

TSUNAMIS

> INVESTIGACIÓN

DESPUÉS DE LA CATÁSTROFE

REALMENTE, LO ÚNICO POSITIVO QUE SE PUEDE OBTENER DE LA TRAGEDIA VIVIDA EN EL SUDESTE ASIÁTICO EN DICIEMBRE DEL AÑO PASADO ES QUE NUESTRO CONOCIMIENTO SOBRE EL FENÓMENO DE LOS TSUNAMIS Y LAS MEDIDAS NECESARIAS PARA SU PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN SE VERÁN AUMENTADOS DE FORMA MUY SIGNIFICATIVA EN LOS PRÓXIMOS AÑOS. UN FENÓMENO COMO AQUEL GENERA A SU ALREDEDOR UN GRAN VOLUMEN DE INVESTIGACIÓN: DESDE MODELOS MATEMÁTICOS DE DISPERSIÓN DE LAS ONDAS A SONDEOS GEOLÓGICOS TRAS EL RASTRO DE ANTIGUOS EPISODIOS SIMILARES. LA GRAN CANTIDAD DE DATOS RECOGIDOS EN TODO EL MUNDO PERMITE TRAZAR UN PRECISO "DIARIO" DEL TSUNAMI. TEXTO **LUIS DE LUQUE**

> **DIARIO DE UN TSUNAMI** Desde un punto de vista geológico, ésta era la situación en el oeste de la isla de Sumatra (Indonesia) hasta el día 26 de diciembre de 2004: la placa de Burma (situada entre las placas de India y Australia) acumulaba la tensión del empuje bajo la propia isla, donde se hundía en dirección al manto terrestre. Los terremotos en la zona eran frecuentes (grandes sismos cada 200 años, según datos históricos) y otros tsunamis destructivos habían afectado a la región durante la última década (Isla de Flores en 1992, Irian Jaya en 1996).

El día 26 de diciembre de 2004, a las 7.58 AM (hora local en Indonesia), la placa de Burma se desplazó bruscamente bajo la isla de Sumatra, liberando una enorme energía que provocó un terremoto de 9,15 grados en la escala Richter: el cuarto terremoto en magnitud de los últimos 100 años. La deformación afectó a unos 125.000 km² de la placa que se hundía (un récord) y produjo la elevación de hasta 20 metros en algunas zonas del continente. El foco del terremoto (hipocentro) se situó a una profundidad de cerca de 30 km y el epicentro (su representación en la superficie) a 250 km al oeste de la costa de Sumatra. El movimiento que se generó a lo largo de los 1.200 km de

COBERTURA

La cobertura informativa del tsunami del 26 de diciembre de 2004 fue espectacular y, los datos científicos aportados, muy precisos: al día siguiente podíamos ver, además de impresionantes imágenes sobre la tragedia humana, animaciones que mostraban el desplazamiento de las ondas del tsunami, estimaciones sobre magnitud y localización del terremoto, la intensidad del sismo en diferentes regiones e incluso valores de la posible modificación del giro de la Tierra. Gracias a la gran cantidad de datos accesibles, hechos públicos desde centros de investigación de todo el mundo, ahora podemos reconstruir un relato realista del tsunami de Indonesia.

frente del terreno duró alrededor de 10 minutos (la mayor duración registrada hasta hoy) y pudo percibirse en sismógrafos de todo el planeta (en España aproximadamente 12 minutos después de producirse el temblor).

Utilizando los datos obtenidos a partir del terremoto principal y sus réplicas, investigadores de la NASA dedujeron la deformación que teóricamente había sufrido la Tierra: al hundirse la placa de Burma, el planeta se había hecho una diez mil millonésima menos "achatado" y eso podría acelerar el giro de la Tierra, igual que un patinador acelera su rotación al recoger los brazos mientras gira, acortándolo 2,68 microsegundos (millonésimas de segundo); algo imposible de medir pero sí de calcular. Otras consecuencias serían una imperceptible variación en la cíclica oscilación del eje de la Tierra y un desplazamiento centimétrico del eje de giro que pasa por los polos. Estos datos despertaron el interés, y cierta alarma, de las personas que seguían las noticias a distancia, pero se puede afirmar que nadie necesitará modificar la hora de su reloj ni habrá cambios climáticos asociados a este fenómeno.

