

## **NOTAS**

## LOS DESASTRES NATURALES Y EL RIESGO DE TSUNAMIS. EL TSUNAMI DE INDONESIA DEL 26 DE DICIEMBRE DE 2004

María Lourdes Campos Romero  
Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio  
Universidad de Castilla-La Mancha

### RESUMEN

Uno de los riesgos naturales más terribles en razón de su inevitabilidad y por los efectos catastróficos que produce, son los tsunamis, que aunque no son muy frecuentes, cuando se producen arrasan y destruyen todo lo que encuentran a su paso. La existencia de un sistema de alerta y de aviso se convierte en este caso en una necesidad de primer orden y la falta del mismo se traduce en unas consecuencias devastadoras. El Tsunami producido el pasado 26 de diciembre de 2004 en Indonesia es un buen ejemplo de esta última situación. En el presente artículo presentamos las características de este Tsunami y sus daños y efectos, así como las medidas, que a raíz del mismo se están tomando.

*Palabras clave:* Riesgo natural, tsunami, sistema de alerta, desastre natural, daños, parámetros del tsunami.

### ABSTRACT

One of the more terrible natural hazards due to the impossibility of preventing them and the catastrophic effects that cause, is the tsunamis, which even though they are not frequent, when they happen they destroy all they find in their way. The existence of a warning system becomes a necessity of first rate in this case and the lack of it results in some devastating consequences. The Tsunami that took place on the past 26 of December of 2004 in Indonesia it's a good example of the this situation. In the present article we show the characteristics of this Tsunami and its damages and effects, as well as the measures that, as a result, are being taken.

*Key words:* Natural hazard, tsunami, warning system, natural disaster, damages, parameters of the tsunami.

## 1. Introducción

El desastre natural desencadenado como consecuencia del gran Tsunami del Índico del 26 de diciembre de 2004, ha promovido un elevado número de reuniones internacionales donde se discute y se toma conciencia de la vulnerabilidad a que están sujetas extensas zonas del Planeta por diferentes causas, y la forma, si no de prevenirlas, al menos de mitigar sus catastróficos resultados.

Los desastres naturales producidos como consecuencia de diferentes acontecimientos violentos e inesperados en el mundo, crecen de año en año a causa de terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos o de los efectos del cambio climático que produce huracanes, tifones, inundaciones y el ascenso del nivel de los mares que conllevan la desaparición de algunas islas y la inundación de extensas franjas costeras. Se podría afirmar, por diferentes causas, que los años 2004 y 2005 fueron años especialmente malos en términos de catástrofes naturales.

Por tal motivo, del 10 al 14 de enero de 2005 y bajo los efectos de la catástrofe del tsunami de Indonesia, se celebró en la isla de Mauricio una Conferencia Internacional para revisar la aplicación del Programa de Acción para el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo, donde se reunieron representantes de hasta ciento diez países de la ONU y los líderes de treinta y siete pequeños estados insulares que se ven más amenazados por el ascenso del nivel del mar, todos ellos con economías frágiles y bajo la amenaza permanente de los mencionados desastres naturales. El objetivo fundamental fue tratar y estudiar las medidas más adecuadas para hacer frente a este tipo de catástrofes, relacionadas con los desastres climáticos más recientes y que han devastado países isleños.

En dicha Conferencia, el Secretario General de la ONU, Kofi Annan, abogó por establecer con urgencia un plan exhaustivo para evitar los graves daños de las catástrofes naturales de diferente naturaleza, proponiendo el establecimiento de un sistema mundial de alerta que cubra, no sólo los tsunamis, sino también otras amenazas como tormentas y ciclones. Los actuales sistemas de alerta sobre tormentas podrían vincularse fácilmente al pensado para prevenir tsunamis, de acuerdo con la propuesta hecha por la Secretaría General de la Organización Meteorológica Mundial, e incluso se analizó la posibilidad de crear con el apoyo internacional un sistema de alerta temprana de desastres y de reducción de riesgos, de acuerdo con las ideas del secretariado de la ONU para la Reducción de Desastres que prevé un sistema que pueda y deba prevenir todo tipo de catástrofes, tanto las derivadas de terremotos, erupciones, incendios y deslizamientos como los debidos a inundaciones y sequías, con un enfoque multirriesgo.

Más de veinte de estos estados insulares amenazados (entre ellos Cuba, República Dominicana, islas Fidji, Haití, islas Salomón, Santa Lucía y Vanuatu) se han visto azotados más de una vez por huracanes, tifones o grandes inundaciones en los últimos dos años. Hasta catorce grandes tormentas tropicales se cobraron miles de vidas y causaron pérdidas estimadas por un valor de 20.000 millones de dólares en la última temporada de huracanes del Caribe, mientras que el aumento del nivel del mar en la región del Pacífico amenaza con sumergir por completo las islas Nauru, Maldivas y Tuvalu, y en el océano Índico el ciclón tropical Galifo, el más intenso de los que se tenga registro, se abatió sobre Comoras y Madagascar matando a doscientas personas, de acuerdo con la información ofrecida por la Subsecretaría General de la Organización Internacional de las Naciones Unidas para los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo. El huracán que arrasó la isla de Granada el mes de septiembre del año 2004 destruyó dos de los principales cultivos de exportación de la isla caribeña, el cacao y la nuez moscada, causando pérdidas por más de 1.000 millones de dólares y donde la mayoría de los hoteles resultaron dañados.

El año 2005 fue tremendamente duro en lo que a huracanes se refiere ya que batió el récord hasta entonces establecido. El terrible huracán Katrina, a finales de agosto, arrasó e inundó la ciudad de Nueva Orleans y buena parte del sur, este y centro de los Estados Unidos, contabilizándose más de diez mil personas entre fallecidos y desaparecidos y unas pérdidas económicas de unos 80.000 dólares. Ha sido considerado como el huracán más devastador de la historia. El también huracán Rita, en septiembre, y el huracán Wilma, en octubre, en el Golfo de Méjico y en la península del Yucatán, son otros dos ejemplos de desastres de gran magnitud con más de cien víctimas y pérdidas de 26 millones de dólares.

Las pérdidas económicas para ambos años todavía no han sido calculadas con exactitud, pero podrían ser mucho mayores que las de 2003, cuando sumaron 60.000 millones de dólares, según la ONU. De acuerdo con algunos expertos, la Década Internacional para la Reducción de Desastres Naturales 1990-1999, auspiciada por la ONU, terminó peor de lo que empezó en cuestión de cantidad de muertes y de catástrofes. La cifra de personas en situación de riesgo aumenta de 70 a 80 millones cada año y las catástrofes se ceban en los más pobres con todo tipo de calamidades.

## **2. El fenómeno natural de los tsunamis**

Afortunadamente los grandes tsunamis son poco frecuentes en general en el mundo, lo que lleva a pensar erróneamente que el peligro real que los mismos representan no es muy grande, aunque precisamente éstos, los de gran tamaño, son los más necesarios de ser previstos por sus catastróficas consecuencias. Los tsunamis –aunque escasos– resultan sin embargo aterradores en razón de su inevitabilidad. Una persona a quien un tsunami sorprenda desprevenida no tiene posibilidad real de salvarse. Además, con el continuo incremento de la población y de los asentamientos costeros estos daños irán aumentando, si no se adoptan medidas para perfeccionar los sistemas de prevención y alerta frente a los tsunamis u otras medidas de protección.

Tsunami, (que literalmente significa, «tsu» puerto y «nami» ola), es una palabra japonesa que viene a designar las grandes olas que llegan a los puertos y playas, ocasionadas por diferentes mecanismos en el basamento marino y que producen enormes daños. En 1963, en el transcurso de una Conferencia Internacional convocada como respuesta al gran tsunami de Chile de 1960, se acordó la utilización de este término en todos los idiomas para designar a este fenómeno.



