

Futuras estrategias de protección contra tsunamis y mareas meteorológicas extremas en la región Asia-Pacífico

Andrés Payo. Coordinador I+D+i, SIDMAR S.L., Benissa, Alicante España. apayo@sidmar.es

Shigeo Takahashi. Director General, Centro de Investigación sobre Tsunamis, PARI, Yokosuka, Kanagawa Japón. takahashi_s@pari.go.jp

Takashi Tomita. Director de Investigación, Centro de Investigación sobre Tsunamis, PARI, Yokosuka, Kanagawa Japón. tomita@pari.go.jp

Resumen: Se resumen las principales conclusiones alcanzadas durante los días 1 y 2 de Diciembre de 2007 tras la celebración del 4º Grupo de Trabajo Internacional sobre la Prevención de Desastres Costeros que tuvo lugar en Yokohama, Japón. El objetivo en esta ocasión fue el definir la futura estrategia de gestión de los desastres costeros asociados a tsunamis y mareas meteorológicas extremas en la región Asia-Pacífico. En particular se trataron los siguientes temas: (1) medidas contra las mareas meteorológicas extremas, (2) nuevas tecnologías de prevención y reducción de los desastres costeros, (3) la información como medida preventiva, y (4) lecciones aprendidas de recientes desastres. La colaboración internacional se sigue considerando clave para afrontar los futuros desastres costeros.

Abstract: The article provides a summary of the main conclusions reached at the 4th International Workshop on Coastal Disaster Prevention, held in Yokohama on 1-2 December 2007. The objective on this occasion was to define the future coastal disaster management strategy associated with tsunami and storm surges in the Asia-Pacific region. The following topics were discussed in detail: (1) countermeasures against storm surge disasters; (2) advanced technologies of Tsunami and storm surge disaster prevention/reduction; (3) information for disaster prevention; and (4) lessons from disasters. International collaboration continues to be one of the key elements to tackle future coastal disasters.

Introducción

Tsunamis y mareas meteorológicas extremas son dos de los principales agentes causantes de desastres costeros. Los tsunamis (del japonés ola de puerto) o maremotos son olas generadas por rápidas y extensas perturbaciones de la superficie del mar debidas a terremotos, erupciones volcánicas, desprendimientos de materiales o impactos de meteoritos. Las mareas meteorológicas extremas (en adelante MM) son elevaciones anómalas de la superficie libre del mar debido a la acción combinada de bajas presiones (aumenta 1cm de elevación por cada hPa que se reduce la presión atmosférica normal), acumulación de agua en la costa debida al empuje de los vientos (aumenta proporcionalmente a la velocidad del viento al cuadrado y con el inverso de la profundidad) y el aumento del nivel debido al oleaje generado por el viento (aumenta proporcionalmente a la altura de ola).

Desde el año 2004 se vienen celebrando los llamados Grupos de Trabajo Internacional para la Prevención de Desastres Costeros (en adelante GTIPDC). Estos consisten en dos días de sesiones técnicas intensivas donde ingenieros, investigadores y miembros de la administración se reúnen para compartir su experiencia y tecnología en la prevención de desastres costeros. La 1ª de estas reuniones tuvo lugar en el año 2004 en Kobe poco tiempo después del Tsunami que acabo con la vida de más de 200.000 personas en 11 países alrededor del Océano Indico [1]. Debido a los catastróficos resultados de un tsunami en zonas de bajo riesgo, y por lo tanto poco preparadas, se decidió iniciar estos grupos de trabajo en cada ocasión que tuviera lugar una catástrofe similar. La 2ª reunión tuvo lugar en Tokio en el año 2006 donde se completo el informe sobre los resultados del tsunami en el Océano Indico y se presentaron los primeros informes de campo tras los desastres asociados al Huracán Katrina que causo la

muerte a 1577 personas y produjo perdidas de mas de 25000 millones de dólares [1]. La 3ª reunión se celebro en Sri Lanka en 2007 donde se completó el informe de los daños causados por el Huracán Rita en las costas del Golfo de Méjico y el tsunami de las islas Salomón. La alta concentración de población, servicios e infraestructuras en la zona costera en todo el mundo junto con la subida del nivel de mar y el deterioro de las estructuras de protección garantizan desastres similares en el futuro.

Al final de cada reunión es costumbre debatir en una mesa redonda las principales conclusiones alcanzadas.

En la reunión de Tokio, se establecieron las bases de la estrategia de protección frente a desastres costeros. Las opciones ante una costa en peligro son limitadas [2], estas son: (1) reubicar las instalaciones e inversiones (presentes y futuras) lejos de la zona de riesgo y (2) proteger la costa mediante el uso combinado de medidas blandas (e.g., regeneraciones



Fig. 1. Ponentes y organizadores del 4to Grupo de Trabajo Internacional sobre prevención de desastres costeros, celebrado en Yokohama Dic 1-2, 2007.

de playas) o estructuras duras (e.g., diques, rompeolas). La opción de reubicar las instalaciones y servicios no es viable en zonas en donde la economía está fuertemente ligada a los especiales servicios que proporciona la zona costera o cuya densidad de población es muy elevada. La idoneidad de las regeneraciones de playas viene determinada por el valor (económico, medio-ambiental e histórico) de la zona de costa que se quiere proteger y la disponibilidad de material de calidad en cantidades adecuadas [3]. Por último, aunque la tecnología de protección mediante diques ha sido empleada con éxito, como en el caso de los Países Bajos, es aceptado que ante eventos extremos como el Huracán Katrina, las medidas de protección duras pueden verse superadas. Se concluyó entonces que, la mejor estrategia para la prevención de desastres costeros supone el estar preparados para el peor escenario posible. El peor escenario es definido como aquel en el que se produce el fallo de las defensas y es necesario llevar a cabo medidas de evacuación, rescate y posterior restauración de las áreas afectadas.

