



TERREMOTOS Y TSUNAMIS

“Se ha confirmado repetidamente que mitigar las consecuencias desastrosas de estos eventos se sustenta en tres pilares básicos: investigación, prevención y educación.”

POR ÁLVARO GONZÁLEZ

UNA MAÑANA DE NOVIEMBRE

Es media mañana del uno de noviembre de 1755, y bajo las aguas del Atlántico, al suroeste de la Península Ibérica, se está fraguando la mayor catástrofe natural conocida en la historia de Europa Occidental.

Repentinamente, un bloque rocoso, de cientos de kilómetros de anchura, comienza a desplazarse bajo el fondo marino. Ha sido deformado lentamente, durante siglos, por las fuerzas del

interior de la Tierra. Hoy ese empuje hace que llegue a vencer la fricción con el bloque adyacente. Arrastrándose sobre este, avanza durante nueve minutos, hasta varias decenas de metros, y levanta consigo parte del fondo del mar. Añade así algo más de altura a las montañas submarinas próximas al Cabo de San Vicente.

El roce entre ambos bloques a lo largo de esa superficie de fractura que los separa (*falla*, en la jerga geológica) es áspero. Por ello, parte de la energía colosal implicada en el proceso se libera en forma de temblor, esto es, en ondas

sísmicas, que se propagan a varios kilómetros por segundo por el interior y la superficie de la Tierra. La magnitud de este temblor (una medida de la energía total liberada en forma de estas vibraciones) es de aproximadamente 8.7.

En pocos minutos, las sacudidas recorren buena parte de la Península y del noroeste de África. Decenas de miles de edificios ceden a ellas y se derrumban total o parcialmente. Numerosos feligreses son víctimas del derrumbe de iglesias, especialmente visitadas debido a la fecha y hora. Las más afectadas son las de esbeltas

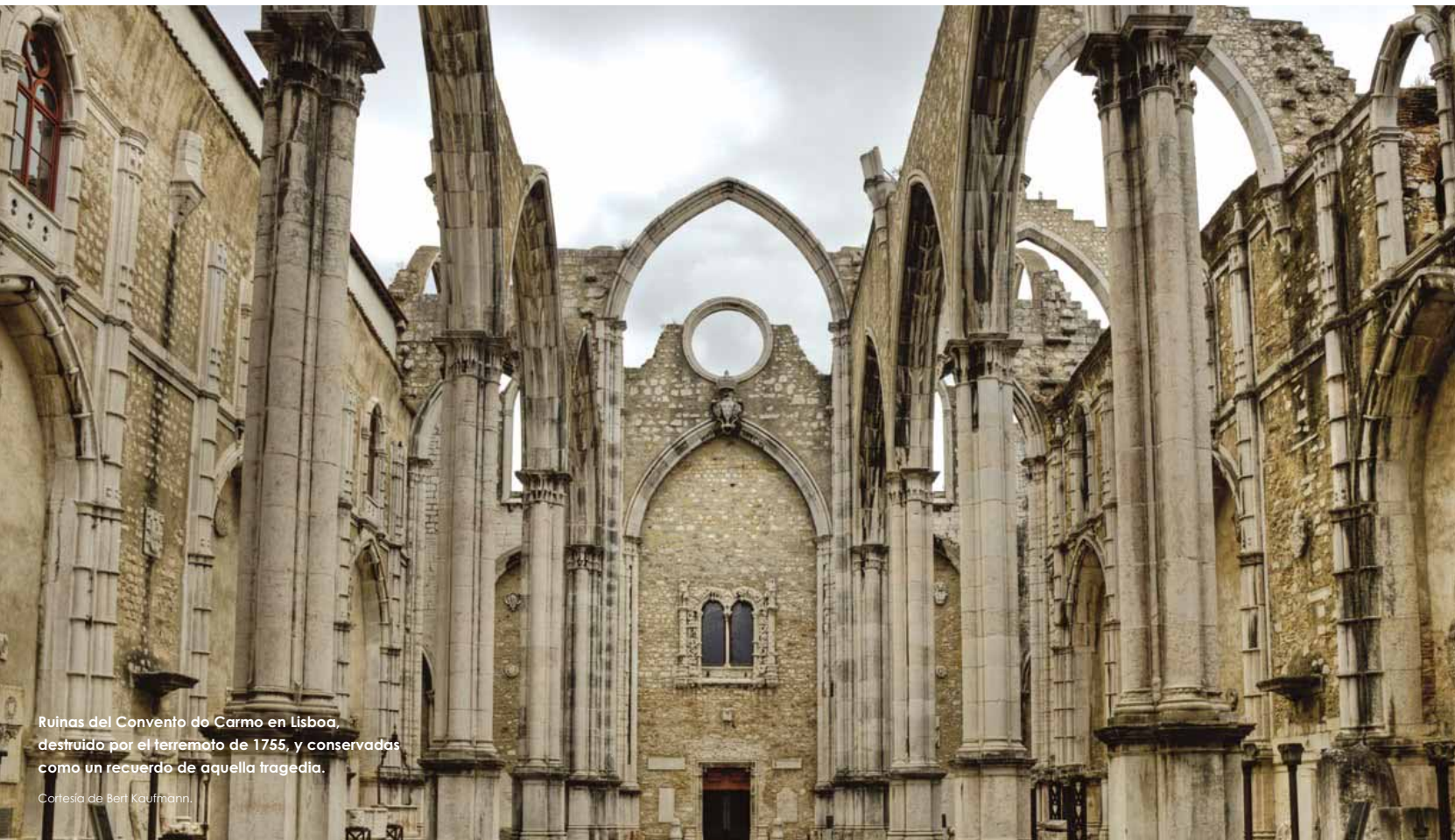
hechuras y atrevidas bóvedas. Sus arquitectos habían diseñado estas estructuras para soportar su propio peso, pero no las fuerzas añadidas que el terremoto les impone.