FIGURA 1. Tsunami en japonés.

En los países de habla hispana se suele utilizar la palabra *maremoto*, que no significa exactamente lo mismo, ya que ésta sólo supone un movimiento del mar causado por violentos terremotos (de al menos 6.5 grados y superficiales), erupciones volcánicas, deslizamientos de tierras, explosiones nucleares submarinas o caídas de meteoritos, pero cuyas ondas de condensación así generadas en torno a la fuente (el maremoto propiamente dicho) pueden no progresar adecuadamente y por tanto no llegar a la costa, que es cuando exactamente hablaríamos de tsunamis. Por tanto, los tsunamis son un fenómeno eminentemente costero, es decir, que se manifiesta y registra en las costas, tanto con varios metros como con pocos centímetros registrados en los mareógrafos.

### 2.1. Mecanismo generador

No todos los sismos submarinos —por otra parte el principal mecanismo generador—, producen tsunamis, aunque éstos suelen ser los de mayor tamaño. Se piensa que el principal mecanismo capaz de generar tsunamis de mayor tamaño, son los dislocamientos tectónicos acompañados de desplazamientos de grandes extensiones del fondo del océano, producidos por terremotos cuyo hipocentro está situado en el basamento marino. Estos desplazamientos —que según parece tienen una substancial componente vertical—, están provocados por un movimiento de «tipo pistón» de los fondos marinos. De acuerdo con esta teoría en el curso de terremotos oceánicos de gran magnitud, es posible que se produzcan desplazamientos rápidos ascendentes y descendentes que pueden ocasionar modificaciones bruscas del fondo del océano, y que desequilibran la columna de agua que tiene encima generando ondas solitarias que se propagan al exterior de la fuente del tsunami.

Por tanto, para que suceda este fenómeno se deben de dar al menos dos circunstancias, como son, una magnitud sísmica elevada y un movimiento del plano de falla de componentes predominantemente verticales, toda vez que la perturbación inicial de la superficie libre del océano que origina el maremoto, es igual al desplazamiento de la superficie del fondo del mismo.

### 2.2. Parámetros de un tsunami

Estas olas —ondas gravitacionales de largo periodo no dispersivas— así formadas, en alta mar pueden pasar desapercibidas ya que en la fuente tienen entre medio y un metro de altura y con una longitud de onda de centenares de kilómetros, desplazándose a una velocidad que puede alcanzar los 750 kilómetros a la hora, en relación a la profundidad y el relieve submarino que encuentre en su desplazamiento, lo que explica que crucen un océano de un extremo a otro. A medida que se acercan a la costa y al entrar en la plataforma continental disminuye la longitud entre olas consecutivas, así como su velocidad, mientras que aumenta considerablemente su altura en función de la disminución de la profundidad pudiendo alcanzar los 30 metros de altura.

Las olas conservarán toda su energía mientras no rompan en la costa. La disipación de la energía cerca de la costa dependerá de las características del relieve submarino que encuentre, y cuanto más abrupta sea la costa más altura alcanzará pero se presentará como una onda plana. Esto quiere decir, que la forma como rompe la ola depende de la relación longitud de onda (espacio entre dos crestas consecutivas de la ola) que se acorta y la altura que se eleva, y lo hace adentrándose tierra adentro como una gran marea aunque a su llegada no tuviera mucha altura. La ola es mucho más de lo que se ve. Arrastra una masa de agua mucho mayor que cualquier ola convencional generada por el viento, por lo que

el primer impacto del frente de la onda viene seguido del empuje del resto de la masa de agua perturbada, que presiona haciendo que el mar se adentre más y más en la tierra.

Por esto, la mayoría de los tsunamis son vistos más como una poderosa pared de agua a modo de una riada en la cual es el mar el que inunda la tierra y lo hace a gran velocidad. Al llegar a la costa esta pared de agua se abate y desliza con extraordinaria rapidez y fuerza hacia el interior de la tierra, si no existe obstáculo físico que se lo impida, y es la responsable de los mayores destrozos junto con el descenso rápido del agua a modo de reflujos hacia la orilla, lo que termina por incrementar todavía más los daños. A esta elevación alcanzada por las aguas en la playa por encima del nivel de la marea, se la denomina amplitud de inundación tierra adentro (run up) y esto es lo que permite clasificar el tamaño de los tsunamis. Quien estando en la playa vea llegar las olas no tiene ya tiempo posible para escapar.

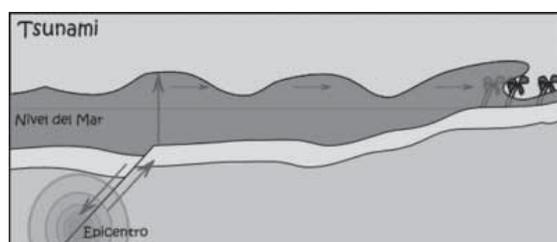


FIGURA 2. Esquema de la llegada de un tsunami.

Ahora bien, existen unos efectos anteriores que podrían considerarse «precursores» de la llegada del tsunami y conocerlos puede salvar la vida de muchas personas. El más común y llamativo es la retirada del agua de la costa centenas de metros a modo de una rápida marea baja, como consecuencia del desequilibrio que se ha originado en la fuente con el desplazamiento vertical de una parte importante del fondo marino ocasionado por un terremoto. Desde entonces hasta que llega la ola principal pueden pasar entre cinco y diez minutos, tiempo posible para escapar a toda velocidad hacia los lugares más elevados. A veces, antes de llegar la cadena principal de olas pueden aparecer «microtsunamis» de aviso. Así ocurrió en las costas de Sri Lanka en el tsunami de Indonesia del 24 de diciembre de 2004, donde minutos antes de la llegada de la ola más grande pequeños tsunamis entraron unos cincuenta metros playa adentro, provocando el desconcierto entre los bañistas antes de que se les echara encima la ola mayor. Según algunos testimonios «se vieron rápidas y sucesivas mareas bajas y altas, luego el mar se retiró por completo y sólo se sintió el estruendo atronador de la ola que venía». En este mismo tsunami de Indonesia, una niña inglesa de diez años que había aprendido en una clase de geografía en el colegio los efectos de un tsunami, supo reconocer el fenómeno precursor de la retirada del mar y pudo alertar a las personas que estaban en la playa de Phuket de la inminente llegada de una ola gigante y así pudieron ponerse a salvo cien personas. La enseñanza desde los colegios de las características de este tipo de fenómenos y los medios para ponerse a salvo, se presentan como una medida de extraordinaria importancia.

Del mismo modo, los nativos de algunas islas, buenos conocedores y observadores del mar y la naturaleza, pudieron ponerse a salvo subiéndose a las colinas al observar extraños fenómenos en el mar. Otros nativos de las islas de Andamán, al sur del golfo de Bengala, observaron una conducta poco habitual de los animales lo que llevó a muchos a seguirlos y alejarse de las costas y el peligro.

### 2.3. Las zonas tsunamigénicas del Planeta

Debido a la estrecha relación existente entre los movimientos sísmicos y los tsunamis, tal y como muestran las investigaciones realizadas, las principales zonas tsunamigénicas coinciden con las áreas sísmicas oceánicas y costeras más activas. Los estudios indican que los tsunamis son debidos, principalmente, a sismos cuyos epicentros se localizan en fosas oceánicas próximas a las costas, donde las placas de la litosfera chocan frontalmente de modo que una de ellas es empujada bajo la otra originando un infracabalgamiento y denominadas zonas de subducción. Tal situación se presenta especialmente en la faja circumpacífica, en el arco insular aleutiano junto a Alaska, en las Kuriles-Kamchatka, en Japón y en la costa de Chile y Perú en el Océano Pacífico, que se convierte en la principal zona tsunamigénica del Planeta y donde se contabilizan el 80% de los tsunamis producidos en el mundo siendo además los que mayor tamaño llegan a alcanzar.

