8 sin que ninguno haya generado un tsunami de importancia. También resulta útil conocer las medidas registradas por un mareógrafo concreto con respecto a los anteriores tsunamis con efectos destructivos o no destructivos procedentes de una región de origen determinada. Cuando existen, esos datos figuran en informes, catálogos, diagramas y unas cuantas bases de datos electrónicas, formatos que no son los ideales de cara a la facilidad y la rapidez de utilización por parte de los centros de alerta. Los proyectos como la Base Experta de Datos sobre Tsunamis, apoyada por el ITSU, pueden contribuir a que los datos resulten más prácticos y de acceso más fácil a los centros de alerta, a los científicos y a los administradores de situaciones de emergencia.

Los datos históricos sobre seísmos y tsunamis no están organizados ni son accesibles de una manera que resulte práctica a los centros de alerta. Se recomiendan los proyectos como la Base Experta de Datos sobre Tsunamis, que facilitan el rápido acceso de los centros de alerta y otros interesados a los datos históricos sobre tsunamis y a los datos sísmicos conexos disponibles en diversos formatos gráficos de gran utilidad.

Los datos de los mareógrafos no se almacenan de forma sistemática; tampoco se difunden después de cada tsunami producido en el Pacífico, en particular en el caso de los que no tienen efectos destructivos, que son los más numerosos. Estos datos son muy útiles para orientar la interpretación que dan los centros de alerta a los indicadores del nivel del mar durante los tsunamis ulteriores, y para la investigación. Hace falta confeccionar un plan eficaz para recopilar ese tipo de datos con posterioridad a cada fenómeno, registrarlos en un formato numérico común y facilitar el acceso a los datos vía Internet o gracias a otro medio electrónico.

Datos procedentes de modelos numéricos

Los centros de alerta empiezan actualmente a servirse de datos procedentes de modelos numéricos para orientar, en función de los parámetros del seísmo y de las lecturas registradas por los mareógrafos, las actividades de predicción de la magnitud de un tsunami surgido en su ámbito de responsabilidad.

Así, por ejemplo, para hacer frente al peligro que representan los tsunamis a escala nacional, el Japón prepara modelos del avance máximo tierra adentro de las olas originadas en seísmos hipotéticos de diversas magnitudes y profundidades situados frente a la costa en más de 1.000 puntos reticulares cercanos. De esa manera podrá crearse una base de datos relativos a la altura prevista de los tsunamis a lo largo de cada zona costera en relación con cualquier seísmo de origen local. La base de datos se utilizará con fines de alerta y de planificación. En caso de que se produzca realmente un tsunami, una vez determinados el hipocentro y la magnitud del seísmo podrán hallarse de inmediato en la base de datos la altura y la hora de llegada previstas, tras lo cual se difundirá una alerta de tsunami en que figuren dichos resultados. El JMA se propone poner en funcionamiento este nuevo método de predicción en la primavera de 1999.

El Centro de Alerta contra los Tsunamis de Alaska y la Costa Occidental ha elaborado igualmente un método de predicción de la altura de las olas basado en modelos numéricos. Se basa en tiempo real en los parámetros del seísmo y las medidas registradas por un mínimo de dos mareógrafos.

La mayor parte de los centros de alerta empiezan apenas a servirse de forma sistemática de datos procedentes de modelos numéricos con objeto de predecir los litorales a los que afectará una zona de origen concreta, la altura de las olas y el alcance máximo de las aguas en la fase de inundación tierra adentro. En vista del mayor grado de velocidad y precisión de las actuales técnicas de preparación de modelos, los centros de alerta han de hallar la manera de generar y emplear estos datos sintéticos a fin de reducir el número de alertas innecesarias y de facilitar orientación con respecto a las repercusiones que se prevén en su zona de responsabilidad.

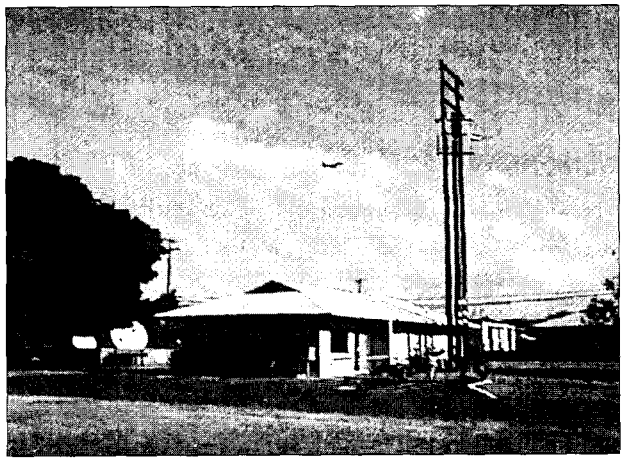
Otros tipos de datos

En determinadas ocasiones los centros de alerta contra los tsunamis tendrán necesidad de otros tipos de datos,