El temblor es especialmente desastroso en el suroeste de la Península y el noroeste de Marruecos, por ser estas las regiones más cercanas al foco. Pero, en general, causa daños en gran parte de Portugal y España (en Zaragoza, por ejemplo, al Palacio de Sástago) y se llega a sentir a miles de kilómetros de distancia.

Lisboa acabaría por dar nombre a este terremoto. Solo en esa ciudad, el terremoto y los incendios que se desatan destruyen unas 13.000 viviendas (Pereira, 2006). Buena parte de la población, alejándose de las edificaciones dañadas, busca refugio en el puerto. Ese es, por desgracia, el escenario de la segunda parte de la tragedia.

El fondo marino, al elevarse, ha empujado la masa de agua que tenía encima. Este desplazamiento también se propaga como una onda, que, aunque mucho más lenta que las ondas sísmicas, avanza rápidamente. En océano abierto sobrepasa los 900 km/h, velocidad similar a la de un avión a reacción.

Al acercarse a la costa, este oleaje se va frenando por la menor profundidad, y gana altura: la mayor parte de lo que pierde en energía cinética (al disminuir su velocidad) lo gana en energía potencial (esto es, elevándose). Esto también ocurre con las olas normales, causadas por el viento. Pero las originadas en este tipo de movimientos bruscos del fondo marino son especiales: vistas desde arriba, sus crestas están mucho más separadas entre sí que lo normal. Mientras que las olas habituales vienen y van, elevándose y rompiendo en la costa cada pocos segundos, las de este día lo hacen con un periodo de tiempo mucho más largo, causando que la línea de costa avance o retroceda como una sucesión de mareas especialmente



Ruinas del Convento de Carmo en Lisboa, destruido por el terremoto de 1755, y conservadas como un recuerdo de aquella tragedia.

Cortesía de Bert Kaufmann.

bajas o altas, y especialmente rápidas. Son un maremoto o –usando el sinónimo de origen japonés– un tsunami.