Por el contrario, en el Océano Atlántico se producen fundamentalmente en la zona de contacto de las placas africana y euroasiática, junto a la línea de fractura de Azores-Gibraltar, y en la zona sísmica de la región del Caribe a lo largo de Cuba y las Antillas, en donde sólo se registran el 10% de todos los tsunamis en el mundo. Uno de los tsunamis más conocidos y de mayor tamaño, es el que se produjo como consecuencia del Terremoto de Lisboa del 1º de noviembre de 1755 y que inundó las costas del sur de Portugal y del suroeste de España, ampliamente estudiado por la autora de este trabajo. El otro 10% se registra en el Océano Índico en la zona que se ha señalado más arriba.

La zona mediterránea se considera como la prolongación de la correspondiente al área sísmica de la línea Azores-Gibraltar y el mar de Alborán, cuyos sismos frente a la costa de Argelia producen tsunamis de pequeño tamaño que se pueden observar en las costas del este peninsular y en las islas Baleares. El último tuvo lugar el 21 de mayo del año 2003 y olas de dos metros se sintieron en el puerto de Mahón en la isla de Menorca causando daños a los barcos que allí se encontraban. También en el Mediterráneo oriental en las aguas que bañan las penínsulas de Italia y Grecia, se han observado en tiempos pretéritos algún tsunami importante como el ocurrido en el año 1470 antes de Cristo, cuando la explosión —aún mayor que la posterior del volcán Krakatoa—, de la antigua isla volcánica de Thera (actual Santorini) en el mar Egeo, destruyó por completo la ciudad que allí se situaba con olas de hasta 50 metros, llegando las olas hasta Creta situada a una distancia de unos 105 kilómetros y que quedó totalmente arrasada. Según consideran algunos historiadores, este tsunami fue el responsable de la destrucción y fin de la civilización minoica.

Otro tsunami destructor y muy importante fue el producido el 28 de diciembre de 1908 en el estrecho de Messina. (Tinti, S. y Guiliani, D, 1983)

### 2.4. Los sistemas de alerta y aviso de tsunamis

Predecir estos fenómenos no es hoy por hoy totalmente posible, aunque sí sabemos con bastante exactitud los lugares de la tierra susceptibles de sufrir movimientos sísmicos, es decir, sabemos dónde pero no cuándo. Pero en el caso de un tsunami es más predecible, ya que después de sentir un fuerte terremoto, conociendo la localización de epicentro y la magnitud del mismo, se puede evaluar la posibilidad de su generación. En ese caso la Red del Sistema Internacional de Alerta y Aviso comunica a los países ribereños la posible llegada del tsunami y la hora calculada, para que la población se ponga a salvo en el Pacífico, habida cuenta que es la cuenca oceánica donde se registran el 80% de todos los tsunamis en el mundo. Ni en el Océano Índico, ni en el Atlántico ni en el mar Mediterráneo existen

Sistemas y Centros de Alerta de Tsunamis, aunque actualmente en el Mediterráneo y en el Atlántico se contempla ya esta posibilidad.

A partir de 1950 se establecieron sistemas regionales de alerta y aviso contra los tsunamis en Japón, EE.UU y la U.R.S.S. Hoy día existen también sistemas de alerta y aviso de tsunamis de ámbito regional en Alaska y Hawai.

El sistema de alerta de tsunamis norteamericano surgió a raíz de la catástrofe del 1º de abril de 1946 en Alaska y se perfeccionó tras el tsunami del 23 de mayo de 1960 de Chile, los cuales causaron grandes destrozos en Hilo en la isla de Hawai en el Pacífico. Este Centro de Prevención de Tsunamis en el Pacífico (Pacific Tsunami Warning Center) se estableció en 1949 y actualmente constituye un Sistema Internacional del que forman parte todos los países ribereños del Pacífico y cuyo centro se encuentra en Honolulu en Hawai. Presta servicio a veintiocho naciones y dispone de unos sensores submarinos que miden las olas y de balizas en la superficie que transmiten datos vía satélite al Centro.

La NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de EE.UU, cuenta con un dispositivo de detección de tsunamis propio. El proyecto DART (Deep Ocean Assessment and Reporting of Tunamis), es el sistema norteamericano de evaluación y detección de tsunamis y forma parte del programa norteamericano de prevención frente a este tipo de fenómenos.

Con el fin de comprobar el funcionamiento del Sistema de Alerta contra los Tsunamis, éste se puso a prueba a mediados del mes de mayo de 2006 a través de un simulacro de tsunamis. El «Ejercicio Ola del Pacífico 2006» comenzó a las 19,00 horas GMT del 16 de mayo, cuando el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico en Hawai (EE.UU.), el Centro de Alerta de Tsunamis de Alaska (EE.UU.) y el Centro de Alerta de Tsunamis en el noroeste del Pacífico en Japón, avisaron de una ola gigante ficticia creada por un terremoto de 9,2 grados de magnitud en la escala de Richter con epicentro en la costa central de Chile y que habría de recorrer el Pacífico. Las costas de todo el Pacífico fueron alertadas y una vez que finalizó este simulacro se inició la segunda fase del mismo al día siguiente. Esta segunda fase consistió en la emisión de otra alerta, esta vez por la formación de un tsunami frente a las costas de Filipinas por un terremoto de 8,8 grados de magnitud. En este caso fueron alertadas las costas del Índico y del oeste del Pacífico. A las 04,45 horas GMT del 17 de mayo, cuando se calculó que la supuesta ola gigante habría alcanzado el Pacífico central y atravesado la mayor parte del mar de la China meridional, se dio por concluido el simulacro. Aunque en general fue un éxito, en Tailandia los mensajes SMS enviados por el Centro Nacional de Alerta de Desastres en Tailandia, no llegaron a sus destinatarios o fueron recibidos pasadas varias horas.

En este primer ejercicio regional para probar la eficacia del Sistema de Alerta de Tsunamis, organizado por la UNESCO, países de Asia y el Pacífico probaron su capacidad de respuesta. Australia dirige el equipo de trabajo encargado de coordinar los ensayos que a partir de ahora se realizarán de manera periódica para mantener la red de acción preparada.

Si bien ambos terremotos fueron ficticios, a principios del mes de mayo un terremoto de 7,8 grados de magnitud, en el Pacífico sur junto a la isla de Tonga, generó una alerta real de tsunamis que fue levantada dos horas después. Un mes y medio antes, el 28 de marzo de este mismo año, otro sismo de 8,7 grados de magnitud, con un epicentro a unos 200 kilómetros al noroeste de la costa de Sumatra en las islas Nías y que causó miles de muertos, provocó también otra alerta de tsunami que fue retirada al comprobar que no se había producido ningún tsunami, como igualmente sucedió el mismo 16 de mayo, en pleno simulacro, por otro seísmo de 6,8 grados, de nuevo al oeste de las islas Nías y que sacudió Banda Aceh, capital de la provincia indonesia de Aceh en Sumatra, la que fue más castigada por el tsunami de diciembre de 2004.



FIGURA 3. Aviso de la NOAA sobre qué hacer en caso de tsunami.

