

## Por qué se produce un maremoto

Generalmente los maremos o *tsunamis* se generan por un deslizamiento de las placas tectónicas bajo el agua.

Levantamiento de la placa



Hundimiento de la placa

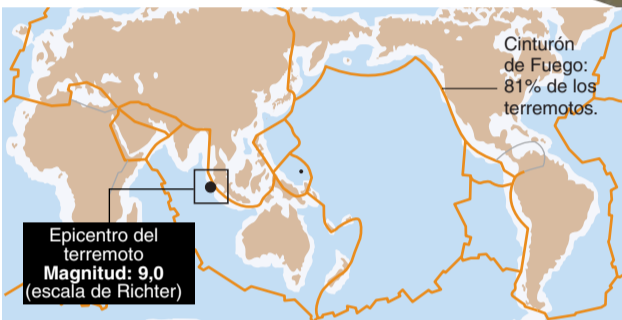


Cuando el agua desplazada tiende a nivelarse, se generan las olas.

El movimiento del lecho marino desplaza una enorme cantidad de agua hacia arriba.



### LAS PLACAS TECTÓNICAS TERRESTRES



Si el relieve de la costa es escalonado contribuye a frenar la velocidad de las olas.

La zona donde se produjo el maremoto, no disponía de un sistema sísmico de vigilancia.

La fuerza de las olas hace que el agua penetre varios cientos de metros en la costa, inundando todo lo que encuentra a su paso.

**OLAS GIGANTES**  
Las olas pierden velocidad según se van acercando a la costa y ganan altura a medida que disminuye la profundidad del fondo.

En costas poco profundas pueden llegar a superar los 30 metros de altura, por lo que son completamente destructivas.

A. EGUINOVA / EL PAÍS

## EL TERREMOTO DE SUMATRA QUE PRODUJO LA OLA HA SIDO EL CUARTO MÁS FUERTE DESDE 1900

# Cómo salvarse de un 'tsunami'

JAVIER SAMPEDRO

Es difícil encontrarlas entre tanta muerte, pero en toda catástrofe se oculta alguna historia feliz, algún golpe de paradójica fortuna como el protagonizado por Tilly Smith, una niña británica de 10 años que salvó la vida a un centenar de turistas el pasado día 26 en una playa de la isla de Phuket, en Tailandia. Unos minutos antes de que la gran ola destructora fuera visible desde la costa, el agua retrocedió alejándose de la playa. Muchos lo vieron, pero sólo Tilly supo interpretarlo. Era el signo de que se acercaba un tsunami. Lo había estudiado en la escuela unas semanas antes. "¡Viene una ola gigante!", gritó. Nadie sabe por qué los turistas hicieron caso de la alarma de una niña, pero esa credulidad les salvó la vida, porque les dio tiempo de salir corriendo antes de que el tsunami fuera visible, y su playa fue una de las pocas de la isla de Phuket que no registraron víctimas.

Entre los testimonios del horror conocidos en las últimas dos semanas, llaman la atención por su consistencia los relatos del minuto anterior al desastre. "Algunos sintieron primero el temblor de tierra y otros vieron el mar desaparecer de las playas", narraba un corresponsal occidental en la zona. La turista finlandesa Katri Seppanen lo describió así: "Las aguas retrocedían, retrocedían tanto que todo el mundo se preguntaba qué era aquello, si se debía a la luna llena". Una pareja británica que se alojaba en Khao Lak (Tailandia) añadió: "En un momento, el mar estaba a nuestros pies, y en

Unos minutos antes de que la gran ola destructora fuera visible desde la costa, el agua retrocedió alejándose de la playa. Muchos lo vieron, pero sólo Tilly supo interpretarlo

Los inicios de un 'tsunami' tienen una apariencia muy modesta. La energía del terremoto tiene el mismo efecto que una piedra tirada a un estanque: genera un tren de ondas concéntricas

Un barco que hubiera estado encima del epicentro habría presenciado el nacimiento del maremoto, pero no le habría otorgado la menor importancia: una simple ola de medio metro de altura

el momento siguiente había retrocedido medio kilómetro. La gente empezó a caminar hacia la orilla para verlo mejor". Un pescador de Sumatra lo vivió así desde su barca: "El agua se retiró de la costa y los peces saltaban sobre la arena".