Sin embargo, la deformación del terreno sí se produjo a una escala que hará necesario realizar nuevos mapas topográficos de la

zona, ya que actualmente, gracias a la tecnología satélite y GPS, la precisión que se obtiene es casi milimétrica y los desplazamientos alcanzaron varios metros.

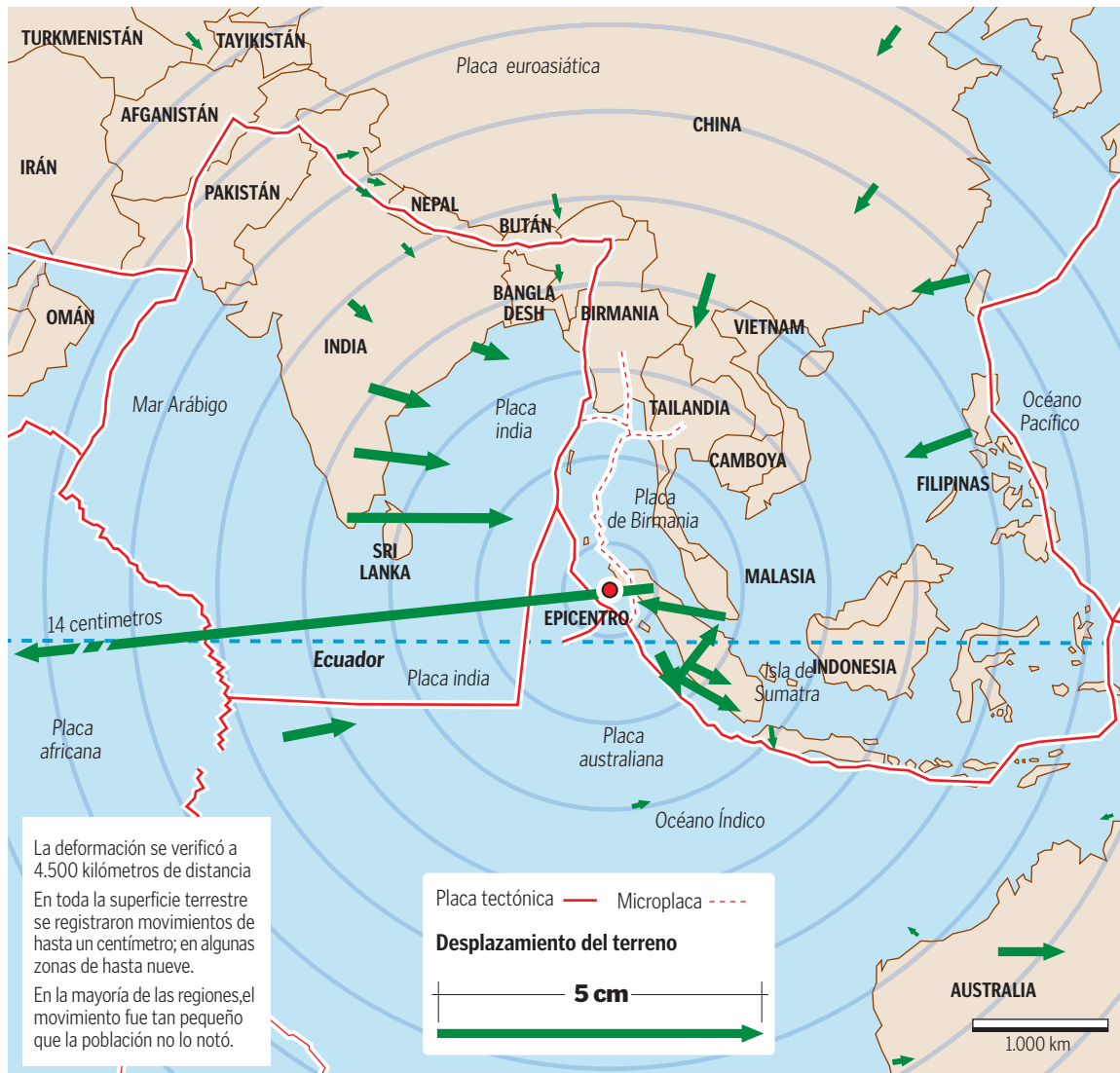
Lo que sin duda tuvo trascendencia fue la destrucción causada por el terremoto, que derrumbó cientos de edificios y sepultó a miles de personas en pocos minutos. Estos datos aportan otro parámetro a los científicos: la intensidad del terremoto, un valor que refleja el efecto del sismo en cada región. A pesar de la importancia de los daños, el efecto del terremoto quedó eclipsado por otro fenómeno catastrófico asociado al movimiento sísmico: el tsunami.