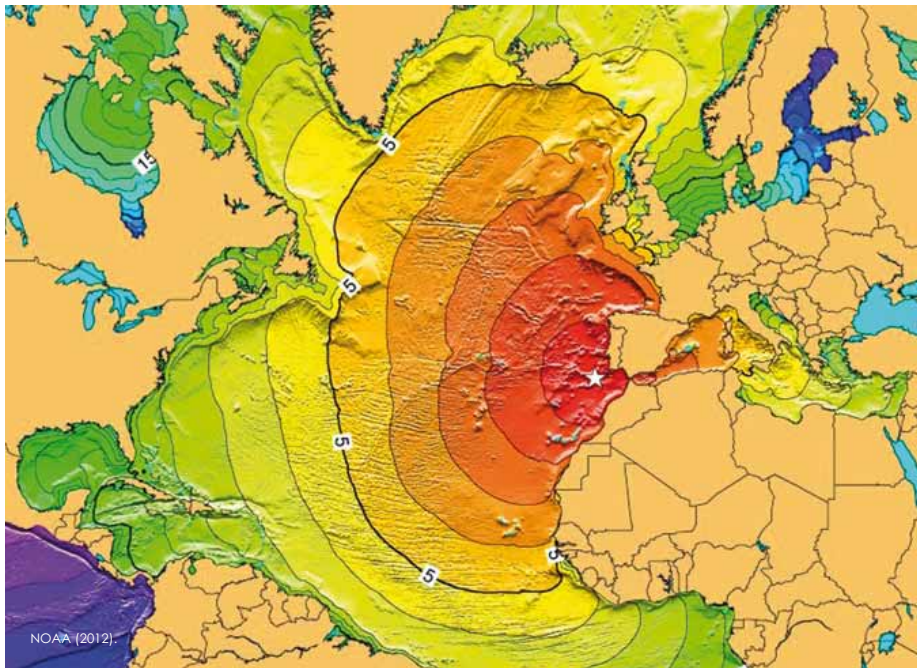
No siempre ocurre así, pero en esta mañana en Lisboa la primera ola del tsunami que llega a la costa, unos cuarenta minutos después de originarse mar adentro, es un valle. Por ello, el gentío agolpado en el puerto ve cómo el nivel del mar baja, y los restos de antiguos naufragios quedan al descubierto. En pocos minutos, llega una cresta, a modo de una inundación, que arrastra consigo barcos, escombros y personas. El tsunami penetra tierra adentro a favor del estuario del Tago, y se sucede durante horas en varias idas y venidas de las aguas.

Que una catástrofe fuese capaz de arruinar Lisboa, capital de un imperio, en un solo día supuso un serio revés para la filosofía europea, en ple-

na época de la Ilustración. Por ejemplo, Voltaire lo plasmó en su obra *Cándido*, en la que atacó el optimismo imperante de que este era "el mejor de los mundos posibles", al llevar al protagonista a Lisboa en el día de su desastre. Semejantes acontecimientos, y lo especial de la fecha, motivaron intensas discusiones entre los que defen-

.....

Tiempo de llegada (en horas) del tsunami del 1 de noviembre 1755 desde el momento de originarse en el lugar marcado con una estrella. El cálculo concuerda con lo descrito en crónicas históricas. Cada curva de nivel indica una hora más de tiempo de recorrido. En menos de una hora las olas destruyeron costas de Portugal, España y Marruecos. Alcanzaron, por ejemplo, a Cornualles en cuatro horas, a las islas del Caribe en ocho, y a los Países Bajos en diez.



“Que una catástrofe fuese capaz de arruinar Lisboa, capital de un imperio, en un solo día supuso un serio revés para la filosofía europea, en plena época de la Ilustración.”

dían un origen natural y los que los que argumentaban un castigo divino (Udiás, 2009).

Los grandes tsunamis afectan a todo un océano (ver figura). El de 1755 arrasó parte de las costas atlánticas de la Península y Marruecos, pero también causó daños en mayor o menor medida en Madeira, Azores, Canarias, Inglaterra, Irlanda, y hasta en Cuba y otras islas del Caribe.