Lo que Tilly había aprendido en clase es un fenómeno bien documentado desde el catastrófico maremoto que destruyó Lisboa el 1 de noviembre de 1755. Lo primero que vieron los lisboetas fue que el agua retrocedía exponiendo a la vista el fondo marino, y el espectáculo fue tan insólito que muchos de ellos bajaron a la arena húmeda para presenciarlo de cerca. El muro de agua llegó unos minutos después y acabó con sus vidas de forma instantánea. La historia se acaba de repetir. Y la asombrosa actuación de Tilly demuestra lo mucho que se podría haber evitado, no ya con sofisticados detectores ni costosas redes de alarma, sino tan sólo con un conocimiento básico de la física de un tsunami.

Un tsunami, o maremoto, tiene su origen en un fuerte terremoto con epicentro bajo el mar, y el que ocurrió el 26 de diciembre, de grado 9 en la escala de Richter, fue uno de los más brutales que se han registrado en la historia. La escala de Richter fue ideada en 1935 de una manera más bien arbitraria. Se asignó un valor próximo a cero a los terremotos más débiles que podían detectarse en aquella época. Después se aumentaba una unidad por cada incremento de 10 veces en la magnitud del terremoto. Un terremoto de grado 9 es 10 veces más potente que uno de grado 8. La escala Richter no tiene un límite superior, pero el grado 9 es, en la práctica, casi el

máximo que se ha observado desde que hay registros.

El terremoto de Sumatra ha sido el cuarto más fuerte del mundo desde 1900, y el mayor desde el que sacudió Alaska en 1964. Pero la mayor parte de sus 150.000 víctimas no murió como consecuencia directa del seísmo, sino del tsunami que éste provocó. Y de la imprevisión de los Gobiernos de la zona.

Según los datos del servicio de Inspección Geológica de Estados Unidos (USGS), el terremoto del día 26 tuvo su epicentro a 30 kilómetros de profundidad y a 250 kilómetros de Banda Aceh, en la costa de Sumatra (Indonesia). Empezó exactamente siete segundos antes de las 7.59 hora local y duró tres minutos. Y liberó una energía de 475 megatones, el equivalente a 23.000 bombas atómicas como la de Hiroshima. Sólo una pequeña fracción de esa energía se transmitió al agua que estaba encima del epicentro, pero fue suficiente para desencadenar el desastre.

### Inicios modestos

Los inicios de un tsunami tienen una apariencia muy modesta. La energía del terremoto tiene el mismo efecto que una piedra tirada a un estanque: genera un tren de ondas concéntricas, es decir, una serie de olas que se propagan como circunferencias de radio creciente a partir del lugar del impacto. Y esas olas parecen insignificantes. Un barco que hubiera estado justo encima del epicentro habría presenciado el nacimiento del maremoto, pero no le habría otorgado la menor importancia: una simple ola de medio metro de altura. Entre diez minu-

tos y una hora después llega otra ola similar, y así.

La energía destructora de esa onda no está acumulada en su altura, sino en su longitud. En el caso de la piedra tirada al estanque, la longitud de onda (la distancia entre una ola y la siguiente) es de 20 o 30 centímetros. En el tsunami del día 26 era de 100 o 200 kilómetros. Cada ola circular se movía en todas las direcciones a una velocidad cercana a los 500 kilómetros por hora. A medida que se iba acercando a cualquier costa, la fricción con el fondo marino cada vez más somero iba reduciendo su velocidad. Y los físicos conocen bien lo que ocurre cuando se reduce la velocidad de propagación de una onda: su longitud se acorta y su altura crece en correspondencia. El tsunami es una onda tan larga que este proceso puede llegar a producir olas de 30 metros de altura en sólo 10 minutos. Y justo al lado de la costa. El tsunami del Índico no superó los 10 metros de altura. Pudo ser peor.