como es el caso, por ejemplo, de las erupciones volcánicas o los desprendimientos de tierras inminentes que se producen junto a una masa de agua. Cuando se dan estos tipos de fenómeno, que por lo general se gestionan cada cual por separado, el centro de alerta suele colaborar estrechamente con otro organismo al que corresponde una responsabilidad más directa en relación con el peligro principal.

Comunicaciones

Los sistemas de alerta contra los tsunamis exigen mecanismos de comunicación singulares y de amplio alcance. Deben enviarse datos sísmicos y relativos al nivel del mar desde lugares apartados que a menudo carecen de electricidad y de teléfono; los mensajes de alerta deben transmitirse con rapidez y con garantías de seguridad a suscriptores que cuentan con distintos mecanismos de acceso. Han de recorrerse distancias que oscilan entre un kilómetro escaso y decenas de miles de kilómetros. Para atender a estas necesidades hace falta disponer de diversos métodos de comunicación.



Las antenas de satélites geoestacionarios (a la izquierda, tapadas en parte por el árbol) y las antenas de radio de muy alta frecuencia (a la derecha, en la parte superior de la torre) forman parte del complejo sistema de comunicación del Centro de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico.

Acceso a los datos en tiempo real

Para que resulten útiles los datos sísmicos y mareográficos de que hacen uso los centros de alerta, debe garantizarse su recepción en tiempo real o prácticamente real. Con este fin se aplican numerosas técnicas de comunicación como la radio de muy alta frecuencia, las microondas, las líneas de tierra especializadas, el acceso por llamada telefónica, las conexiones continuas vía satélite, la transmisión programada vía satélite y las redes de paquetes. En algunos casos puede que haga falta recurrir a más de una técnica para entrar en comunicación con un lugar de acopio de datos. Aunque el circuito de comunicaciones puede suministrarse por medios comerciales, suele hacer falta equipo especializado para convertir los datos a un formato que se pueda transmitir por el circuito. Complica el problema de la comunicación de los datos el hecho de que los lugares de acopio pueden estar emplazados en zonas apartadas que no disponen de electricidad o de acceso a líneas telefónicas. En el caso de los tsunamis de origen cercano puede también que se corte la electricidad y el teléfono a causa del terremoto. En lo que respecta a los mareógrafos, que producen un volumen de datos muy reducido, la solución ha consistido en crear plataformas de acopio de datos que funcionan con energía solar transmitiendo los datos conforme a un programa regular por medio del Satélite Geoestacionario Operacional de Estudio del Medio Ambiente (GOES) de los Estados Unidos o del Satélite Meteorológico Geoestacionario (GMS) del Japón. También están en curso de preparación estaciones sismográficas inteligentes que son capaces de detectar seísmos de envergadura y que sólo necesitan transmitir unos cuantos bytes de datos paramétricos, a diferencia de las estaciones sismográficas normales basadas en un sistema de transmisión continua de datos.

En los centros de alerta debe estar garantizada la recepción en tiempo real o prácticamente real de datos fundamentales, sísmicos o relativos al nivel del mar. Los métodos y canales actuales de envío a los centros de alerta de datos procedentes de instrumentos sismográficos o mareográficos suelen ser complejos y costosos; debido a sus limitaciones no es posible en ocasiones instalar los sensores necesarios, sobre todo en los emplazamientos remotos. Hoy en día se dispone de muy diversos métodos nuevos de comunicación por medio de satélites, redes de fibra óptica y tecnologías de telefonía celular. Estos nuevos métodos, que requieren una revaluación continua de su adecuación a los problemas de comunicación de datos que experimenta el Sistema de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico, se han de adoptar cuando proceda. Han de elaborarse además instrumentos menos exigentes en materia de comunicaciones.