### 3. El terremoto y tsunami del 26 de diciembre de 2004

El terremoto de 9,0 grados de magnitud en la escala de Richter —el más potente de los últimos cuarenta años después del de Alaka de 1964 y el quinto desde 1900—, producido el 26 de diciembre de 2004 en Indonesia a las 07:58:53 hora local en el epicentro, generó un violento tsunami que puede convertirse en la peor catástrofe natural de la historia, tanto por el número de fallecidos y desaparecidos que se aproximan a los doscientos cincuenta mil (250.000) —tres cuartas partes de ellos en Indonesia—, como por los desplazados (se calcula en torno a los cinco millones) y afectados (entre cinco y siete millones), así como también por los cuantiosos daños materiales producidos. Actualmente se le considera ya el tsunami más mortífero de todos los tiempos, quitando el dudoso honor del primer puesto en el ranking al ocurrido en 1703 en Awa, Japón, que causó alrededor de cien mil (100.000) víctimas. Presentamos un cuadro con los once terremotos de mayor magnitud desde 1900 y que a su vez también originaron tsunamis.

Tabla 1  
TERREMOTOS DE MAYOR MAGNITUD DESDE 1900

Situación	Magnitud	Fecha	Nº de víctimas
Chile	9,5	22.05.1960	5.700
Prince William Sound, Alaska	9,2	28.03.1964	125
Isla de Andreanof, Alaska	9,1	09.03.1957	
Kamchatka, Rusia	9,0	04.11.1952	
Sumatra, Indonesia	9,0	26.12.2004	250.000
Costa del Ecuador	8,8	31.01.1906	1.000
Isla de Rat, Alaska	8,7	04.02.1965	
Assam, Tibet	8,6	15.08.1950	1.526
Kamchatka, Rusia	8,5	03.02.1923	
Mar de Banda, Indonesia	8,5	01.02.1938	
Islas Kuriles, Rusia	8,5	13.10.1963	

Fuente: <http://www.neic.usgs.gov>

### 3.1. El terremoto

La causa que produjo este violento sismo estuvo en el choque entre las placas tectónicas Euroasiática e Indoaustraliana cuyo contacto discurre al sur de la costa de Indonesia, donde estuvo localizado el epicentro del sismo (3.316°N y 95.853°E) en el fondo del Índico, a 30 kilómetros de profundidad y a unos 250 kilómetros del extremo noroeste de la costa de la isla de Sumatra en la provincia de Aceh, la conocida ya como «zona cero» y que ha quedado dañada en más de un 40%. Más exactamente, y dada la complejidad tectónica de la zona, el terremoto se produjo en el contacto entre la placa de la India y la microplaca birmana, ambas situadas en el margen de la placa euroasiática en su límite occidental y bordeado por la fosa de subducción de Sonda. La liberación de la tensión se produce por la circunstancia de que la placa India, encajada entre las placas australiana, africana, arábiga y euroasiática, tiende a introducirse bajo la microplaca Birmana limitada al este por la microplaca de Sonda, formando parte del «cinturón de fuego» asiento de numerosos volcanes y movimientos sísmicos en la zona.

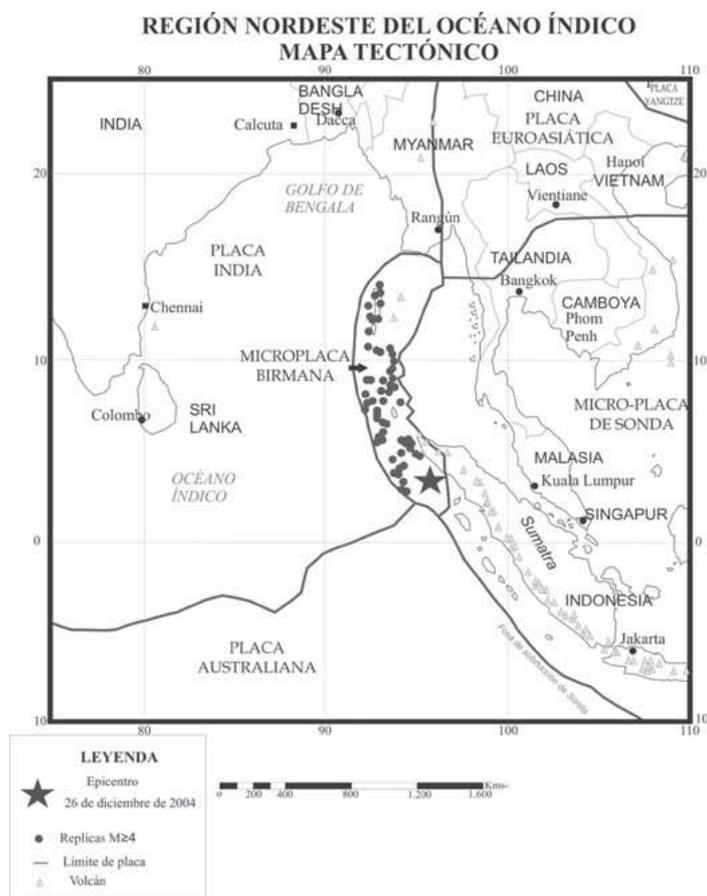


FIGURA 4. Distribución de las placas tectónicas y epicentros de terremotos

Fuente: <http://www.earthquake.usgs.gov>

Por tanto, es la subducción de la placa India bajo la microplaca Birmana la responsable del sismo del 26 de diciembre de 2004. Se calcula que una extensión de 1.200 kilómetros se deslizaron 15 metros a lo largo de la zona de subducción y que produjo un levantamiento vertical de unos 10 metros de la placa Birmana sobre la placa India, lo que causó un tren de ondas expansivas en el océano que viajaron a través del mismo a grandes velocidades. Dada la extraordinaria magnitud del sismo ( se estima una energía liberada equivalente a la detonación de varias bombas atómicas, unos 32.000 MT), el número de réplicas que se han producido y se siguen produciendo son muy numerosas. Algunas de éstas son de elevada magnitud, como la ocurrida el 2 de marzo de 2005 en el Mar de Banda al norte de Indonesia con una magnitud de 7,2 grados y que causó gran alarma, aunque afortunadamente sin provocar daños ni un nuevo tsunami. Se registraron, tan sólo desde el 26 de diciembre de 2004 hasta marzo de 2005, 2.655 réplicas en la provincia indonesia de Banda Aceh, con magnitudes entre 4,0 y 7,2 grados en la escala de Richter.

Durante todo el año 2005 y los primeros meses de 2006, se han seguido sucediendo terremotos en esta misma zona como hemos señalado anteriormente. El 27 de mayo de 2006, se registro un fuerte sismo de 6,2 grados de magnitud en la isla indonesia de Java, junto a la antigua ciudad universitaria de Yogyakarta cuna de un rico patrimonio y de una fuerte atracción turística, ocasionado miles de muertos y cientos de miles de desplazados y damnificados y una gran destrucción. La proximidad del volcán Merapi actualmente en actividad podría estar relacionado ya que se observó a continuación una mayor actividad volcánica. Afortunadamente no provocó ningún tsunami. Esta catástrofe es la peor que el archipiélago indonesio ha vivido después del tsunami del 26 de diciembre de 2004.

El terremoto de diciembre de 2004 provocó que varias islas del Índico se desplazaran desde pocos centímetros hasta algunos metros, como así parece en la isla de Sumatra al removerse el lecho marino cerca del epicentro. Según el Instituto Tecnológico de California se han identificado movimientos sobre la línea de falla de hasta 10 metros lateralmente y entre 4 y 5 verticalmente, lo que provocó el empuje y desplazamiento del agua del océano hacia arriba generando las olas que barrieron toda la región. Científicos británicos han dado a conocer imágenes tridimensionales del lecho oceánico captadas cerca del epicentro del terremoto, elaboradas por el barco de investigación HMS Scott de la Marina Real de Gran Bretaña, equipado con modernos instrumentos que utilizan las ondas sonoras. Su objetivo es trazar un mapa del fondo marino a unos 150 kilómetros de la costa de Sumatra. Las primeras imágenes del lecho marino afectado por el terremoto muestran grietas de varios kilómetros en el fondo del Océano Índico, así como corrimientos de tierra submarinos.