Una onda tiene picos y valles, y lo primero en llegar a la costa puede ser un valle. Eso quiere decir que la ola, que se está formando allí atrás, chupa el agua que está delante de ella, y, por tanto, el mar retrocede de las playas. El retroceso puede llegar a medio kilómetro en sólo diez minutos, como relataba la pareja británica de Khao Lak, y suele suscitar una fatal curiosidad entre los observadores costeros, como ocurrió en Lisboa en 1755. Pero es la señal de que un tsunami se acerca. Ésta es la lección que tan bien se había aprendido la niña Tilly Smith.

"La zona afectada ha sufrido bastantes tsunamis en los últimos dos siglos, lo que hace in-

creíble que la población no haya recibido la información básica para protegerse”, dice el especialista en *tsunamis* Iñigo Losada, catedrático de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. “El retroceso del agua suele ser muy rápido y llamativo, porque hace emerger regiones del fondo que los habitantes de la zona no habían visto jamás. Es un problema de cultura. Los hawaianos, que tienen un *tsunami* cada siete años en promedio, saben perfectamente lo que significa el retroceso del agua, de qué tiempo disponen y qué hacer para evacuar las zonas de riesgo. Esa mínima información hubiera salvado muchísimas vidas en el Índico”.

Las personas habrían dispuesto de más de diez minutos hasta la llegada del *tsunami*, y ese tiempo habría bastado en la mayoría de los casos para correr hasta zonas en que el agua ya no llega con fuerza. La cultura general salva vidas.

No todos los *tsunamis* llegan por el valle de la onda. Otras veces, lo primero que se puede observar es una primera ola de buen tamaño. “Ocurre a menudo que la gente ve la primera ola, que no es necesariamente la más grande, y se cree que eso era todo”, explica Losada. “Entonces se acercan a la orilla para hacer unas fotos”.

#### Sistemas de alerta

Hay muchas más cosas que se podrían haber hecho. “Un sistema de alerta no puede prevenir un *tsunami*, pero con toda seguridad habría reducido la pérdida de vidas el 26 de diciembre”, asegura el jueves la sismóloga Anne Meltzer, de la Universidad de Lehigh (EE UU), en un comunicado de esa institución. La red global de sismógrafos puede determinar la posición y la magnitud de cualquier terremoto a los pocos minutos de que ocurra, y es fácil estimar entonces cuál es la probabilidad de que provoque un *tsunami*, y hacia dónde se dirigirá, y en cuánto tiempo. “Un sistema de ese tipo no está en marcha en el océano Índico, pero sí en muchos países del Pacífico”, dice Meltzer.

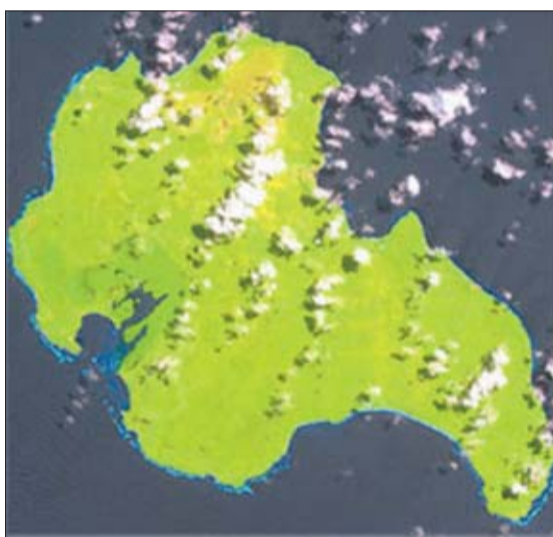
Un repaso a los horarios del maremoto asiático basta para intuir el profundo efecto que hubiera tenido ese sistema de alerta. El *tsunami* se movía a 500 kilómetros por hora. Lo primero que alcanzó fue la costa norte de Sumatra, situada a sólo 250 kilómetros del epicentro. Aun así, los habitantes de esa zona habrían dispuesto de media hora para correr. Es el triple de los diez minutos que Tilly Smith regaló a los turistas de su playa. Aún más tiempo habrían tenido en Tailandia y Malasia (una hora), y no digamos ya en la India y Sri Lanka (casi cuatro horas). En estos dos últimos países murieron casi 40.000 personas.