Ciudadanos, administraciones, investigadores e ingenieros han de trabajar de forma conjunta para establecer medidas de protección resilientes. En la ac-

tualidad no existe una definición cuantitativa de resiliencia lo que hace difícil su implementación. Cualitativamente, la Dra. Kong (ver sección V) definió resiliencia como la habilidad del medioambiente, de las personas o estructuras de volver a la operatividad previa al evento catastrófico. Aunque intuitiva en su concepción, la estrategia de estar preparados ante el peor escenario posible supone nuevos retos para todos. Entre algunos de estos retos se encuentran: para el gestor el decidir las medidas de restauración adecuadas con un presupuesto limitado, para el ciudadano cómo prepararse económica y socio-jurídicamente ante el peor caso y para los ingenieros e investigadores el definir el peor caso y sus consecuencias sobre las infraestructuras, servicios y medio-ambiente.

En la 4ª reunión que tuvo lugar en Yokohama, durante los días 1 y 2 de Diciembre de 2007 [4], gestores, ingenieros e investigadores de distintas nacionalidades (Figura 1) presentaron sus experiencias y el estado del arte de las tecnologías de reducción de pérdidas debido a tsunamis y mareas meteorológicas en la región Asia-Pacífico. Las ponencias se organizaron en cinco sesiones técnicas; (1) medidas contra las MM, (2) nuevas tecnologías de prevención y

reducción de los desastres asociados a tsunamis y MM, (3) la información como medida preventiva, (4) lecciones aprendidas de recientes desastres y (5) futuras estrategias de protección. Se concluyó con la habitual mesa redonda. La reunión fue organizada por el Instituto de Investigación en Puertos y Aeropuertos (en adelante este y los siguientes serán referidos por sus siglas en inglés, PARI), Instituto de Tecnología de desarrollo Costero (CDTI) y el departamento de Puertos del Ministerio de territorio, Infraestructura y Transporte (MLIT) de Japón.

En este documento se resumen las principales aportaciones de este encuentro, con la intención de divulgar sus contenidos entre la comunidad castellano-hablante. Se organiza en cinco secciones, coincidiendo con las cinco sesiones técnicas. Al inicio de cada sección se incluye una tabla con los ponentes, afiliaciones y títulos de las presentaciones. Se ha preferido nombrar las afiliaciones en inglés para facilitar al lector interesado su posterior localización. Se enumeran las principales ideas presentadas por cada ponente así como los contenidos de las discusiones durante el turno de preguntas. En la sección sexta se resumen las conclusiones finales y futuras líneas de trabajo presentadas durante la mesa redonda.

Medidas de prevención contra las mareas meteorológicas extremas

Fuad Hassan Mallick,
BRAC Univ., Bangladesh.
Prevención de desastres debidos
a ciclones y MM en en Bangladesh.
(fuad@bracuniversity.ac.bd)

Dong-Young Lee, Ocean Research and
Development Institute, Korea.
Prevención de desastres debidos a MM
en Korea. (dylee@kordi.re.kr)

Terry Healy, Univ. of Waikato,
New Zealand.

Experiencia en Oceanía.
(t.healy@waikato.ac.nz)

Billy Edge, Texas A&M Univ., USA.
Sistemas de protección tras el huracán
Katrina en EEUU. (b-edge@tamu.edu)

En esta primera sesión cuatro expertos presentaron las medidas de prevención contra desastres debidos a MM en diferentes regiones: Bangladesh, Corea, Nueva Zelanda y Estados Unidos de América.

Empezando la sesión el Dr. Fuad Hassan, director del programa de post-grado en Gestión de Desastres de la Universidad de BRAC, se desvió del programa original para informar sobre las características del ciclón Sdir que el 15 de Noviembre, 2007 (tan solo unas semanas antes de la celebración del grupo de trabajo) devasto la costa sur de Bangladesh. A día de celebración del GTIPDC las pérdidas humanas se estimaron en 3246 personas, 880 desaparecidos y más de 85000 afectados. Las pérdidas económicas ascienden a más de 800 millones de dólares americanos. El ciclón también supone otras pérdidas difíciles de cuantificar como son el número de horas perdidas de clase de los estudiantes. Durante el ciclón se registraron velocidades máximas de hasta 240km/h durante la bajamar. Los 1841 refugios situados en la costa oeste no se vieron afectados por el ciclón, poniendo de relieve la necesidad de crear más refugios (duplicar los existentes) en ubicaciones mas adecuadas.

El Dr. Hassan continuó con el programa inicial indicando que Bangladesh aunque sólo recibe un 1% de los desastres asociados a MM en el mundo, el número de fallecidos asciende al 53% del global.

No es un problema reciente, siendo el periodo entre los años 1961-1971 el más severo en la historia de Bangladesh. Pese a los limitados recursos en los últimos años se han podido reducir las perdidas significativamente. Las principales medidas que han ayudado a esta reducción son: (1) establecer un sistema de alarma rápido y que llegue a todas las familias en peligro, (2) planificar las actuaciones en caso de desastre a priori, (3) habilitar refugios, (4) evacuación hacia zonas seguras, (5) muros de protección y reforestación de las costas, (6) construcción de viviendas mas sólidas. Tras varios años de implementación, los gestores han aprendido importantes lecciones, entre éstas se encuentran: (1) resistencia por parte de los ciudadanos de evacuar y abandonar sus bienes, como por ejemplo las cabezas de ganado, por no estar los refugios habilitados para ellos, (2) un buen programa de actuación debe involucrar a organizaciones como la cruz roja, voluntarios locales y gobierno de forma conjunta, (3) los refugios suelen construirse en terrenos donados por los ciudadanos, que en el mejor de los casos esta lejos de las zonas de peligro y son por tanto poco efectivos, (4) la evacuación hacia zonas seguras es poco viable en Bangladesh formada por cientos de pequeñas islas, (5) las estructuras de protección, cuando existen, suelen estar mal diseñados o son prohibitivas de construir para la economía de Bangladesh, (6) el asegurar que, en las viviendas, al menos una habitación esta reforzada para resistir el temporal y donde la familia pueda refugiarse puede reducir significativamente las pérdidas humanas.