Los resultados del estudio proporcionarán información importante sobre el terremoto y podrían ayudar a evaluar la futura actividad sísmica de acuerdo con la tectónica del área. Además, estas imágenes pueden ayudar a saber dónde ubicar monitores del lecho marino y que son un paso hacia la construcción de modelos para entender mejor los terremotos y tsunamis, y también ayudará a diseñar el sistema de alerta temprana para prevenir tsunamis que se planea instalar en la región.

El terremoto indonesio ha sido de tal magnitud, que científicos de la NASA calculan que ha podido cambiar ligeramente la forma de nuestro planeta disminuyendo su achatamiento en los polos, lo que causa una ligera alteración sobre la velocidad de rotación de la tierra que reduce en casi 3 microsegundos la longitud del día, y ha desviado el Polo Norte unos 2,5 centímetros en dirección 145° longitud este al bascular el eje terrestre. Es decir, la tierra es más esférica y gira un poco más rápido.

### 3.2. El tsunami y sus parámetros

El tsunami generado se desplazó a una velocidad media de 500 Kms. por hora por el Índico devastando las costas de Indonesia (donde se contabiliza cerca de la mitad de todas las víctimas), Tailandia (con la mitad de todos los turistas fallecidos en las paradisíacas playas de Phuket y Phi Phi), India, Malasia, Myamar, Bangladesh, Sri Lanka e islas Maldivas, llegando incluso hasta las costa oriental de África, en Somalia, Kenia y Tanzania a unos 6.000 kilómetros de distancia. La cadena de islas de Indonesia y el continente australiano sirven a modo de barrera que impiden que las olas originadas en esta zona del Índico penetren con energía significativa en el océano Pacífico, pero aún así existen registros del tsunami en la costa oeste del Pacífico en Chile (25 cm), en California (22 cm), Hawai (6 cm), Nueva Zelanda (65 cm), el Callao en Perú (50 cm), e incluso los mareógrafos de los puertos en la Antártida registraron fluctuaciones en el oleaje de hasta 73 cm a 8.900 Kms. del epicentro. Destaca la altura de la ola que se registró en Manzanillo en Méjico, que llegó a 2,6 metros, debido a efectos causados por la geografía costera local que amplió su tamaño.



FIGURA 5. Propagación del Tsunami y países afectados.

El tamaño de las olas en las costas del Océano Índico más próximas, se estima en torno a 10 ó como mucho 15 metros dependiendo de los sectores de costa, y el número de olas que se presentaron sucesivamente fue de tres. La inundación de las aguas tierra adentro llegó hasta 2 Kms. hacia el interior en algunos lugares, y en otros de forma extraordinaria se calcula hasta 12 Kms., con lo que algunas islas de pequeño tamaño quedaron totalmente cubiertas y otras han desaparecido, como es el caso de algunas islas del archipiélago de Andamán, Nicobar y de las Maldivas, por lo que será necesario elaborar nuevos mapas de los archipiélagos. Grandes extensiones de terreno quedaron inundadas temporalmente.

La llegada del tsunami a los distintos lugares osciló entre veinte minutos y media hora para las costas de Banda Aceh en el noroeste de Sumatra —la más próxima al epicentro—,

y las seis-siete horas para la costa oriental africana, tiempo en el primer caso posiblemente escaso para poder haber dado la alerta de la llegada del tsunami. La velocidad en el desplazamiento estuvo condicionada por las características de la plataforma del mar de Andamán, con los archipiélagos de Andamán y Nicobar, que frenó algo la velocidad, por lo que a las costas de Tailandia llegó dos horas más tarde y a las costas orientales de la India y a Sri Lanka entre noventa minutos y dos horas, tiempo más que suficiente para haber podido dar la alerta y salvar a muchas personas, y mucho más aún las seis-siete horas que tardó en llegar a Somalia. Muchas vidas se hubieran salvado con un sistema de alerta de tsunamis del que carecían.



FIGURA 6. La llegada del tsunami a un hotel de Penang en Malasia

El tsunami también fue observado en Australia, Madagascar, islas Mauricio, islas Seychelles, Omán, isla de la Reunión y Sudáfrica, pero sin sufrir prácticamente ninguna víctima.

### *3.3. Los efectos y daños del Tsunami*

Los efectos y daños del Tsunami de Indonesia han podido ser evaluados en parte, gracias a las imágenes de los satélites que permitirán estimar las necesidades de reconstrucción y rehabilitación de ciudades, terrenos agrícolas y manglares, así como de la infraestructura costera, ya que la mayor parte de la población ha perdido su medio de subsistencia en la industria pesquera y en la agricultura que ha quedado destruida en un 66%. Cientos de hectáreas de granjas piscícolas y de camarones fueron arrasadas. Se calcula que el sector pesquero ha sufrido pérdidas de hasta 520 millones de dólares. Gracias a estas imágenes la FAO está elaborando un Atlas de las zonas afectadas por el tsunami, ayudados también por mapas topográficos anteriores al desastre y gracias a la tecnología del Sistema de Información Geográfica.

Los **daños e impactos en el medio ambiente** y los ecosistemas en las Maldivas, Sri Lanka e Indonesia son incalculables, ya que tanto los arrecifes de coral como los manglares fueron destruidos y éstos constituían terrenos vitales para la alimentación y la reproducción de la vida marina. Se calcula que destrozó más de 28.000 hectáreas de arrecifes y arrancó otras 25.000 de manglares. Paradójicamente, los arrecifes que circundan todas estas islas actuaron a modo de parapetos que amortiguaron el impacto de estas olas gigantes evitando una destrucción mayor, aunque algunas de las islas del archipiélago de las Maldivas han desaparecido bajo las aguas. Pasará mucho tiempo para que los arrecifes de coral destrozados y los manglares arrancados de cuajo vuelvan a crecer, y se hace del todo necesario proteger y recuperar estas barreras naturales, para lo que a medio plazo tendrán que crearse planes para la repoblación de manglares y arrecifes coralinos. Según un cálculo realizado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el gobierno indonesio, los daños se elevan a unos 520 millones de euros.

Precisamente por ello, la devastación que causó el tsunami fue mayor en las zonas donde su medioambiente estaba ya deteriorado, porque ni los corales ni la vegetación pudieron actuar como barreras ante las gigantescas olas al no existir éstos. Con el fin de minimizar los daños se pide que una de las prioridades a la hora de la reconstrucción sea la reforestación de la primera línea de costa, de modo que los árboles puedan absorber la energía de futuros tsunamis.

Las aguas también inundaron cultivos destruyendo cosechas de arroz a lo largo de la franja costera desde Indonesia hasta la India, arruinando los equipos de irrigación y drenaje y depositando sales en la tierra cultivable hasta un kilómetro y medio tierra adentro. Igualmente, y según el primer estudio sobre el impacto ambiental que ocasionó el tsunami realizado por el PNUMA para todos estos países, los pozos de agua dulce poco profundos y las reservas de agua subterránea —especialmente en las pequeñas islas—, utilizados para el consumo humano y para el riego, se han visto contaminados por el agua salada y por desechos y desperdicios tóxicos y materiales peligrosos, como asbestos. La costa de Somalia, país africano más gravemente afectado, se encuentra peligrosamente contaminada



FIGURA 7. El agua lo inundó todo

por desechos radioactivos y de otro tipo que estaban almacenados ilegalmente, al haber abierto el impacto de las olas los contenedores que contenían este material radioactivo, desperdicios médicos y metales pesados.