UNA MASA DE AGUA El desplazamiento del fondo oceánico movilizó toda la masa de agua que lo cubría de forma instantánea. Los millones de toneladas de agua marina oscilaron para recuperar el equilibrio formando una serie de ondas semejantes a cuando se lanza una piedra sobre una laguna. Estas ondas constituyen el tsunami, un riesgo natural que se produce cuando hay un desplazamiento del fondo oceánico generalmente como consecuencia de terremotos, deslizamiento o erupciones volcánicas submarinas.

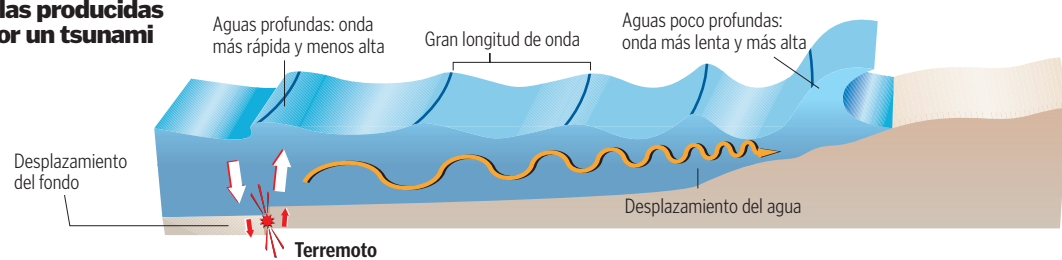
El tren de ondas se desplazó desde la placa de Burma en todas direcciones. En aguas profundas,

las ondas de gravedad se desplazaron a aproximadamente 650 km/h pero no alcanzaban una altura mayor de un metro; un barco podría perfectamente no notar que las ondas pasaban bajo su casco. Según se acercaban las olas a las costas y la profundidad se reducía se produjeron varios fenómenos: las ondas viajaban más despacio, por lo que se apilaban y cambiaban su forma al frenar con el fondo y debido al rebote en los relieves submarinos (refracción). Como consecuencia de estos fenómenos, la altura de la ola aumentó considerablemente, alcanzando la costa de forma diferente en función de la orientación y el relieve de cada área. Éste es el motivo de que en zonas muy cercanas, las olas alcanzaran alturas muy distintas y, mientras en unas playas llegaron como un frente turbulento y agitado, en otras se trató de una marea que subía muy rápidamente o de un tren de olas que rompían sucesivamente una detrás de otra. En algunos lugares, antes de la llegada de la ola, se produjo un retroceso del mar. Este efecto propio de algunos tsunamis se debe a que primero llega el surco existente entre cada cresta de las ondas y, pocos minutos después, la primera cresta. Tras romper en la costa y, a diferencia de las olas normales formadas por el viento, la inunda-

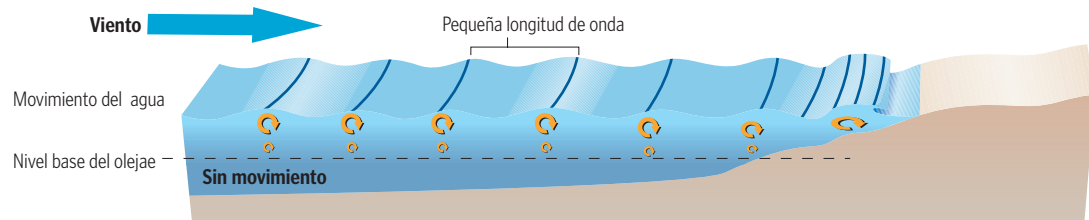
Desplazamientos del terreno



Olas producidas por un tsunami



Olas meteorológicas



ción continuó durante muchos segundos e incluso minutos, arrasando el suelo, la vegetación, los edificios más débiles, objetos como coches o barcos y, por supuesto, a los miles de personas que habitaban o visitaban costas tan alejadas como las de Indonesia, India, las Islas Seychelles o el este de África.