Continúo la sesión el Dr. Dong-Young Lee, investigador responsable del Instituto de Investigación y Desarrollo Oceanográfico de Corea (KORDI). Empezó clasificando las medidas de protección en medidas a corto plazo y a largo plazo. A corto plazo se debe disponer de un sistema de alarma que permita tomar las medidas de evacuación necesarias reduciendo así el número de pérdidas humanas. A largo plazo, basándose en predicciones de futuros eventos, se debe replantear el diseño de las estructuras de protección y me-

didias de actuación. En cualquier caso se requiere información precisa de los agentes meteorológicos forzadores y las medidas in situ de la posición de la superficie libre del nivel del mar.

Tras el Tifón Maemi, que afectó la costa SE de Corea en 2003, se han venido mejorando los sistemas de medidas. El Instituto Nacional de Meteorología (NORI) es el encargado de las medidas del nivel del mar. NORI ha mejorado la resolución temporal de medidas del nivel del mar de una hora a un minuto y minimizado los fallos del sistema durante eventos extremos. La administración Coreana de Meteorología (KMA) esta trabajando conjuntamente con NORI para predecir el campo de vientos y los efectos de las MM sobre los niveles del mar a nivel local. El Dr. Lee destacó la importancia de medir la onda larga resaltando la necesidad de medir la posición de la superficie libre en toda la banda de frecuencias. KORDI esta trabajando en un sistema de medida a nivel nacional basado en galgas de presión capaz de medir la posición de la superficie libre cada 0.5s. El nivel de riesgo de los mayores puertos en Corea esta siendo reevaluado incluyendo los últimos datos disponibles donde se incluye el efecto de la subida del nivel del mar. En este proceso, KORDI esta trabajando con PARI para mejorar la capacidad predictiva de los modelos acoplados de campo de vientos e hidrodinámicos.

Las medidas de protección contra desastres costeros en Nueva Zelanda fueron presentadas por el Dr. Terry Healy, profesor de la Universidad de Waikato. Aunque la geografía y condiciones meteorológicas en Nueva Zelanda son similares a las de Japón (abundantes bahías poco profundas y afectada por similares tifones), la estrategia de prevención de desastres se basa principalmente en una adecuada urbanización lejos de las zonas de riesgo que permiten la acomodación de los procesos de erosión/acreción naturales. Esta estrategia es posible gracias la baja presión por el recurso suelo en este país. Otras medidas adicionales incluyen soluciones sostenibles como la regeneración/protección de dunas y manglares.

Terminó la sesión el Dr. Billy Edge, director del Laboratorio de Ingeniería de Costas de la Universidad de Texas A&M, EEUU, hablando sobre los cambios en el diseño de las medidas de protección contra desastres debidos a MM en EEUU tras el Huracán Katrina. El nuevo sistema de diseño es el resultado de los resultados presentados por el panel de expertos encargados de analizar las causas de los fallos. El informe completo puede descargarse desde <https://ipet.wes.army.mil/> o, el sumario puede adquirirse desde www.asce.org/bookstore/book.cfm?bok=7244. Entre las lecciones aprendidas cabe destacar el fallo en entender, gestionar y comunicar el riesgo.

Tradicionalmente en EEUU los sistemas de protección contra MM han sido diseñados en base a la tormenta más severa probable para cada región. En la década de los 90 se popularizó el uso de las simulaciones empíricas para estimar la probabilidad (proporcional al periodo de retorno) asociado a la tormenta de diseño. El método se basa en el registro histórico de temporales para determinar los parámetros de diseños más severos y su probabilidad de ocurrencia. Esta aproximación se ve limitada por el número de temporales disponibles en el registro histórico. En otras palabras, la combinación de los parámetros meteorológicos y oceanográficos que pueden dar lugar a la peor tormenta puede no haber ocurrido en el pasado y, sin embargo, es físicamente plausible que ocurra en el futuro. El nuevo método de estimación de la tormenta de 100 años de periodo de retorno (1% de probabilidad de que ocurra cada año) evita esta limitación mediante el empleo de la distribución de probabilidad conjunta de los parámetros que caracterizan los temporales. Este es el método que se está empleando para reconstruir las mas de 643 km de muros de protección en EEUU.

El Dr. Edge reconoció que el diseño basado únicamente en el periodo de retorno es incompleto ya que no incluye información sobre el valor las pérdidas en caso de verse superadas los parámetros de diseño y producirse el fallo de la estructura. Propuso que en el futuro el diseño se base en el

riesgo máximo aceptable. Nótese que este método es similar al que ya se emplea en España en el diseño de obras marítimas [5]. El máximo riesgo aceptable es definido por un panel de expertos.

Llegados a este punto es importante que el lector entienda que si bien el riesgo puede ser objetivamente estimado y es de gran utilidad en la toma de decisiones, no existe (ni existirá) ningún otro sustituto del sentido común para decidir cuando este riesgo es aceptable para cada individuo.

Nuevas tecnologías de prevención y reducción de desastres asociados tsunamis y mareas meteorológicas extremas

Nobuhisa Kobayashi,
Univ. of Delaware, USA.

Estructuras para la protección contra mareas meteorológicas extremas.
(nk@udel.edu)

Panitan Lukkunaprasit, Chulalongkorn U., Thailand.

Investigación experimental de la carga asociada a Tsunamis en edificios con espacios libres. (ipanitan@chula.ac.th)

Solomon Yim, Oregon State Univ., USA.
Simulación de daño estructural debido a Tsunami.

(solomon.yim@oregonstate.edu)

Koji Fujima, National Defense Academy, Japan.

Simulación numérica de Tsunamis.
(fujima@nda.ac.jp)

Hiroyasu Kawai, PARI, Japan.

Simulación estocástica de marea meteorológica. (kawai@pari.go.jp)

En esta 2ª sesión cinco expertos presentaron los últimos avances en el desarrollo de las herramientas para el diseño de las medidas de protección contra tsunamis y MM.

En primer lugar Nobuhisa Kobayashi, profesor y director del Centro de Investigaciones Costeras Aplicadas de la Universidad de Delaware, EEUU, presento un modelo numérico promediado en el tiempo e integrado en profundidad para la predicción del rebase de estructuras costeras.