El jueves partió hacia la zona un equipo de investigación organizado por el USGS estadounidense y el Gobierno de Nueva Zelanda. Su misión es examinar las áreas inundadas, estimar la altura que alcanzaron las olas, buscar depósitos de sedimentos y evaluar los daños estructurales, con el objetivo de preparar el desarrollo futuro de un sistema de alerta. Uno de los 10 miembros del equipo es James Goff, director de la firma neozelandesa GeoEnvironmental Consultants.

“Muchos pueblos y aldeas simplemente han desaparecido”, dice Goff en una entrevista por correo electrónico. “Que se reconstruyan o no dependerá de un delicado equilibrio entre el riesgo de



El par de fotos por satélite (antes y después del *tsunami*) muestra la devastación en Banda Aceh, norte de Sumatra. / NATURE



Bahía sumergida por el *tsunami* en la isla de Katchall, en el archipiélago indio de Nicobar, al norte de Sumatra. / NATURE

que vuelvan a ser destruidos por otro *tsunami* y la política de prevención que adopten los Gobiernos de la zona. Recuerdo que, tras el *tsunami* de 1998 en Papúa Nueva Guinea, los expertos aconsejaron no reconstruir los pueblos en el mismo sitio en que estaban, debido al riesgo extremo de nuevos maremotos. Pero la verdad es que la mayor parte de la gente no tenía otro sitio adonde ir, de modo que acabaron volviendo al mismo lugar”.

Goff prosigue: “En cuanto al medio natural, el principal efecto es la erosión. Muchas playas han perdido toda su arena, por ejemplo. El ajuste natural de la línea de costa restaurará la geografía anterior al *tsunami*, pero eso llevará años en algunos casos, y sospecho que décadas o siglos en otros. La erosión tam-

Como cualquier otro experto, Goff no tiene la menor duda de que los maremotos seguirán causando catástrofes. “La cuestión no es si volverá a ocurrir”, dice, “sino cuándo”

bién ha rellenado algunos humedales, ha formado otros nuevos y ha ensanchado los ríos. Algunos de estos efectos obligarán a redibujar los mapas”.

Como cualquier otro experto, Goff no tiene la menor duda de que los maremotos seguirán causando catástrofes. “La cuestión no es si volverá a ocurrir”, dice. “La cuestión es cuándo. Este *tsunami* asiático ha llegado casi exactamente en el 250º aniversario del célebre maremoto de Lisboa, y no deberíamos perder la oportunidad de concienciar a la opinión pública. Estoy al tanto de los excelentes trabajos sobre el tema de mis colegas españoles y portugueses sobre los *tsunamis* y sus efectos, pero, por desgracia, la percepción pública del riesgo de estos fenómenos siempre ha sido el hermano pobre de

otros peligros que parecen más inminentes o más interesantes, como los terremotos, las inundaciones y los incendios. Tal vez ahora cambie el énfasis”.

El especialista neozelandés concluye con una curiosa coincidencia: “Unos días después del *tsunami* del Índico, leí en un periódico una frase de una mujer de Sri Lanka: ‘He vivido aquí toda mi vida, y esto no ha pasado nunca’. Un rato después volví a leer la misma frase en un periódico neozelandés, pero esta vez pronunciada por una figura pública para expresar su rechazo al informe sobre el riesgo de *tsunamis* que acababa de elaborarse para su ciudad. Los científicos de *tsunamis* saben de lo que hablan, pero muy poca gente les escucha. Es extraño”.

#### Nuevos mapas

“Probablemente no tengamos que redibujar los mapas geográficos convencionales, pero sin duda tendremos que rehacer los mapas topográficos”, explica a EL PAÍS otro de los miembros del equipo, Costas Synolakis, un especialista de la Universidad de Southern California. “El gran valor de las imágenes comparativas de satélite [entre ellas las que se muestran en esta página] es que nos permitirán calibrar nuestros modelos matemáticos de evolución de *tsunamis* y de las inundaciones que causan. Hasta ahora, los modelos se han ajustado midiendo la penetración máxima que ha alcanzado el agua. Incluso en la última inspección del *tsunami* de 2002 en Papúa Nueva Guinea, la expedición dirigida por mi colega José Borrero tuvo que guiarse por las descripciones de los testigos para programar su trabajo. Los pares de imágenes de satélite nos harán avanzar mucho en los programas de reducción de riesgos por los maremotos”.