Difusión de mensajes

De igual importancia que las comunicaciones orientadas al acceso a los datos en tiempo real son los métodos de comunicación encaminados a hacer llegar con rapidez a los usuarios los mensajes de alerta e información de un centro. Pueden transmitirse de forma segura a oficinas de todo el mundo mensajes cortos mediante circuitos especializados como el Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT) o la Red de Telecomunica-

ciones Fijas Aeronáuticas (AFTN). También pueden difundirse mensajes a todo el mundo mediante circuitos comerciales como el télex. El correo electrónico sirve también para transmitir información con rapidez y seguridad a personas y oficinas de todo el mundo, pero este método resulta a veces menos fiable al depender de conexiones sobre las que los centros no ejercen control alguno. También pueden enviarse mensajes de alcance local o nacional sobre tsunamis por medio de circuitos de base textual o vocal creados con fines de defensa nacional u otro tipo de emergencia. Asimismo se pueden enviar mensajes por teléfono o por fax, métodos que resultan menos eficaces al requerir una conexión con cada destinatario por separado.

Los centros de alerta han de transmitir con rapidez y fiabilidad a las autoridades competentes situadas en el ámbito de responsabilidad que les corresponde sus mensajes de alerta contra los tsunamis y demás información conexa. Un sistema ideal de transmisión de mensajes facilitaría la difusión y la recepción rápidas y asequibles de textos y gráficos (como, por ejemplo, de diagramas del tiempo de propagación de un tsunami) en cualquier lugar de la región del Pacífico, transmitiría de forma simultánea un mensaje a diversos destinos, tendría la capacidad de enviar mensajes de alarma para avisar a los destinatarios de la posible necesidad de actuar de inmediato y exigiría a todos los destinatarios principales que transmitieran al centro un mensaje de acuse de recibo. Los métodos y canales actuales de envío de mensajes responden a estas características en diversa medida; ninguno es ideal. Hoy en día se dispone de muy diversos métodos nuevos de comunicación por medio de satélites, redes de fibra óptica y tecnologías de telefonía celular. Estos nuevos métodos, que requieren una revaluación continua de su adecuación a los problemas de comunicación de mensajes que experimenta el Sistema de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico, se han de adoptar cuando proceda.

Preparación

Esta categoría de actividades responde a la evaluación de los riesgos y a las alertas. Una buena preparación en caso de alerta de peligro inminente de tsunami exige saber qué zonas podrían inundarse (mediante mapas de inundaciones provocadas por tsunamis) y tener conocimiento del sistema de alerta para determinar cuándo hay que evacuar y cuándo es seguro volver. A falta de estos dos tipos de información, puede que la respuesta, al no ser adecuada, no sirva para mitigar las repercusiones del tsunami. También es fundamental que el público cuente con cierto grado de sensibilización y de entendimiento en materia de tsunamis. Con excepción de los casos en que se dispone de tiempo, medios y procedimientos para ordenar la evacuación con carácter obligatorio, para alejar con rapidez y de forma segura a la población de una zona que corre peligro de inundación y para facilitar su regreso en esas mismas condiciones hace falta que la propia población tenga cierto conocimiento del peligro. Así ocurre en particular en el caso de los tsunamis generados en una zona cercana, pues la alerta procede exclusivamente del temblor causado por el seísmo. Otro tipo de tarea de preparación se basa en la ordenación territorial encaminada a situar fuera de las zonas inundables las instalaciones importantes, como por ejemplo escuelas, comisarías de policía, departamentos de bomberos y hospitales. Otro mecanismo de preparación consiste en llevar a cabo obras de ingeniería orientadas a levantar construcciones que resistan los efectos de los tsunamis, a proteger los edificios existentes y a crear barreras defensivas contra los tsunamis, como por ejemplo diques y rompeolas.

Evacuación

Los planes y procedimientos de evacuación suelen prepararse y llevarse a cabo a escala local, pues se basan en un conocimiento minucioso de la población y de las instalaciones costeras que corren peligro, así como de los recursos locales que pueden destinarse al problema. Los tsunamis de origen cercano, que no dejan tiempo, o muy poco, para emitir una alerta formal, pueden traer aparejados daños causados por terremotos, mientras que con los tsunamis de origen lejano a veces se dispone de varias horas para prepararse antes de que lleguen las primeras olas. Por consiguiente los preparativos y procedimientos de evacuación han de ser distintos en uno y otro caso.

La mayor parte de las comunidades costeras del Pacífico no está preparada para evacuar de inmediato los litorales bajos en caso de seísmo tsunamigénico de origen cercano. Hace falta seguir preparando mapas de posibles inundaciones correspondientes a todos los litorales poblados que corran peligro de tsunami y seguir educando a la población amenazada en relación con los tsunamis de origen cercano, el peligro que representan y las medidas que debe adoptar de inmediato para proteger la vida propia en caso de tsunami.