Comenzó la ponencia señalando que, para reducir las inundaciones por MM, la opción de aumentar la altura de cresta

de los muros y diques de protección no es siempre viable técnica y/o estéticamente. Otra alternativa es el reforzar la estructura de modo que permita acomodar el rebase durante las situaciones de temporal mas severas de modo que se permitan fallos menores pero no catastróficos de las estructuras de protección. El primer paso hacia el diseño de estas estructuras es el estimar las tasas de rebase debido a la combinación de marea astronómica, MM y oleaje. Presentó los resultados de comparar las tasas de rebase medidas en 107 ensayos a escala reducida. El modelo se basa en las ecuaciones promediadas en el tiempo e integradas en profundidad de continuidad, momento y acción del oleaje [6]. El modelo calcula la media y desviación estándar de la superficie libre y la velocidad de una corriente estacionaria en sentido hacia tierra en presencia de oleaje irregular. El modelo es capaz de reproducir con un factor 2 de incertidumbre las tasas de rebase. El modelo necesita incorporar los procesos de erosión y rotura de diques de materiales sueltos para futuras aplicaciones ingenieriles.

Continuó la sesión el Dr. Panitan Lukkunaprasit, profesor de la Universidad de Chulalongkorn (Tailandia), hablando sobre la importancia de las aberturas en los edificios para mejorar la resistencia ante tsunamis. El estudio fue motivado tras el devastador tsunami del océano Índico del 2004 cuando se observó que la mayoría de las edificaciones que no colapsaron presentaban amplias aberturas (puertas y ventanas) en los muros de ladrillos. Aquellos edificios que resistieron sirvieron de refugio a numerosas familias.

Se realizaron ensayos en canal de oleaje a escala reducida (modelo de edificio cúbico de 50cm de lado). Se midieron las fuerzas ejercidas por el impacto del frente del tsunami sobre el lado aguas-arriba de edificios que presentaban 0%, 25% y 50% en superficie de aberturas. Se observó que la fuerza máxima medida era independiente de la presencia de aperturas. Las fórmulas propuestas en FEMA 55 (<http://www.fema.gov/rebuild/mat/fma55.shtm>) predicen la fuerza máxima, del lado de la seguridad, siempre que se use

la máxima velocidad del flujo para su cálculo. Por otro lado, la fuerza promediada en el tiempo medida en el lado aguas arriba se reduce en un factor similar al % de aperturas. Las fuerzas ejercidas en el lado aguas-abajo, los efectos de escala así como las fuerzas asociadas al impacto de objetos son el objeto de futuros ensayos.

El Dr. Solomon Yim, profesor de la Universidad del Estado de Oregón (en adelante, UEO) en Corvallis (EEUU), presento los últimos avances en el modelado numérico de las interacciones fluido-estructura-sedimento. En un proyecto de colaboración entre la Universidad de Hawai, la Universidad de Princeton, la UEO y administraciones se está trabajando en el desarrollo de una guía de diseño de estructuras costeras resistentes a tsunamis.

Los modelos de propagación del tsunami, rugosidad del fondo y erosión están siendo desarrollados por la Universidad de Hawai y Princeton, mientras que los modelos de impacto del oleaje e interacción fluido-estructura están siendo desarrollados simultáneamente por la U. de Hawai y la UEO. Los modelos numéricos serán validados experimentalmente en tanque de tsunami (50m x 26.5m x 2m) y canal de oleaje (104m x 4m x 5m). Ya se han comenzado algunos experimentos que concluirán en el año 2009. Durante los ensayos además de medir las fuerzas sobre las estructuras se medirá la superficie libre en las proximidades de las estructuras mediante el uso combinado de video-imágenes y medidas láser.

Siguiendo con la simulación numérica de tsunamis continuo el Dr. Koji Fujima de la Academia Nacional de Defensa de Japón. En su presentación analizo la importancia de incluir la dispersión (olas de distinta altura viajan a distinta velocidad) en los modelos de propagación de tsunamis trans-oceánicos. La motivación de este análisis es comprobar si la dispersión podía explicar varias olas en rotura grabadas por un turista en Khao Lak (Tailandia) cinco horas después del terremoto de Diciembre 2004 (Tsunami del Océano Indico). El origen de estas olas no está claro, mientras algunos investigadores lo asocian a una

combinación de procesos no lineales y dispersión [7], otros lo asocian a fenómenos de reflexión. La importancia de aclarar los mecanismos es doble, por un lado para estimar las fuerzas asociadas al tsunami adecuadamente y por otro para reducir los tiempos de computación (tiempo de computación es unas 50 veces superior cuando se incluye la dispersión).

El Dr. Fujima, presentó los resultados de la simulación con y sin dispersión del tsunami de 2004 en las costas de Sri Lanka y Tailandia. Comenzó indicando que la importancia de la dispersión se ve afectada en función del modelo de falla que se asuma. Si se asume que la fractura se produce de forma instantánea (velocidad infinita) los efectos de la dispersión son significativos. Sin embargo cuando se asume de velocidad finita (1 km/s) la dispersión es casi despreciable. Ya que el caso de velocidad finita reproduce mejor la superficie libre medida por el satélite Jason 1 se seleccionó este para correr las simulaciones. En ambas regiones las simulaciones de la superficie libre resultaron similares con y sin el efecto de la dispersión incluida, por lo que concluyo que las olas observadas deben estar asociadas a otros fenómenos como reflexión y/o refracción y no dispersión.

Terminó la sesión el Dr. Hiroyasu Kawai, investigador del PARI, hablando sobre la predicción estocástica de MM en Japón. Comenzó la presentación introduciendo los tres problemas en los que se necesita realizar una predicción de la MM: (1) rápida estimación de la magnitud y duración de la MM previos días antes de su llegada, (2) predicción de detalle para determinar de forma determinista los niveles de diseño y (3) estimación probabilística para determinar los niveles de riesgo en cada área. El debate se centró en este último problema y su aplicación a las áreas mas pobladas de Japón: Tokio, Nagoya y Osaka.