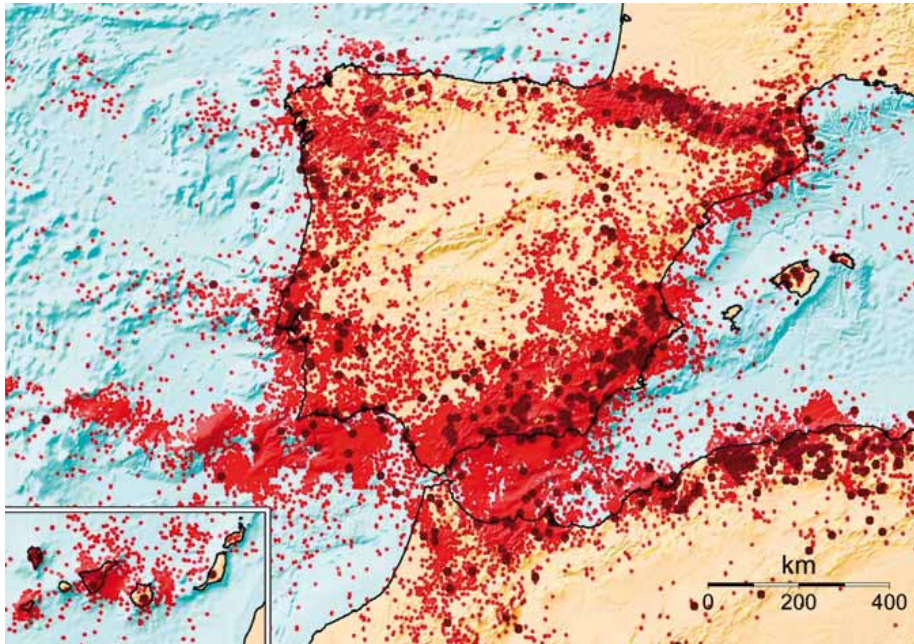
Los terremotos y tsunamis son probablemente los fenómenos naturales cotidianos con mayor capacidad de destrucción. En aquella mañana de noviembre los daños ascendieron a decenas de miles de víctimas mortales (Martínez Solares, 2001) y a terribles costes económicos, que para Portugal se estiman entre un tercio y la mitad de su producto interior bruto anual de la época (Pereira, 2006).

UN PROCESO COTIDIANO

Los terremotos como el de Lisboa son afortunadamente poco frecuentes, pero los de menor magnitud suceden a diario. La magnitud mide la energía liberada según una escala logarítmica: por cada unidad de magnitud más, la energía liberada es unas 32 veces mayor; por cada dos unidades es mil veces mayor, y así sucesivamente. A diferencia de otros fenómenos u objetos, los terremotos no tienen un tamaño típico: por cada terremoto de una magnitud dada, hay unos 10 de la magnitud precedente.

REFERENCIAS

- Amante C. y Eakins B.W. (2009) *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
- Atwater B.F., Cisternas V.M., Bourgeois J., Dudley W.C.; Hendley II J.W. y Stauffer P.H. (2001) *Sobreviviendo a un tsunami: lecciones de Chile, Hawai y Japón*. US Geological Survey Circular 1218 (en español) 18 pp. <http://pubs.usgs.gov/circ/c1218/>
- Badal J., Vázquez-Prada M. y González Á. (2005): Preliminary quantitative assessment of earthquake casualties and damages. *Natural Hazards*, 34, 353-374.
- Corral Á. (2004) Long-term clustering, scaling, and universality in the temporal occurrence of earthquakes. *Physical Review Letters*, 92, 108501.
- Chu R., Wei S., Helmberger D.V., Zhan Z., Zhu L. y Kanamori H. (2011) Initiation of the great M_w 9.0 Tohoku–Oki earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 308, 277-283.
- García-Mayordomo J. y 43 coautores (2012) The Quaternary active faults database of Iberia (QAFI v.2.0). *Journal of Iberian Geology*, 38, 285-302.
- Giardini D., Jiménez M.J. y Grünthal G. (editores, 2003). *European-Mediterranean Seismic Hazard Map*. European Seismological Commission.
- González Á. (2009): Mapa de localizaciones probables de futuros terremotos en la Península Ibérica, Baleares y Canarias. *Seguridad y Medio Ambiente*, 114, 44-54.
- González Á. (2010): «Nearest»: An empirical, non-parametric, forecasting model based on nearest-neighbour distances between earthquakes. *European Seismological Commission 32nd General Assembly*. Montpellier, Francia, p. 71.
- González Á., Gómez J.B. y Pacheco A.F. (2005) The occupation of box as a toy model for the seismic cycle of a fault. *American Journal of Physics*, 73, 946-952. [Erratum (2007) 75, 286.]