Evacuación en caso de tsunami de origen cercano

Cuando es inminente la llegada de un tsunami de origen cercano, puede que no se cuente con más aviso que el temblor causado por el terremoto o un comportamiento poco habitual del océano. Las personas que corran peligro deberán reconocer las señales y desplazarse de inmediato y con rapidez hacia el interior, hacia un terreno elevado o hacia una zona que reúna ambas condiciones, pues puede que las olas destructoras hagan su aparición en cuestión de minutos o incluso antes. También existe la posibilidad de que los evacuados se vean obstaculizados por los efectos del terremoto, como por ejemplo desprendimientos de tierras y edificios y puentes venidos abajo que pueden dificultar su retirada. Para que resulte eficaz este tipo de evacuación rápida e improvisada hace falta que el público esté muy bien informado con respecto al peligro de los tsunamis. También es necesario que los funcionarios públicos planifiquen de antemano las zonas de evacuación en caso de tsunami y las rutas de evacuación seguras, y que elaboren y difundan los mapas correspondientes. Para fomentar un grado suficiente de educación pública y para elaborar mapas y procedimientos de evacuación es fundamental entender bien el peligro del tsunami y saber dónde hay más posibilidades de que el tsunami provoque inundaciones.

Muchas regiones del Pacífico no cuentan con procedimientos de evacuación eficaces para casos de tsunamis de origen lejano. En algunos casos la alerta no llega a las comunidades que pueden verse afectadas y, aun cuando la reciben, los administradores de situaciones de emergencia suelen tener un conocimiento imperfecto de la información sobre tsunamis anteriores o sobre tsunamis derivados de modelos o sobre las características del riesgo de tsunami en que debe basarse su decisión en materia de evacuación, o bien tienen un acceso limitado a dicha información. Para preparar los planes de evacuación hace falta disponer para todas las regiones costeras amenazadas, y sobre todo para los centros de población, de industria o de turismo, de mapas de las zonas inundables por tsunamis de origen lejano. Por lo general también son insuficientes los programas didácticos, y es posible que evacuaciones realizadas innecesariamente hayan desgastado la confianza en el sistema. Ha de hacerse frente a todos estos defectos a fin de llevar a cabo evacuaciones eficaces que sirvan para que no se pierdan vidas de forma innecesaria la próxima vez que surja un tsunami de envergadura que atraviese el Pacífico u otro tipo de tsunami de origen lejano.

Material didáctico sobre tsunamis y sobre el Sistema de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico, preparado y publicado por los Estados Miembros del GIC/ITSU y la COI.

Evacuación en caso de tsunami de origen lejano

En caso de tsunami de origen lejano, las autoridades cuentan con más tiempo para preparar una evacuación organizada. Una vez recibida de un centro de alerta la notificación en que se anuncia un tsunami y la hora en que se prevé la llegada de la primera ola, los funcionarios del lugar encargados de las situaciones de emergencia deciden si conviene proceder a evacuar. Esta decisión se funda, por una parte, en el conocimiento que aportan los datos históricos de casos anteriores o los procedentes de modelos con respecto a la amenaza que representa la región de origen de los tsunamis para las costas de la zona y, por otra parte, en otro tipo de información remitida por el centro de alerta en lo que respecta a la importancia del tsunami a medida que se aproxima. Se informa al público del peligro inminente y se le indican las modalidades, el trayecto y el momento de evacuación. Fuerzas locales designadas, como la policía, los bomberos o la protección civil contribuyen al cumplimiento de las instrucciones de evacuación. También pueden llevarse a la práctica determinados procedimientos encaminados a salvaguardar bienes, como por ejemplo el envío a alta mar de botes y barcos y la protección de instalaciones industriales situadas al borde del mar. La eficacia de las tareas de preparación se funda en los cálculos relativos a las posibilidades de inundación y a los demás efectos derivados de un tsunami de origen lejano. Se deberán

determinar las zonas y las rutas de evacuación a zonas seguras e instruir a la población en cuanto al peligro de tsunami y a los procedimientos de evacuación para que no decida quedarse en zonas peligrosas, internarse en ellas por curiosidad o regresar antes de que haya pasado completamente el peligro. Han de reducirse al mínimo las evacuaciones innecesarias para que el público no pierda la confianza en el sistema.