El **sector turístico**, importante fuente de ingresos para estos países, se ha visto también muy gravemente dañado con la destrucción de hoteles y zonas turísticas y seriamente comprometido por la muerte de unos nueve mil (9.000) turistas, en su mayor parte europeos y entre éstos muchos escandinavos (unos 1.400 suecos), entre fallecidos y desaparecidos. Se identificó a una sola víctima española. Ya se considera la peor catástrofe jamás registrada en la historia del turismo en el mundo por el elevado número de turistas y empleados afectados, así como por los daños en sus instalaciones. Hay quienes consideran que sus efectos y repercusiones pueden ser superiores a las ocurridas tras los ataques del 11 de septiembre de 2001, en los Estados Unidos. Probablemente nunca sabremos con exactitud el número de víctimas porque muchos nunca podrán ser encontrados.



FIGURA 8. La llegada del tsunami a un complejo hotelero en Phuket (Tailandia).

Con el fin de dar a conocer como se encuentran ya de recuperadas las infraestructuras turísticas de las islas de Tailandia y Andamán fuertemente dañadas, y para hacer una llamada a los turistas y que no dejen de viajar a sus playas, el 5 de marzo de 2005 se celebró en Phuket una Conferencia a la que asistieron numerosos medios de comunicación y agentes de viajes procedentes de toda Europa y del Sudeste Asiático, China, Australia, Nueva Zelanda, Oriente Medio, la India, Estados Unidos y Japón. Se pretendía transmitir a través de ellos la idea de la necesidad de recuperación turística de estas zonas, ya que el resto del mundo necesita saber que la mayor parte de los destinos turísticos están abiertos y son seguros para los viajeros. En los días anteriores y posteriores a la Conferencia, los informadores asistentes pudieron visitar los lugares afectados y comprobar el buen estado de las instalaciones turísticas. Ya en la primera semana de febrero, Phuket fue también la sede de otra gran Conferencia, donde la OMT decidió apoyar al sector en Tailandia y en las otras regiones afectadas para diseñar un plan de actuación, en el marco del cual se encuentra el llamado «Mega-Fam Trip» (mega viaje de familiarización) y que se desarro-

lló en el transcurso de la Conferencia del 4 de marzo. La llegada de turistas puede ser la mejor ayuda que reciban los habitantes de estas zonas, si tenemos en cuenta que todos los años llegaban a Phuket unos 400.000 turistas interesados en bucear, lo que generaba unos ingresos al país de más de 5,1 millones de dólares, 7% de las ganancias totales debidas al turismo en Tailandia.

Un ejemplo para incentivar el turismo en esas paradisíacas islas, importante centro turístico en Asia afamado por sus blancas playas, sus aguas mansas y cristalinas y su multicolor biodiversidad submarina que atrae a numerosos aficionados al buceo de todo el mundo, lo constituyó una iniciativa de dudoso gusto y de carácter verdaderamente morboso. Una agencia de viajes de Tailandia creó en los días siguientes al desastre, un paquete turístico que incluía un paseo de tres días por las zonas más afectadas, con la posibilidad de ofrecer arroz y comida enlatada a los supervivientes, un recorrido por las morgues improvisadas en los templos y hasta la posibilidad de participar en los funerales de las víctimas. Igualmente, se podían comprar artesanías y souvenirs del tsunami, hacerse un tatuaje con motivos alusivos al tsunami y adquirir DVD con grabaciones de videoaficionados. La empresa World Class On Tour de Bangkok, artífice de la idea, buscaba con ello «reanimar la economía, los hoteles y la industria del turismo en general», a través de la ayuda que supongan los ingresos del turismo. Se proyectaba realizarlo una vez al mes.

El 11 de marzo de 2005 se celebró la Bolsa Internacional del Turismo (ITB) de Berlín y uno de los principales temas a tratar fue la aplicación de un plan de emergencia para ayudar a las empresas turísticas de los países devastados por el tsunami. La OMT evaluó el Plan de Acción de Phuket que se adoptó en la Conferencia de primeros de febrero. El principal objetivo del Plan de Acción de Phuket, es acelerar la reconstrucción de todos los destinos afectados restableciendo la confianza de los viajeros en la región. Aspira igualmente a ayudar a las ciudades a reanudar su funcionamiento normal maximizando el uso de la infraestructura turística existente, y ayudando a las pequeñas empresas y empleados relacionados con la industria a sobrevivir durante el periodo de recuperación.

Los **daños en el Patrimonio Mundial** han sido también incalculables y ya arqueólogos de distintos países planean un estudio conjunto para restaurar los tesoros culturales destruidos. Entre los sitios dañados que integran la lista del Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), se encuentran la antigua ciudad de Galle y sus fortificaciones en Sri Lanka. También sufrieron daños los santuarios de los siglos VII y VIII de Mahabalipuram y los Templos del Sol de Konarak, en los estados indios de Tamil Nadu y Orissa, respectivamente, y el Parque Nacional Ujung Kulon, en la isla indonesia de Sumatra. La UNESCO tiene previsto enviar a los lugares afectados un equipo de expertos para evaluar los daños y ayudar en la creación de un sistema de apoyo para la preservación de los sitios y monumentos.

Expertos de Irán, Pakistán, Japón, China, Sri Lanka y Marruecos, celebraron una sesión especial sobre la mitigación del daño causado por el tsunami al Patrimonio Mundial, al margen de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres Naturales celebrada en la ciudad japonesa de Kobe a mediados del mes de Enero de 2005. El antecedente de Bam, ciudad iraní devastada por un terremoto justo un año antes, es un precedente poco alentador. Esta ciudad, un tesoro cultural en sí misma e integrante del Patrimonio Mundial, todavía no ha logrado llevar adelante su rehabilitación y restauración.

### *3.4. El sistema provisional de alerta de tsunamis en el Índico*

La Organización de las Naciones Unidas ha anunciado que está desarrollando un sistema provisional de alerta de tsunamis en el Océano Índico, que podría entrar en funcionamiento

casi inmediatamente, a la espera de que se establezca una red definitiva. Con este sistema provisional, la Agencia Meteorológica Japonesa y el Centro de Advertencia de Tsunamis del Pacífico (IOC) de Hawai, facilitarán a las autoridades nacionales del Océano Índico cualquier información o advertencia relacionadas con este fenómeno.

A raíz de la **Conferencia Mundial sobre Reducción de Desastres** celebrada del 18 al 22 de enero de 2005 en Kobe (Japón) y programada por la ONU, se acordó establecer un Sistema de alerta rápida de tsunamis en el Índico, similar al que da cobertura a veintiocho naciones del Pacífico, y que estará listo en 12 o 18 meses a lo sumo, a cargo de la UNESCO y con la ayuda financiera de la UE, Japón y China, principalmente, con unos costes estimados entre 50 y 60 millones de dólares. Este centro se encargará también de analizar los datos y la información procedente de las oficinas nacionales y del mantenimiento del sistema, cuyo coste anual se calcula en unos 30 millones de dólares. La discusión actual se centra en cuál va ser la ubicación del centro regional de alarma de tsunamis, discusión que se inició a finales de enero de 2005 en una reunión en Phuket, Tailandia, y por la que compiten todos los países que se han visto afectados por el tsunami del 26 de diciembre de 2004.

Mientras se crea este sistema de alerta temprana, los especialistas nipones transferirán a estos países ahora asolados por el tsunami, tecnología sobre la construcción de diques y muros en las localidades costeras frente al mar y el establecimiento de restricciones de construcción en las zonas cercanas a la costa., técnica en la que Japón está muy avanzada debido al alto riesgo de tsunamis que existe en este país.

Posteriormente se celebró a mediados de febrero de 2005 en Banda Aceh, en la isla indonesia de Sumatra, la más afectada por la catástrofe, un Seminario patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas, donde expertos japoneses expusieron sus experiencias sobre sistemas de alerta frente a los tsunamis y donde participaron también representantes de los países que se vieron afectados por el tsunami del Índico.