Desde el día de la catástrofe, Synolakis sólo ha podido dejar de trabajar un día, el 30 de diciembre. Para casarse. “Necesitamos mapas del fondo marino”, prosigue el científico. “Como todo el mundo sabe, conocemos mejor la superficie de Venus que el fondo de nuestros océanos. El terremoto fue muy fuerte, y probablemente ha producido grandes cambios en el fondo marino. Necesitamos cartografiarlos para comprender lo que ocurrió e identificar los futuros riesgos”.

Synolakis concluye: “Será el primer terremoto en que se hagan medidas precisas de todos los cambios topográficos y geográficos”. Y ésa será la única buena noticia que saldrá de esta catástrofe.

## Lisboa y Krakatoa: dos precedentes célebres

A LAS 9.30 del 1 de noviembre de 1755, un terremoto sacudió el fondo marino 200 kilómetros al oeste del cabo de San Vicente, en el extremo suroccidental de Portugal. La escala Richter no existía todavía, pero el terremoto debió aproximarse al grado 9 porque no sólo causó graves daños en Marruecos, sino que también afectó a Cádiz y Huelva y se dejó sentir en Francia, Suiza, Italia y Finlandia. Pero fue Lisboa la ciudad que sufrió la mayor destrucción. Primero, por el terremoto en sí; después, por los miles de incendios causados por las velas caídas y los fuegos de cocina, y posteriormente, por el *tsunami*.

Tras la primera sacudida del terremoto, muchos lisboetas buscaron

refugio en las barcas amarradas en la desembocadura del río. Media hora después de la sacudida, las aguas retrocedieron, y esto atrajo a más gente hacia la orilla. Y en pocos minutos llegó el *tsunami*. Fueron tres olas, y probablemente no superaron los seis metros de altura, pero destruyeron casi por completo la parte occidental de la ciudad y dañaron gravemente muchas otras zonas. Las barcas en las que se había refugiado la gente se hundieron con su carga humana, y los curiosos que se habían acercado a la orilla desaparecieron para siempre. El *tsunami* causó también muchas muertes hasta 80 kilómetros al norte de Lisboa. Y la situación fue aún peor en el Algarve, la región

sur de Portugal, más cercana al epicentro, donde casi todas las poblaciones fueron destruidas por el *tsunami*, que allí alcanzó alturas de 30 metros.

El terremoto fue ya desastroso, pero en las ciudades costeras el maremoto subsiguiente causó aún más destrucción que la misma sacudida. El *tsunami* de Lisboa causó daños en las costas de Cádiz y Huelva, y la onda subió por el Guadalquivir y se dejó notar en Sevilla. Ya con menos potencia, alcanzó las costas de Francia, el Reino Unido, Irlanda y Holanda. Este año se cumple el 250º aniversario de la catástrofe.

Más de un siglo después, el 28 de agosto de 1883, entró en su máximo nivel de erupción el volcán

Krakatoa, en la isla de Pulau Rakata, entre Java y Sumatra. Su violencia fue tal que las cenizas ascendieron 25 kilómetros hacia el cielo y las explosiones se oyeron en Australia, a mil kilómetros. El fenómeno tuvo tal violencia que provocó una serie de *tsunamis* que llegaron a registrarse en Latinoamérica y Hawái. La mayor de las olas alcanzó una altura monstruosa, cercana a los 40 metros, y mató a 36.000 personas al golpear las costas de Java y Sumatra.

Ha habido muchos más *tsunamis* en el Índico, aunque de menor magnitud que el de 1883 y con menos víctimas que el de hace dos semanas. Sólo cabe esperar que la próxima vez alguien le haya dicho a la gente cómo salvar su vida.