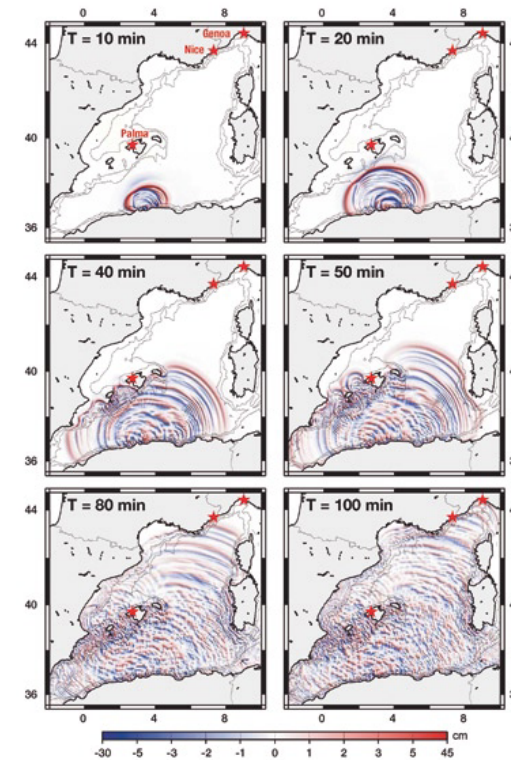
Terremotos en España y alrededores, desde época histórica hasta mayo de 2012. En total se muestran cerca de 79.000 epicentros. En rojo oscuro se han destacado los más de 800 que causaron daños considerables. Fuente: Elaboración propia, con datos del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es) sobre modelos digitales del terreno (Amante y Eakins, 2009; Zitellini et al., 2009).

Las redes de instrumentos actuales permiten detectar en España y alrededores cada día varios terremotos de magnitud 2 o superior. Raramente ocurren terremotos de magnitud superior a 7. El último, en 1969, con magnitud 7.3, se originó en las proximidades del de 1755, e hizo temblar a casi toda la Península. Y se conocen más de veinte tsunamis que hayan afectado a las costas españolas desde la antigüedad, el último en 2003.

La inmensa mayoría de los terremotos se deben a la fricción entre bloques rocosos frágiles, que, deformados elásticamente, se mueven bruscamente uno con respecto a otro. El proceso es análogo a la vibración que generamos cuando conseguimos arrastrar un mueble pesado sobre el suelo. Para que estos desplazamientos generen terremotos, es necesario que las rocas involucradas se comporten de manera frágil. Cuando, a partir de cierta profundidad, la temperatura supera, aproximadamente, los 300 grados centígrados, las rocas pierden su rigidez, y se deforman lentamente sin romperse y sin que se genere ninguna vibración.

En los mayores terremotos, estos desplazamientos se pueden medir con mucho detalle, gracias a la geodesia de alta precisión (por ejemplo, la basada en el sistema GPS). Cuando esos bloques llegan hasta la superficie del terreno, los desplazamientos pueden apreciarse a sim-

Simulación del tsunami de Baleares de 2003 (tomada de Hébert y Alasset, 2003). Originado por un terremoto de magnitud 6.9 frente a la costa de Argelia, causó considerables daños materiales en barcos atracados en puertos de las islas. Su modesta altura (expresada aquí en rojo para las crestas y en azul para los valles) localmente llegó a amplificarse hasta los dos metros. Se registró en los mareógrafos de los puertos de Palma, Niza y Génova, entre otros. En la propagación del tsunami influyó la profundidad del fondo marino (aquí indicada por líneas de nivel cada 1000 metros).



“Las redes de instrumentos actuales permiten detectar en España y alrededores cada día varios terremotos de magnitud 2 o superior.”

- Hébert H. y Alasset P.-J. (2003) The tsunami triggered by the 21 May 2003 Algiers earthquake. *Euro-Mediterranean Seismological Centre Newsletter*, 20, 10-12.
- ICFE - International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection (2011) Operational earthquake forecasting. State of knowledge and guidelines for utilization. *Annals of Geophysics*, 54, 315-391.
- Ito Y., Tsuji T., Osada Y., Kido M., Inazu D., Hayashi Y., Tsushima H., Hino R. y Fujimoto H. (2011) Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophysical Research Letters*, 38, L00G05.
- Kafka A.L. y Ebel J.E. (2011) Proximity to past earthquakes as a least-astonishing hypothesis for forecasting locations of future earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101, 1618-1629.
- Krüger F. y Ohrnberger M., (2005) Tracking the rupture of the $M_w = 9.3$ Sumatra earthquake over 1,150 km at teleseismic distance. *Nature*, 435, 937-939.
- Martínez Solares J.M. (2001) *Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 de noviembre de 1755)*. Monografía 19, Instituto Geográfico Nacional, 756 pp.
- Ministerio del Interior (2006) *Riesgo sísmico: programa para centros escolares*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Madrid, 92 pp. www.geonaut.eu/riesgo_sismico.pdf
- Ministerio del Interior (2011) *Riesgo de tsunamis: programa para centros escolares*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Madrid, 58 pp. www.geonaut.eu/riesgo_tsunamis.pdf