En la actualidad se emplea el Tifón Vera (1959) como tifón de referencia para el diseño de las medidas de protección contra MM en Japón. La predicción estadística para los próximos 500 años mediante el uso combinado de simulación de Monte-Carlo y un modelo de MM [8]

predice la ocurrencia de algunos tifones mas intensos que el tifón de diseño. El método estadístico permite también estimar la probabilidad de ocurrencia del tifón más severo. Los niveles de diseño estimados para Tokio, Nagoya y Osaka son de 5.7m, 5.9m y 4.8m sobre el nivel mínimo de marea registrado en Tokio. Estos niveles se corresponden con periodos de retorno de 10.000 años en Tokio y del orden de 100 años en Nagoya y Osaka, mientras que en los países bajos oscilan entre 10.000 y 1.250 años.

La información como prevención de desastres

Yoshiyuki Kaneda, JAMSTEC, Japan.
Red avanzada de observación de terremotos y Tsunamis sobre el fondo marino en los alrededores de la garganta de Nankai, Japón. Hacia el entendimiento de los mega-terremotos, II parte. (kaneday@jamstec.go.jp)

Toshihiko Nagai, PARI, Japan.
Desarrollo de la red de observación de Tsunamis mediante boyas GPS alrededor de Japón. (nagai@pari.go.jp)

Yohei Hasegawa, Japan Meteorological Agency,
Recientes avances en la predicción de Tsunamis en Japón.
(yhasegawa@met.kishou.go.jp)

Fusanori Miura, Yamaguchi Univ., Japan
Alerta del desastre en la información a la comunidad. (miura@yamaguchi-u.ac.jp)

Takahasi Tomita, PARI, Japan
Mapeado dinámico de los riesgos usando el modelo numérico STOC.
(tomita@pari.go.jp)

Katsuya Oda, Inst. for Land and Infrastructure Management, Japan.
Tecnología de la información para el aviso de la evacuación.
(oda-k92y2@ysk.nilim.go.jp)

Un sistema de alarma rápido, fiable y que llegue eficazmente a toda la población es uno de los factores clave para reducir las pérdidas humanas debido a tsunamis y MM. En esta sesión se presentaron los últimos avances en esta línea.

En primer lugar Yoshiyuki Kaneda, de la Agencia Japonesa de Ciencias de la Tierra y Tecnología introdujo la red de

medidas de terremotos y superficie libre que se está implementando en la Garganta de Nankai (Japón).

La Garganta de Nankai, situada en la costa este de Japón a lo largo de la isla de Shikoku hasta Osaka, es conocida por generar mega-terremotos cada 100-150 años. Ésta zona, junto con la zona de Tonankai (adyacente hacia el norte de la anterior) forman la zona sísmo-génica de Japón. Entender las deformaciones en esta zona y tsunamis asociados es necesario para alertar y predecir posibles catástrofes. El sistema de medida consiste en una red de 20 sensores de presión y 20 sismómetros de banda ancha. El sistema se conecta a tierra con un cable formando un bucle que permite la transmisión de información en dos direcciones aumentando su fiabilidad durante terremotos. Los sensores se conectan a un nodo reemplazable que facilita el mantenimiento y reparación en caso de avería. Operaciones de mantenimiento mediante el empleo de vehículos no tripulados y asistencia remota se llevarán a cabo rutinariamente para asegurar su funcionamiento. En el futuro, si el presupuesto lo permite, se espera implantar este sistema en toda la costa japonesa.

Continúa la sesión Toshihiko Nagai, investigador del PARI, hablando sobre el uso de boyas GPS para la detección temprana de tsunamis. Las boyas presentan la ventaja frente a los sistemas sumergidos, como el presentado por el Dr. Kaneda, en que son más baratos de instalar y mantener y se pueden instalar en aguas más profundas. Como inconveniente presentan que al estar la boya sometida a las oscilaciones debida no solo a oleaje, si no también viento y corrientes, requieren de un procesamiento de la señal más intensivo.

Las oscilaciones de la boya, recogidas por el GPS y corregidas empleando el método cinemático en tiempo real, pueden ser usadas para registrar el oleaje direccional ($\pm 10\text{cm}$ de precisión vertical) y vientos, además de sistema de alerta de tsunamis. Basado en esta

filosofía el Dr. Nagai mostró la red de boyas GPS necesaria para proveer de un sistema de alarma en todo el territorio Japonés. La distancia óptima entre boyas a lo largo de la costa oscila entre 50km a 100km (aproximadamente la mitad de la longitud del movimiento sísmico que puede originar tsunamis en Japón). El periodo de los tsunamis es del orden de decenas de minutos y se propagan a velocidades del orden de centenas a miles de metros por segundo. Debido a esto, la alarma de tsunami no puede esperar al registro del periodo y altura de la primera ola. El Dr. Nagai propuso un sistema de alarma en tres etapas. El oleaje de viento, marea astronómica y ondas largas han de ser eliminadas previamente del registro. Cuando el nivel del mar filtrado supera un umbral crítico, se inicia el primer paso de alarma. El segundo se da cuando se registra el máximo nivel de la primera ola. El tercer paso, finaliza estimando el periodo tras el segundo paso ascendente por cero. El sistema puede ser usado satisfactoriamente para medir oleajes de entre 6 a 30 segundos. Oleajes de mayor o menor frecuencia son complicados de analizar debido a la frecuencia de respuesta de la boya y la lenta deriva de la boya, respectivamente.

Seguidamente el Dr. Yohei Hasegawa, de la Agencia de Meteorología de Japón, explicó como en los últimos diez años han podido reducir el tiempo de alarma por tsunamis de cinco minutos a tan sólo dos minutos, sin aumentar el número de falsas alarmas significativamente. La Agencia de Meteorología encargada de dar la alarma por tsunami en Japón proporciona información sobre tiempos de llegada y alturas de tsunami estimadas. El método se basa en la generación de una base de datos (del orden de 100.000 casos) de posibles tsunamis y simulaciones por ordenador de su propagación. Si bien el método es para Tsunamis generados cerca de la costa, no se espera que reemplace a las tradicionales observaciones para el caso de tsunamis genera-

dos lejos de la costa. Para eliminar falsas alarmas se emplea el método del Centroide del Tensor de momentos, que estima el mecanismo focal y la magnitud del sismo. El primer aviso, donde se asumió el mecanismo focal y se estimó rápidamente la magnitud, es corregido entre 10min a 20min.