Después de celebrar varias reuniones, los países bañados por el Índico no lograron alcanzar un acuerdo sobre la creación de un sistema común de alarma de tsunamis y optaron por crear cada uno el suyo propio. Como consecuencia, se firmó un acuerdo entre Alemania e Indonesia para la instalación de un Sistema de Alerta contra Tsunamis en el Océano Índico, que estará ubicado en el archipiélago indonesio. Este Sistema de Alerta de Tsunamis será desarrollado por el Centro para Investigaciones Geológicas de la ciudad de Postdam con la más moderna tecnología. Se preveía que en el mes de octubre de 2005 comenzara a instalarse los primeros sensores frente a las costas de Java y Sumatra, con unas diez estaciones de medición que transmitirán los datos a través del sistema del satélite Galileo y GPS, al centro de vigilancia de Yakarta que proveerá información a los demás países del Índico. Se calcula que se necesitarán cinco años para la instalación completa de este Sistema de Alerta contra los Tsunamis y costará unos 60 millones de dólares.

Finalmente, en marzo de 2005 la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, comenzó los trabajos para diseñar un Sistema de Alerta de Tsunamis para el Índico y cuya puesta en marcha de forma parcial fue en el mes de julio de 2005. En efecto, el Sistema de Alerta contra Tsunamis y Atenuación de sus Efectos en el Índico (IOTWS), comenzó oficialmente su funcionamiento el 1º de julio de 2005 coincidiendo con el establecimiento del Grupo de Coordinación Intergubernamental encargado de administrarlo. Este Sistema de Alerta será una red coordinada de sistemas nacionales y deberá estar plenamente operativo en julio de 2006.

La falta de alerta ante la inminente llegada del tsunami de diciembre de 2004 a las costas del Índico, provocó la interposición de una demanda contra el Servicio Meteorológico de EEUU dependiente de la Administración Norteamericana Oceánica y Atmosférica

(NOAA), y en concreto contra el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico en Hawai. La demanda interpuesta por parte de abogados norteamericanos y austriacos, que representaban a unas sesenta víctimas y familiares de fallecidos en su mayor parte alemanes y austriacos, pero también algunos holandeses y franceses, se basa en el hecho de no haber alertado el Centro de tsunamis de Hawai de forma inmediata del seísmo que provocó el tsunami, y por no haber avisado a los países costeros del Océano Índico de la posible llegada del tsunami, habiendo registrado el epicentro y su elevada magnitud en tan sólo diez minutos después de haberse producido. Si lo hubieran hecho podría haber dado tiempo de poner a salvo a muchas de las personas que perdieron la vida evacuando todas las zonas costeras, teniendo en cuenta el tiempo que tardó el llegar a las costas de Tailandia, India, Malasia, y Sri Lanka, por ejemplo. Aún más, la legislación internacional estipula la obligación de comunicar cualquier movimiento sísmico que supere los 6,5 en la escala de Richter, mientras que este terremoto alcanzó la magnitud de 9 grados.

La demanda también se extendió al Reino de Tailandia, como responsable de su Centro Meteorológico Nacional, por no haber puesto en marcha los mecanismos de alerta para la costa, pese a conocer con una hora de antelación a la llegada del tsunami que se había



FIGURA 9. Banda Aceh en el noroeste de Sumatra antes del Tsunami.



FIGURA 10. Banda Aceh en el noroeste de Sumatra después del Tsunami.

producido el seísmo. También se implica a la cadena hotelera francesa Accor por no haber informado de forma suficiente a las familias de las víctimas después del desastre natural, y por haber edificado un hotel en Khao Lak en Tailandia sobre una zona sísmica a pesar de contar con información sobre el peligro que representaba, y por no haber tomado medidas de seguridad suficientes aún a pesar de que antes del tsunami se registraron una serie de pequeños terremotos en la zona.

#### 3.4. Otros tsunamis en el Océano Índico

En el Océano Índico, aunque no es la principal zona tsunamigénica del Planeta, también se han producido en el pasado algún que otro tsunami de devastadoras consecuencias. El más importante de todos fue el que se produjo como consecuencia de la explosión paroxísmica del volcán Krakatoa en el año 1883.

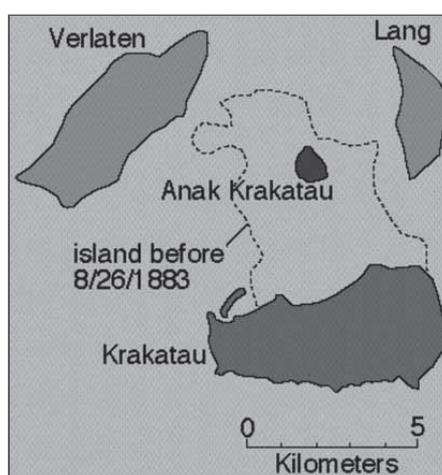


FIGURA 11. La isla de Krakatoa y su extensión actual tras la erupción del volcán en 1883.

Fuente: George Pararas-Carayannis: The great tsunami of August 26, 1883 from the explosion of the Krakatau Volcano in Indonesia», en, «Some of the world's Greatest Disasters» (en preparación).

El tsunami originado por la explosión y colapso del volcán Krakatoa, pequeña isla volcánica situada en el suroeste de Indonesia en el estrecho de la Sonda, entre Java y Sumatra, se produjo el 26 de agosto de 1883. Hasta ese día la isla tenía una extensión de unos 47 km<sup>2</sup>, pero en esa fecha una erupción del volcán que se había manifestado de manera intermitente desde el 20 de mayo, culminó con una serie de cuatro violentas explosiones que destruyeron la mayor parte de la isla. La caída al océano de la ingente masa de materiales y del propio edificio volcánico, provocó un terrible tsunami con olas de hasta 35 metros de altura que recorrieron distancias de hasta 13.000 km. Las gigantescas olas causaron la muerte de unas 36.000 personas en las costas de Java y Sumatra y destruyeron una cantidad incalculable de propiedades, entre una y dos horas después. Las corrientes de aire esparcieron la roca expulsada en forma de polvo fino por toda la atmósfera superior y se considera que provocaron una bajada global de las temperaturas. Aún tres años después, describían observadores de todo el mundo el crepúsculo y el alba de brillante colorido producidos por la refracción de los rayos solares en esas partículas minúsculas. En 1927

comenzaron nuevas erupciones volcánicas en el fondo del mar, del que surgió una nueva isla en el mismo lugar conocida como ANAK Krakatoa (hijo de Krakatoa). Esta isla sobrepasó la superficie del mar en 1928 y en 1973 ya alcanzaba una altura de 190 metros. Hoy la isla está deshabitada.

La mayoría de las olas sísmicas que aquí se originan están relacionadas con la región del arco indonesio de elevada sismicidad y actividad volcánica, mientras que por el contrario pocas son debidas a sismos localizados en las costas adyacentes a la bahía de Bengala, Mar Árabe y sudeste de África y costa occidental de Australia. Los tsunamis generados y registrados en esta zona tienen normalmente un carácter local y raramente se propagan a áreas alejadas. Excepcionalmente se pueden registrar olas sísmicas procedentes de fuentes lejanas, o en todo caso, de la vecindad del Índico, así como algunas pueden propagarse hasta zonas muy alejadas, como es el caso del tsunami del 26 de diciembre de 2004.

Un terremoto con epicentro al norte del Mar Árabe en el Golfo de Omán en 1945 y que originó un importante tsunami, fue considerado por algunos como la confirmación parcial de la hipótesis del geólogo austriaco Eduard Suess, sobre el origen del acontecimiento bíblico del Diluvio. Según Suess, el Diluvio pudo haber sido debido a una ola gigante que devastó el llano del bajo Eúfrates desencadenada, bien por un violento sismo, bien por la caída de un meteorito, ambos en el Golfo Pérsico (Rothé, J.P. 1946; Beminghausen, Wm. H. 1966).