Terremotos y tsunamis

ple vista. Estas deformaciones permanentes en el paisaje y las rocas superficiales, investigadas desde el punto de vista geológico, permiten averiguar dónde hay fallas que causaron terremotos en el pasado. La paleosismología es una rama de la geología que, gracias a excavaciones de detalle en las fallas, se ocupa de medir estos desplazamientos y averiguar su antigüedad. Así, es posible reconstruir la serie de los últimos grandes terremotos en cada falla, incluso cuando no hay registros instrumentales ni históricos de ellos.

Las vibraciones de un terremoto se generan a partir de toda el área de la falla donde los bloques rozan uno contra otro. Al generar un terremoto, estos bloques no se desplazan como objetos totalmente rígidos, sino que la fricción mutua se vence primero en un



.....

Los tres tipos principales de fallas, fotografiadas justo después de que sus bloques se desplazasen generando un gran terremoto. En estos tres ejemplos, las roturas del terreno tuvieron longitudes kilométricas. Arriba: Falla normal o extensional (Edgcombe, Nueva Zelanda, 1987) en la que un bloque se ha hundido con respecto a otro. Centro: Falla inversa o compresiva (Ji-Ji, Taiwan, 1999) en la que un bloque (a la izquierda) se ha elevado, montándose sobre otro; nótese cómo la pista de atletismo se ha acortado. Abajo: Falla de desgarre (El Centro, California, 1979) en la que los bloques se han desplazado horizontalmente, cortando las hileras de un campo de cultivo (fuentes: Institute for Geological and Nuclear Sciences, Taiwan 921 Earthquake Museum y University of Colorado, respectivamente).

“Las fallas y las fuerzas que producen terremotos en ellas se mantienen activas durante miles o hasta millones de años.”

punto concreto (el *hipocentro*) y desde ahí comienza una secuencia muy compleja de movimientos. Esta se puede reconstruir gracias al análisis, mediante la *sismología* en su sentido más tradicional, de las ondas sísmicas registradas en los instrumentos diseñados para ello (los *sismómetros*). Para representar a un terremoto en un mapa suele emplearse el *epicentro*: la proyección en la superficie terrestre de ese primer punto de origen de la vibración (ver figura página 30).

En términos sencillos, la magnitud de un terremoto será mayor cuanto mayores sean esos bloques en movimiento, más se desplacen uno con respecto a otro, y más rígidos sean. Estos tres factores contribuyen a que el temblor dure más tiempo y la amplitud de las oscilaciones sea mayor. En los mayores terremotos, de magnitud 9 o superior, la longitud de los bloques en movimiento supera los cientos de kilómetros (más de 1100 kilómetros en el terremoto que originó el tsunami del Índico en el 2004 – Krüger y Ohrnberger, 2005), los desplazamientos máximos llegan a varias decenas de metros (hasta 80 metros en el de Japón de 2011 - Ito *et al.*, 2011) y la duración alcanza varios minutos. Los terremotos más pequeños que se pueden registrar (en condiciones muy especiales) corresponden a pequeños crujidos generados al desplazarse bloques de algunos centímetros de longitud.

La parte exterior, frágil, de la Tierra, está siendo constante y lentamente deformada desde el interior de esta, por lo que se encuentra fragmentada en bloques de todos los tamaños. Las *placas tectónicas* son los bloques principales (del tamaño comparable al de continentes y océanos) pero en realidad están subdivididas en otros bloques menores, a todas las escalas, por una red compleja de fallas. Esta geometría es un *fractal*: tiene un aspecto semejante, independientemente de la escala a la que la observemos. Las fallas no tienen un tamaño típico, y son más frecuentes cuanto más pequeñas. De ahí que un conjunto de fallas genere también terremotos sin tamaño típico, más frecuentes cuanto de menor magnitud.

- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (2012) *Tsunami travel time maps for the Atlantic, Indian and Pacific Oceans.* http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_travel_time_events.shtml
- Pereira A.S. (2006) *The Opportunity of a Disaster: The Economic Impact of the 1755 Lisbon Earthquake.* Centre for Historical Economics and Related Research at York, Discussion Paper Series 03/06. 37 pp.
- Reid H.F. (1910) *The Mechanics of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission.* Vol. 2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C., 192 pp.
- Udías, A. (2009) Earthquakes as God's punishment in 17th- and 18th-century Spain. En: Kölbl-Ebert, M. (ed.) *Geology and Religion: A History of Harmony and Hostility.* Geological Society, London, Special Publications, 310, 41–48.
- van Stiphout T., Wiemer S. y Marzocchi W. (2010) Are short-term evacuations warranted? Case of the 2009 L'Aquila earthquake. *Geophysical Research Letters*, 37, L06306.
- Zitellini N., Gràcia E., Matias L., Terrinha P., Abreu M.A., DeAlteris G., Henriot J.P., Dañobeitia J.J., Masson D.G., Mulder T., Ramella R., Somoza L. y Diez S. (2009) The quest for the Africa–Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters*, 280, 13–50.

Terremotos y tsunamis

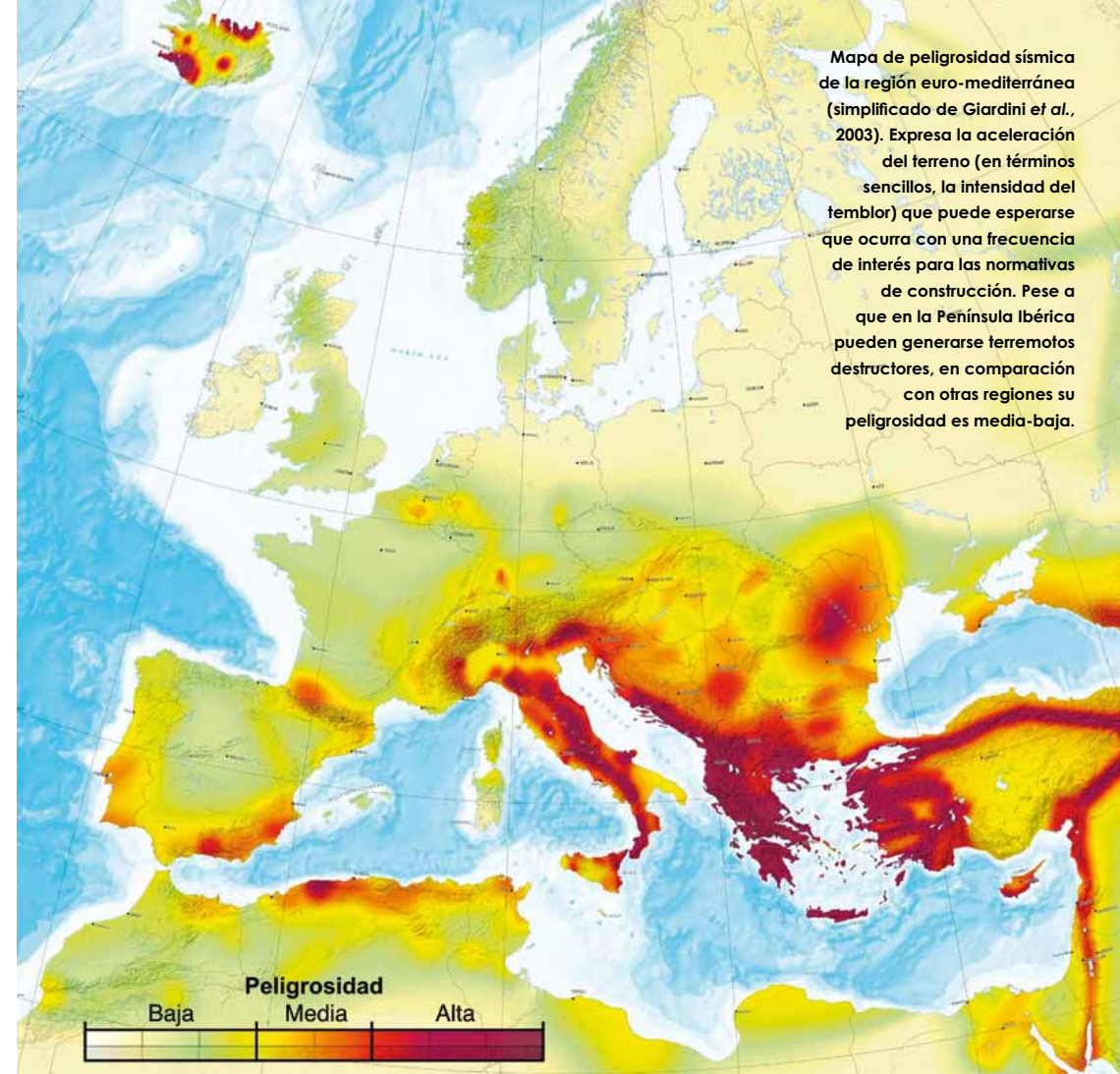
PRONÓSTICO DE TERREMOTOS

Las fallas y las fuerzas que producen terremotos en ellas se mantienen activas durante miles o hasta millones de años. Por ello, sistemáticamente, los terremotos se generan en las proximidades de los terremotos previos, lo que es el principal fundamento para trazar mapas de pronóstico que indiquen las localizaciones más probables de futuros temblores (González, 2009, 2010; Kafka y Ebel, 2011). Calculando las frecuencias de terremotos de distintas magnitudes en cada región, y la intensidad de las sacudidas que causarán, es posible hacer mapas de *peligrosidad sísmica* a largo plazo que se usan como base de las normativas de *construcción sismorresistente*.

Es posible también pronosticar, hasta cierto punto, las víctimas y costes económicos esperables por un terremoto (teniendo en cuenta

la población y construcciones que serán afectadas). Basta un temblor moderado, pero originado a poca distancia de una población, para causar daños graves localmente (como el de Lorca de 2011, con una magnitud de 5.1). En un caso, relativamente probable, de un terremoto

.....