A continuación el Dr. Fusanori Miura, profesor de la Universidad de Yamaguchi (Ube, Japón), compartió su experiencia personal durante el tifón No. 5 en 2007, que azotó Ube, su ciudad de residencia. Tras el tifón No. 18 en 1999 que provocó importantes pérdidas humanas y materiales en la provincia de Yamaguchi, el gobierno de Yamaguchi revisó los niveles de diseño de las estructuras de protección, estableció un sistema de medidas de niveles en ríos, puertos y presas y de precipitación que da información pública-actualizada online (http://ybousai.pref.yamaguchi.jp/OP04_10_f00.html), y elaboró un mapa de riesgos que posteriormente distribuyó entre los ciudadanos. Estas son las medidas estándar de protección que se suelen tomar, pero en la ciudad de Ube tienen un sistema de alarma muy particular a la vez que efectivo. Se trata de una emisora de radio local dirigida por los ciudadanos. Antes de que el tifón No. 5 alcanzara la costa, el profesor Miura comprobó los niveles del puerto e informo a los ciudadanos mediante la emisora local. Esta emisora está conectada con la central de gestión de desastres en Yamaguchi en todo momento, pudiendo dar información actualizada y rigurosa sobre la situación.

Seguidamente, el Dr. Takahasi Tomita, director de investigación del Centro de Investigación sobre Tsunamis en el PARI (Japón), habló sobre la importancia de presentar adecuadamente los resultados de las simulaciones numéricas de tsunamis. Empezó reconociendo que aunque aún se está trabajando en el desarrollo de modelos de propagación de tsunamis para incluir fenómenos como el impacto de cuerpos flotantes contra estructuras [9], éstos modelos son muy útiles para la elabora-

ción de mapas de riesgo que sirven para informar a los ciudadanos sobre las rutas de evacuación y zonas de refugio. Estos mapas se han demostrado fiables sin embargo se he encontrado resistencia a evacuar por parte de algunos sectores de la población aun conociendo el mapa. El Dr. Tomita cree que mostrando simulaciones dinámicas, como videos, de los efectos de un tsunami en cada vecindario es una medida efectiva de hacer entender a los ciudadanos la magnitud e intensidad de un tsunami en su barrio. Si bien existen tecnologías de animación muy avanzadas que permiten generar estos videos de forma realista, son caros de implementar en cada vecindario. Como alternativa el Dr. Tomita propuso el uso de mapas dinámicos, generados mediante la superposición de imágenes simuladas por ordenador. Esta simple técnica mejora la comunicación entre ciudadanos y expertos.

Finalmente el Dr. Katsuya Oda, del Instituto de Gestión del territorio e Infraestructura de Japón, habló con detalle sobre la reticencia de los ciudadanos a evacuar y como mapas interactivos pueden aumentar el porcentaje de evacuados. Los porcentajes de evacuados son muy bajos en Japón del orden del 10%. El Dr. Oda explicó este bajo porcentaje debido a la tendencia de los ciudadanos a auto-convencerse de que ellos están a salvo, pese a las repetidas alarmas de evacuación. Esta actitud se soporta en ideas estereotipadas de otros tsunamis, en otras localidades o tsunamis históricos no catastróficos. Para eliminar falsa sensación de seguridad, el Dr. Oda propuso el uso de mapas interactivos de evacuación. En estos mapas se simulan los niveles de inundación y cortes de vías de evacuación debidos a fuegos u otras causas. Los mapas son específicos de cada localidad, y los emplean los miembros de la administración y grupos de voluntarios para incentivar a la población a evacuar. En la actualidad este sistema esta siendo empleado en la costa de la ciudad de Kochi, zona de riesgo de grandes tsunamis.

Lecciones aprendidas

Tomotsuka Takayama, CDIT, Japan.
Características de los desastres por mareas meteorológicas en Japón.
(takayama@cdti.or.jp)

Fumihiko Imamura, Tohoku U., Japan.
Los desastres asociados a Tsunamis y el plan integral de contramedidas en Japón.
(imamura@tsunami2civil.tohoku.ac.jp)

Subandono Diposaptono,
Ministry of Marine Affairs
and Fisheries, Indonesia
Hacia un plan de mitigación integral
contra Tsunamis en Indonesia.
(sbdn@cbn.net.id)

Nimal Wijayarathna,
Ruhuna Univ., Sri Lanka.
Evaluación del riesgo asociado a
Tsunamis de la ciudad portuaria
de Galle en Sri Lanka.
(nimal@cee.ruh.ac.lk)

En esta sesión cuatro expertos hablaron sobre las lecciones aprendidas de los desastres ocurridos en el pasado y cómo estas lecciones pueden ser implementadas en el presente para mitigar los efectos de los tsunamis y MM.

El Dr. Tomotsuka Takayama, director de gestión del Instituto de Tecnología para el Desarrollo de la Costa de Japón, comenzó la sesión explicando las particularidades naturales y antrópicas que hacen que los desastres costeros debidos a MM en Japón sean diferentes a los de EEUU o Bangladesh.

Desde el punto de vista geomorfológico, los desastres asociados a MM en Japón se concentran en pequeñas bahías semi-cerradas (aproximadamente de 50km largo, 30km ancho). La magnitud de la MM en estas bahías alcanza valores máximos de 3.5m, aproximadamente la mitad de los 6m en el Golfo de México o Bangladesh que presentan grandes extensiones (del orden de 100km) de costas abiertas poco profundas. Desde el punto de vista antrópico, la mayoría de los grandes puertos en Japón se encuentran en la parte mas abrigada de es-

tas semi-bahías. Los troncos de madera en el pasado, y los contenedores en el presente que se almacenan en estos puertos se convierten en peligrosos objetos a la deriva durante temporales. El bombeo de agua subterránea para suministro de las empresas, que se lleva haciendo desde los años treinta ha provocado subsidencia del terreno reduciendo la altura efectiva de los muros de protección. A esto se le añade el deterioro de los mismos (mas de 40 años de antigüedad) y la creación de una ciudad subterránea donde se concentran transportes y centros comerciales. Concluyó la presentación indicando que la seguridad de más de 4 millones de ciudadanos que viven en zonas bajas no es satisfactoria.