Al menos se produjeron tres olas gigantes, aunque su número varió dependiendo de las regiones. Las más afectadas fueron las más cercanas; las costas de Sumatra y, después, las orientadas directamente al epicentro (Sri Lanka, Tailandia y la India): en total, más de 300.000 fallecidos. Las bahías en forma de embudo y la entrada de estuarios y valles fueron las áreas afectadas por mayores olas, ya que éstas quedan encauzadas y aumentan su amplitud. La agitación del mar tras el tsunami duró horas e incluso días como consecuencia de la refracción de las ondas. Los mareógrafos de todo el mundo registraron olas anómalas.

LUIS DE LUQUE ES GEÓLOGO EN LA FUNDACIÓN CONJUNTO PALEONTOLÓGICO DE TERUEL

MÁS INFORMACIÓN

www.pmel.noaa.gov/tsunami/sumatra20041226.html
en.wikipedia.org/wiki/2004_Indian_Ocean_earthquake

NUEVOS SISTEMAS DE DETECCIÓN

> **MINIMIZAR LOS DAÑOS** Los tsunamis no se pueden evitar, llevan ocurriendo miles de años y lo seguirán haciendo. Lo que realmente causa el riesgo es la presencia humana en lugares donde ésta actividad se produce.

Para minimizar los daños la principal medida es la prevención, que pasa principalmente por la educación y la información. Además, existen medidas concretas en la costa; señalización del riesgo, vías de evacuación, capacidad de aviso de las autoridades y mapas de riesgo locales. Pero, sin duda, la medida más significativa fue tomada en Estados Unidos a mediados del siglo XX: la creación de un sistema de alerta de tsunamis (Tsunami Warning System). Éste consiste en alertar a los centros asociados en el Pacífico del registro de terremotos submarinos. Estos centros evalúan el riesgo y, en caso de existir un peligro real, toman las medidas oportunas, generalmente la evacuación de las zonas costeras. Pero no todos los terremotos submarinos producen tsunamis ni todos los tsunamis son destructivos, por lo que el sistema ha producido numerosas falsas

alarmas, con el consiguiente coste económico y pérdida de confianza de la población.

Actualmente, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, en Estados Unidos) ha desarrollado un nuevo sistema de detección de tsunamis denominado BPR (Bottom-Pressure-Record, Registro de la Presión del Fondo), que se basa en detectar el paso de la onda por el océano. En este sistema, unos sensores situados en el fondo oceánico detectan los mínimos cambios de presión que produce la onda al pasar. La información se envía a un satélite mediante una boya en superficie y éste advierte a los sistemas de alerta. Este sistema no resulta demasiado caro y parece fiable, pero aún no se ha probado su eficacia.

Un tsunami semejante al del sureste asiático que afectará a las costas españolas produciría una tragedia que sorprendería a la mayor parte de la población. Sin embargo, existen datos suficientes como para tomar medidas proporcionadas y eficaces de prevención que evitaren buena parte de los posibles daños (educación, mapas de riesgos, planes de evacuación).

LOS ÚLTIMOS ESTUDIOS

El terremoto del pasado diciembre fue el primero de su magnitud que ha sido medido y estudiado con instrumentos sísmicos digitales. Las conclusiones del análisis de esos datos fueron publicadas el mes pasado por la revista "Science". Las oscilaciones causadas por el sismo, que quedaron registradas en más de 400 sismógrafos de todo el mundo, han permitido a los científicos estudiar las características del terremoto. Jeffrey Park, del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Yale, indica que "es como cuando golpeamos una sandía para ver si está madura. Los tonos naturales que produce el terremoto en los sismógrafos nos ayudan a detectar las propiedades del manto y el núcleo terrestres". Park añadió que ahora, con datos más precisos, el terremoto de diciembre podría ayudar a resolver varias controversias sobre las placas tectónicas bajo la corteza en África o si los cristales microscópicos de hierro puro del interior se alinean con su eje de rotación. Los últimos estudios han precisado detalles (algunos casi imperceptibles) de lo que ocurrió:

■ Investigadores del Instituto Wadia de Geología del Himalaya y del Instituto Geológico de EE UU señalaron que el terremoto de diciembre fue mucho más vio-

lento y lento de lo que se creía: según datos proporcionados por las estaciones GPS, la magnitud fue de 9,15 (no de 9,0); duró unos diez minutos, cuando la duración media de un sismo es 30 segundos. ■ "No hubo parte alguna del planeta que no se viese perturbada" por el fenómeno, ha afirmado Roger Bilham, de la Universidad de Colorado. La elevación del suelo oceánico desplazó tanta agua de la bahía de Bengala y sus inmediaciones que el nivel del mar en todo el mundo subió 0,1 milímetros. Un valor pequeño pero que afectó a todo el planeta.