#### **4. A modo de conclusión**

El elevado número de víctimas que se produjo en el Tsunami de Indonesia estuvo directamente relacionado con la extraordinaria magnitud del sismo responsable así como su superficialidad, que generó un tsunami que llegó a alcanzar olas de alturas de varios metros. En una zona donde los grandes sismos no son excesivamente frecuentes y donde los tsunamis lo son todavía menos, la falta de conocimientos acerca del mecanismo y efectos de los mismos explican, en parte, los grandes daños ocasionados y los numerosos fallecidos y desaparecidos.

No obstante, el verdadero responsable de la magnitud que alcanzó esta catástrofe podemos afirmar que fue la falta de un sistema de alerta y aviso de tsunamis que de haber existido hubiera permitido en numerosos lugares costeros de los diferentes países afectados, alertar a la población y evacuarla de las playas y zonas de litoral. Excepto en la costa noroeste de la isla de Sumatra, la más próxima al epicentro del sismo, donde las olas llegaron al cabo de unos veinte minutos después de producirse el terremoto, tiempo escaso para evacuar la zona, en el resto de los países afectados hubo tiempo más que suficiente para que se hubiera podido hacer, con tiempos entre la hora y media-dos horas para Tailandia, India, Myamar...etc hasta las seis-siete horas para Somalia y las islas Maldivas.

Junto a lo anterior cabe también añadir la necesidad de una formación adecuada por y para los responsables de los gobiernos y de los centros turísticos y hoteles, para que sepan como actuar en caso de presentarse un fenómeno de esta naturaleza. Y si es posible, ofrecer desde las escuelas dicha formación y educar a los niños y adultos para que puedan reconocer, en caso de ocurrir, los fenómenos precursores que anuncian la llegada de un tsunami. Del mismo modo que hay una educación e información sobre qué hacer en caso de un terremoto, debería haberlo para el caso de un tsunami. Con ello se podrían haber evitado las demandas que interpusieron por parte de familiares de las víctimas, contra el propio gobierno tailandés, contra un hotel y contra el Servicio Meteorológico de EE.UU dependiente de la Administración Norteamericana Oceánica y Atmosférica, y más concretamente contra el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico en Hawaii.

## Bibliografía:

- AYALA, F.J. y OLCINA CANTOS, J. (Coords) (2002): *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel, Barcelona, 1.512 pp.
- BERMINGHAUSEN, W.H. (1966): «Tsunamis and seismic seiches reported from regions adjacent to the Indian Ocean», *Bull. of the Seismologic Soc. Of America*, Vol. 56, Nº1, pp. 69-74.
- BRYANT, E. (2001): *Tsunami: the underrated hazard*, Cambridge University Press, 320 pp.
- CALVO GARCÍA-TORNAL, F. (2001): *Sociedades y territorios en riesgo*. Ediciones Del Serbal, Col. Estrella Polar, Madrid, 186 pp.
- CAMPOS ROMERO, M<sup>a</sup>L. (1990). *Sismicidad de la costa sudoccidental de España. Análisis y valoración geográfica de los posibles riesgos como consecuencia de los tsunamis en la zona*, Tesis Doctoral, Ed. Univ. Complutense de Madrid, 734 pp.
- CAMPOS ROMERO, M<sup>a</sup>L. (1990): «Epicentral parameters of Lisbon Earthquake based on the study of the Tsunami raised», en: *Workshop on Historical Earthquakes in the Ibero-Maghrebian Region*, Lisboa, noviembre de 1989, pp. 16.
- CAMPOS ROMERO, M<sup>a</sup>L. (1991): «Tsunami Hazard on the Spanish coasts of the Iberian Peninsula», en: *Science of Tsunami Hazards, The International Journal of the Tsunami Society*, Vol. 9, Nº1, Especial Issue, Honolulu, Hawaii, U.S.A., pp. 83-91.
- CAMPOS ROMERO, M<sup>a</sup>L. (1991): «Los riesgos naturales y su incidencia en la península. El riesgo sísmico y de tsunamis en el suroeste español», en: *II Congreso Nacional de Geografía*, Departamento de Geografía de la Facultad de Geografía e Historia de Valencia y AGE.
- CAMPOS ROMERO, M<sup>a</sup>L. (1992): *El riesgo de tsunamis en España. Análisis y valoración geográfica*, Instituto Geográfico Nacional, MOPT, Monografía nº 9, Madrid, 204 pp.
- CARREÑO HERRERO, E. y otros (1998): *Terremotos y peligrosidad de tsunamis en España*. CDROM, Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- CATALÁN, M.; BOLOIX, M. Y VALENZUELA, J. (1979): «Propagación de maremotos en la región de Azores-Gibraltar», *Inst. y Observ. de la Marina*, San Fernando; II Asamblea nacional de Geodesia y Geofísica, I.G.N., Madrid, T. I, pp. 419-438.
- CONESA GARCÍA, ÁLVAREZ ROGEL y MARTÍNEZ GUEVARA (Eds.), (2004): *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales. Análisis mediante tecnología SIG y Teledetección*, Departamento de Geografía de la Universidad de Murcia, Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección, Murcia, Vol. I y II.
- LAÍN HUERTA L. (2002): *Los Sistemas de Información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente*. Segundas Jornadas sobre SIG en Riesgos naturales y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 227 pp.
- LÓPEZ MEDINA, O.D. (2002): *Tsunamis: generación y mitigación de sus efectos*. Proyecto de Fin de Carrera, Facultad de Náutica de Barcelona.
- ROTHER, J.P. (1946): «Le seisme de 27 November 1945 et l'hypothèse de Suess sur la cause du deluge», *comp. Rendus Acad. Sci.*, París, 222, pp.301-302.
- SOLOVIEV, S.L. (1980): «Tsunamis», en: VV.AA. *Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad*, Parte I, Cap. 5, Ed. Blue, pp.124-147.
- SOLOVIEV, S.L.; CAMPOS ROMERO, M<sup>a</sup>L. y PLINK. N.L. (1992): «The Orleansville Tsunami of 1954 and El Asnal Tsunami of 1980 in the Alboran sea (Southwestern Mediterranean Sea)», en: *Rev. Izvestia, Earth Physics*, Vol. 28, Nº9, Moscú, pp. 739-760.
- SOLOVIEV, S.L. et al. (2000): *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 BC-2000 AD*. Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Col. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Nº 13, 237 pp.
- TINTI, S. y GUILIANI, D. (1983): «The Messina Straits tsunami of December 28, 1908: a critical review of experimental data and observation», en: *II Nuovo Cimento*, Vol. 60, Nº 4, pp. 429-442.
- WARD, S.N. y DAY, S. (2001): «Cumbre Vieja Volcano, potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands», en: *Rev. Geophysical Research Letters, America Geophysical Union*, Vol. 28, Nº17, pp. 3397-3400.

WYNN, R.B. y MASSON, D.G. (2003): «Canary Islands landslides and tsunami generation: can we use turbidite deposits to interpret landslide processes», en: *Rev. Geophysical Research Abstracts, European Geophysical Society*, Vol. 5, N°3, pp. 456-479.

VV.AA.: *Rev. Science of Tsunami Hazard: the International Journal of the Tsunami Society*, Honolulu, Hawaii, USA.

**Enlaces de interés:**

<http://www.earthquake.usgs.gov/bytopic/tsunami.html>  
<http://www.geohazards.no/proyectos/tsunami261204.htm>  
[http://www.neic.usgs.gov/neis/bulletin/neic\\_slav\\_ts.html](http://www.neic.usgs.gov/neis/bulletin/neic_slav_ts.html)  
<http://earthobservatory.nasa.gov>  
<http://www.gsi.org>  
<http://www.prh.noaa.gov/itic>  
<http://es.wikipedia.org/wiki/tsunami>