Continúo la sesión el Dr. Fumihiko Imamura, profesor de la Universidad de Tohoku (Japón), remarcando la importancia de tanto las medidas estructurales como las no-estructurales para mitigar las pérdidas humanas debidas a tsunamis en Japón. Estas medidas han sido ya mencionadas por otros ponentes. Sin embargo, el Dr. Imamura presento los datos de porcentaje de población que evacuó tras la alarma de tsunami durante los desastres de Java (2006), Kuril (2006/07, Japón), Islas Salomón (2007) y Sumatra (2007). Estos fueron de menos del 20%, 10%, entre 40%-70% y mas del 90% respectivamente.

El programa integrado de prevención de desastres asociados a tsunamis en Indonesia fue presentado por el Dr. Subandono Diposaptono, del Ministerio de asuntos Marinos y Pesquerías y director del programa de Prevención de Desastres Costeros y Contaminación Marina de la Republica de Indonesia. De su presentación cabe destacar la ley No. 24/2007 para la Gestión de Desastres y la ley No. 27/2007 para la Gestión de la Costa y pequeñas islas. Estas dos leyes proporcionan a Indonesia una sólida base legal sobre la que desarrollar los programa de prevención de desastres. De acuerdo con

la ley No. 27/2007 la reducción de desastres debe ser institucionalizada mediante programas a nivel nacional y local, para garantizar la sostenibilidad de los programas en relación a coordinación y presupuestos. Esta ley hace obligatorio la participación de los administradores y ciudadanos en la reducción de pérdidas, reduciendo así los posibles conflictos de intereses debidos a diferencias entre el gobierno local y nacional. Señaló también la necesidad de trasladar la ley No. 24/2007 a regulaciones más operativas a todos los niveles administrativos.

Terminó la sesión el Dr. Nimal Wijayaratna, profesor de la Universidad de Ruhuna (Sri Lanka), explicando cómo se puede estimar el riesgo asociado a Tsunamis cuando el registro histórico es escaso y no permite una aproximación estadística, como es el caso de la ciudad portuaria de Galle en Sri Lanka.

El tsunami de Dic. 2004 provocó importantes pérdidas humanas y materiales, en una ciudad poco preparada para hacer frente a estos desastres. Tras el desastre, se propuso la elaboración de un mapa de riesgos asociados a tsunamis. El riesgo se estimó como una combinación del peligro de inundación y vulnerabilidad.

Dado que este ha sido el único tsunami del que se tiene información en la ciudad, y siendo un tsunami transoceánico, se asumió que los patrones de inundación observados pueden representar las zonas de peligro adecuadamente para futuros tsunamis. Como resultado, el mapa resultante incluye los niveles de inundación, pero no el periodo de recurrencia (o probabilidad). La estimación de la vulnerabilidad involucra numerosos aspectos del medio físico-natural, socio-económico y jurídico-administrativo que no son siempre fácilmente cuantificables. Se optó por limitarse a los factores del medio físico, que suelen ser objetivamente cuantificables. El mapa de riesgo asociado a tsunami resultante se consigue del solape del mapa de peli-

gros (niveles de inundación) y vulnerabilidad. Cuatro niveles de riesgo (nulo, bajo, medio y alto) fueron identificados en el mapa y están siendo empleados para ayudar a los ciudadanos y administradores en su toma de decisiones.

Estrategia futura para la prevención contra desastres costeros

Masahiko Isobe, Tokyo Univ., Japan.
Estrategia para la reducción los desastres por marea meteorológica.
(isobe@k.u-tokyo.ac.jp)

Yoshiaki Kawata, Kyoto Univ., Japan.
Estrategia para la reducción de desastres asociados a Tsunamis.
(kawata@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp)

Laura Kong, Int. Tsunami Information Center.
Estrategia global para la prevención de desastres asociados a Tsunamis.
(l.kong@unesco.org)

En esta última sesión técnica tres expertos presentaron su visión sobre la estrategia futura para la prevención de desastres costeros asociados a MM y tsunamis a nivel local, nacional e internacional.

Comenzó el Dr. Masahiko Isobe, profesor de la Universidad de Tokio (Japón), hablando sobre la estrategia de protección contra MM en Japón.

Japón necesita de estructuras de protección contra MM en unos 15.000km de costa (la mitad de su longitud), mientras que en la actualidad sólo dispone de 9.500km construidos. Tras el último informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, la subida del nivel del mar e intensificación de los temporales es globalmente aceptado. Sin embargo la dificultad de predecir los niveles de diseño a largo plazo puede suponer un gasto excesivo en el limitado presupuesto del estado Japonés. Como estrategia futura el Dr. Isobe propuso la elevación de la cota de corona-

ción de las estructuras de protección de forma adaptativa. A medida que se vayan recogiendo mas información sobre la subida del nivel y niveles de diseño, se irá aumentando la altura de cresta. Sin embargo, se debe entender que estas estructuras pueden ser rebasadas y se debe estar preparado para esta situación. Otras medidas estructurales son el uso de vías de ferrocarriles y carreteras como protecciones secundarias.

La estrategia de protección contra tsunamis fue presentada por el Dr. Yoshiaki Kawata, del Centro para la Prevención y Reducción de Desastres de la Universidad de Kioto (Japón) y posteriormente reafirmada por la Dra. Laura Kong, directora del centro de Información Internacional de Tsunamis en Hawai. Contra tsunamis la mejor estrategia es tener un sistema efectivo de alarma. La Dra. Kong, definió un sistema de alerta efectivo como aquel en el que todas las personas en zonas costeras vulnerables están preparadas para responder apropiadamente y a tiempo tras reconocer que un tsunami potencialmente destructivo puede estar aproximándose. Apunto también, que mientras el sistema de alarma en el Océano Índico esta siendo desarrollado con extrema urgencia, cada cuenca oceánica o mar puede sufrir el impacto de un tsunami, el cual puede ocurrir en cualquier momento sin ningún aviso.