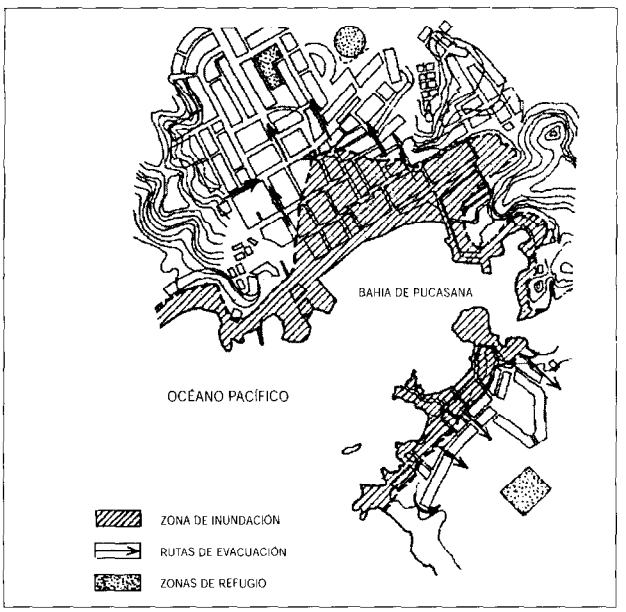
Educación

Para avanzar en materia de mitigación de los riesgos asociados a los tsunamis es esencial fundarse en planes encaminados a que el público en general, las autoridades municipales y los responsables políticos entiendan mejor las características de las olas de los tsunamis, los daños y la destrucción que pueden provocar y las medidas adecuadas que deben adoptarse para reducir los riesgos conexos.

Educación del público

La manera más eficaz de atender a las necesidades del público en general en materia de educación consiste en que cada Estado Miembro y cada localidad tenga presentes la lengua, la cultura, las costumbres del lugar, las prácticas religiosas, las relaciones que existen con la autoridad y los casos anteriores de tsunami.

El ITSU ha preparado y distribuido varios tipos de material didáctico encaminado a prestar asistencia a las actividades locales y a orientarlas. En un folleto en colores titulado Tsunami: The Great Waves figura información de carácter general sobre el fenómeno de los tsunamis y el peligro que representa, los sistemas de alerta contra los tsunamis, la investigación relativa al fenómeno y la manera de actuar en caso de tsunami. En un libro de historietas ilustradas titulado Tsunami Warning se recoge información semejante que va dirigida a los niños. Lo acompaña un cuaderno de ejercicios suplementario para uso de profesores y alumnos donde figura información fundamental más pormenorizada. Aunque el folleto y el libro de historietas ilustradas están escritos en inglés, actualmente se los está pasando a un formato que facilite la traducción a otros idiomas y la publicación de las traducciones. Chile acaba de publicar un juego de cuatro manuales en español provistos de guías del profesor, dedicados a los seísmos y los tsunamis y dirigidos a los alumnos de la enseñanza primaria y secundaria. En el Canadá se tradujeron posteriormente estos libros al inglés. Ya ha sido publicado y distribuido cada juego con el apoyo de la COI. Además, el ITIC se ocupa periódicamente de tareas de educación del público como responder a las preguntas que formulan los estudiantes y los particulares interesados, facilitar información a los medios de comunicación, a productores de televisión y documentales y a escritores, organizar conferencias dirigidas al público y prestar asistencia a otras organizaciones que cuentan con programas encaminados a educar al público con respecto a los tsunamis. El ITIC prepara asimismo una página de Internet donde figurará una amplia gama de información en materia de tsunamis de interés para el público en general y para los encargados de mitigar los efectos del fenómeno. Algunos Estados Miembros también ponen en práctica sus propios programas de educación pública sobre tsunamis.



Mapa de inundación y evacuación elaborado para la ciudad costanera de Pucusana (Perú).

Educación dirigida a encargados del funcionamiento de sistemas de alerta, administradores de situaciones de emergencia y responsables políticos

También se ha de atender a las necesidades en materia de educación de los encargados del funcionamiento de sistemas de alerta, los administradores de situaciones de emergencia y los responsables políticos. Puesto que los tsunamis, de origen tanto cercano como lejano, se dan con tan poca frecuencia en un litoral determinado, lo normal es que las personas que desempeñan estas importantes funciones tengan del fenómeno una experiencia personal previa escasa o nula en la cual fundar sus decisiones relativas a los preparativos o las medidas que han de adoptarse cuando surge un tsunami. Estas personas suelen depender casi exclusivamente de programas de formación o de la facilidad de acceso a información sobre tsunamis en general, sobre el peligro concreto que corre su ámbito de responsabilidad, sobre los sistemas de alerta y sobre las medidas de mitigación.