■ La fractura del lecho marino movilizó más de 30 kilómetros cúbicos de agua.

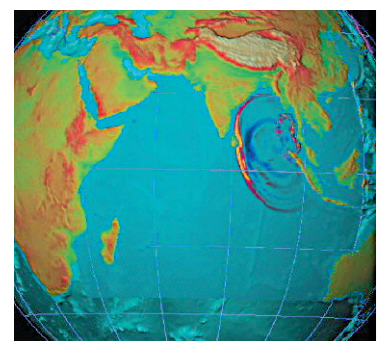
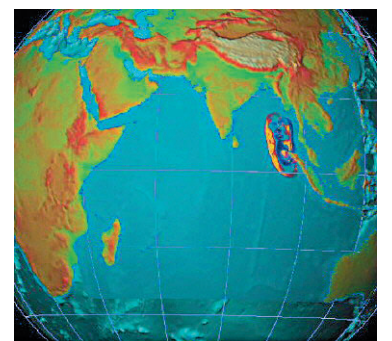
■ La energía liberada por los violentos movimientos telúricos fue equivalente a una bomba de unos 100 gigatonnes o el consumo de energía en Estados Unidos durante seis meses, informa Roger Bilham de la Universidad de Colorado.

■ La Tierra está vibrando como una campana casi seis meses después del terremoto", según Roland Bürgmann, profesor de Ciencias Planetarias y de la Tierra en la Universidad de California. Esta vibración es prácticamente inapreciable instrumentalmente y completamente imperceptible en la vida práctica.

AGENCIAS

LA PROPAGACIÓN

■ La NOAA realizó esta animación del tsunami del Índico pocas horas después de ocurrir. La realización de estos modelos tridimensionales es muy compleja; se plantea en tres fases: formación del tsunami, propagación de la onda e inundación o "run-up". El modelo asume que la deformación del agua es la misma que la del fondo cuando éste se desplaza por causa del terremoto, por lo tanto utiliza los datos sísmicos, de longitud de la falla, área deformada, deslizamiento, ángulo, etc. Para la propagación en el océano es básico conocer la profundidad del agua y, por tanto, el relieve submarino. Además se tienen en cuenta la curvatura de la Tierra y la fuerza de Coriolis. La inundación es, sin duda, la parte más compleja de los modelos y requiere un conocimiento muy preciso de la batimetría. El resultado de los modelos es bastante satisfactorio con respecto a la propagación en mar abierto, pero la altura de las olas en su llegada a la costa muestra notables diferencias con las observadas en el terreno.



NOAA

EL ANÁLISIS DE LOS DATOS

> **DESPUÉS** Un fenómeno como el tsunami del Sudeste asiático genera mucha investigación. Actualmente, varios equipos de científicos estudian el fenómeno desde distintos puntos de vista: modelos matemáticos de la dispersión de las ondas, cambios en la topografía de la superficie y el fondo oceánico, parámetros del terremoto y superficie afectada por la deformación (superficie "aftershock"), tipos y dimensiones de las olas, efecto en la dinámica costera, etc. En este trabajo, el papel de los satélites es fundamental, ya que aportan imágenes y datos detallados de las zonas afectadas, pero también es necesario realizar un trabajo de campo sobre el terreno. En este sentido, los geólogos son los únicos que pueden descifrar cada cuánto tiempo ocurre un tsunami en una región si hay ausencia de documentos antiguos que lo mencionen. Para ello, estudian las capas de arena, fango y bloques de roca que las olas han dejado en el interior del terreno. Por medio de sondeos, si las condiciones son favorables, se puede determinar cuántas de estas capas existen en la costa para un periodo determinado (la edad de las capas se sue-



Sondeo para sacar registros de tsunamis en Cádiz.

le conocer mediante el método del carbono 14). De esta forma, se obtiene un cálculo estadístico de la frecuencia de estos eventos. Este tipo de estudios es bastante reciente, pero ya ha obtenido resultados valiosos en las costas del oeste de EE UU y Japón, donde se pronostica un fuerte tsunami cada 300 años (el último ocurrió en 1700!).