Hasta el año 2005 no existía sistema de alarma por tsunami fuera del Océano Pacífico. La Comisión Oceanográfica Internacional (IOC) lidera los esfuerzos coordinados para establecer una red de alerta global. El antiguo sistema del Pacífico esta siendo actualizado y nuevos sistemas están siendo construidos en el Océano Índico, Caribe, Atlántico norte y Mediterráneo. De cualquier modo, señaló que de nada sirve un sistema de alarma si la población no ha sido previamente preparada para responder a la alerta (www.tsunamiwave.info).

Discusión final

Moderador:

Shigeo Takahashi, PARI, Japan

Subandono Diposaptono,

Ministry of Marine Affairs and Fisheries,
Indonesia

Fumihiko Imamura, Tohoku Univ., Japan

Laura Kong, Int. Tsunami Information
Center

Masahiko Isobe, Tokio Univ., Japan

Yoshiaki Kawata, Kyoto Univ., Japan

Al final de las sesiones se celebró una mesa redonda donde, primero los ponentes seleccionados, luego los moderadores de cada sesión y finalmente los asistentes compartieron sus impresiones. En esta sección, se describen brevemente las conclusiones más novedosas evitando repetir en exceso lo ya comentado.

El Dr. Diposaptono invitó a los asistentes y organizadores a realizar un proyecto de cooperación conjunto donde administradores, técnicos y ciudadanos puedan aprender de las mejores técnicas de prevención de desastres costeros. Como posible candidato seleccionó Bangladesh por el alto número de pérdidas humanas

asociado a desastres costeros y su imperativa necesidad de desarrollo.

La Dra. Kong propuso una definición cualitativa del término resiliencia (presentado en la introducción) y apoyó la propuesta del Dr. Diposaptono de llevar todas las ideas discutidas durante el GTIPDC a la práctica en un proyecto de colaboración internacional.

El Dr. Billy Edge formuló varias preguntas que deben ser respondidas con urgencia, entre las que destaca la de cuál es el riesgo máximo aceptable.

El Dr. Kawata señaló que cada vez más empresas se están interesando en cómo prepararse ante desastres como el terremoto de Kobe. Es importante el entender que no existe ninguna panacea contra desastres sino más bien hay que trabajar hacia una situación de balance entre las condiciones antes y después del desastre.

El Dr. Imamura identificó tres debilidades: (1) falta de sistemas de alarma en el océano Índico, (2) escasa o nula representación en el GTIPDC de científicos de la rama social y (3) falta de entendimiento entre residentes y administradores en la toma de decisiones.

El Dr. Isobe propuso una nueva filosofía para eliminar la resistencia de algunos ciudadanos a evacuar bajo la excusa de que la alarma puede ser una falsa alarma. Esta consiste en explicar a los ciudadanos que la probabilidad de que sea una falsa alarma está directamente relacionada con la probabilidad de su supervivencia. Conocida esta probabilidad el ciudadano deberá decidir si el riesgo es asumible o es mejor evacuar.

El Dr. Kobayashi, desde la audiencia preguntó sobre cómo se están preparando los sistemas educativos universitarios para satisfacer la necesidad de técnicos que den solución a estos problemas. Puso como ejemplo algunas universidades en EEUU que están incluyendo una formación más generalista en sus técnicos incluyendo las a menudo olvidadas ciencias sociales en los programas educativos. El Dr. Payo, apuntó que en la actualidad es difícil mantenerse actualizado incluso en ramas muy especializadas por lo que este tipo de técnicos pueden no ser competitivos al no estar correctamente actualizados. Como alternativa, propuso el incluir en los programas académicos para técnicos cursos de negociación/comunicación entre pares, con administradores y con los ciudadanos. ◆

Referencias:

- [1] Darlymple, R.A., y Kriebel, D.L., (2005). "Lessons in Engineering from the Tsunami in Thailand". The Bridge, Vol. 35(2), pp 4-13.
Disponble online en <http://www.nae.edu/nae/bridgecom.nsf/weblinks/MK-EZ-6DFQZW?OpenDocument>
- [2] Dean, R.G., y Darlymple, R.A., (2002). "Coastal Processes with Engineering Applications". Cambridge Univ. Press. United Kingdom, 475 pp.
- [3] Payo, A., Kobayashi, N. and Kim, K. (2006). "Beach renourishment strategies". 30th Coastal Engineering Conference, World Scientific, Vol. 4, pp 4129-4140.
- [4] Libro de ponencias del 4º Grupo de Trabajo Internacional en Prevención de Desastres Costeros. Yokohama, Dic, 1-3, 2007. (En Inglés)
- [5] ROM 0.0. Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de obras Marítimas y Portuarias. Puertos del Estado.

- [6] de los Santos, F.J., Kobayashi, N., Meigs, L.E. and Losada, M.A. (2005). "Irregular Wave Runup and Setup on Porous Structures," Journal Ingenieria Civil, 140, 75-83.
- [7] Matsutomi, H., Sakakiyama, T. Nugroho, S., Matsuyama, S., (2006). "Aspects of Inundated Flow due to the 2004 Indian Ocean Tsunami", Coastal Engineering Journal, 48(2), pp. 167-195.
- [8] Kawai, H., Takahashi, S., Hiraishi, T., Hashimoto, N., Matsuura, K., (2007). "Lessons learned from recent storm surge disasters and estimation of extreme tidal levels for coastal defense performance by using stochastic Typhoon model". Proc. of Int. Conf. on Ocean and Polar Eng., vol. 3, pp. 1792-1799.
- [9] Tomita, T. y Honda, K. (2007). "Tsunami estimation including effect of coastal structures and buildings by 3D Model". Proc. Coastal Structures, ASCE, Venice, 2007 (in press).