Fallas conocidas que han registrado desplazamiento (y por tanto generado terremotos) en el pasado geológicamente reciente (periodo Cuaternario, últimos 2.6 millones de años) en la Península Ibérica y proximidades. La base cartográfica es un mosaico de imágenes tomadas desde satélite, y de batimetría del fondo marino. El mapa, coordinado por el Instituto Geológico y Minero de España, es interactivo (www.igme.es/infoigme/aplicaciones/QAFI/) y se ha logrado recopilar (García-Mayordomo *et al.*, 2012) gracias al esfuerzo desinteresado de decenas de geólogos de numerosas instituciones españolas y portuguesas, incluida la Universidad de Zaragoza.



to de magnitud 6 generado justo bajo un área densamente poblada en España, serían de esperar centenares de víctimas mortales, y pérdidas económicas de miles de millones de euros (Badal *et al.*, 2005). Este tipo de pronósticos se emplean a tiempo real para, una vez ocurrido un terremoto con daños potencialmente graves, enviar alertas automáticas a las autoridades y a servicios de protección civil.

La magnitud que puede alcanzar un terremoto concreto, sin embargo, sigue escapándose de

un pronóstico exacto. Parece lógico pensar que un sismo como el de Japón, Sumatra o Lisboa, capaz de cambiar el curso de la Historia, debería dar alguna pista previa de que se va a desencadenar. Sin embargo, si la hay, ésta sigue siendo elusiva. Además, es probable que ni siquiera una vez empezado el terremoto se pueda saber qué magnitud alcanzará. Por ejemplo, el de Japón de 2011 comenzó como un modesto movimiento, con un temblor de magnitud 4.9 (Chu *et al.*, 2011). Este titubeo inicial, de unos segundos de duración, fue la gota que colmó

el vaso, y desencadenó que distintas secciones de los bloques de la falla comenzaran a desplazarse una tras otra, durante varios minutos, a modo de un dominó titánico, hasta sumar en total un terremoto gigantesco.

Asimismo, el momento exacto de ocurrencia de un terremoto concreto también sigue sin poder conocerse con antelación. Cuando se descubrió el mecanismo por el que se generan los terremotos (Reid, 1910) se pensó que bastaría con medir cuánta deformación elástica acumulaban los bloques de una falla, y cuál era el umbral de fricción que debía superarse, para pronosticar cuándo se produciría el siguiente desplazamiento. Pero las complejidades del proceso hacen que estos ciclos de movimiento de una falla (ciclos sísmicos) sean irregulares.

Aún así, es posible pronosticar su duración desde un punto de vista estadístico (por ejemplo, González *et al.*, 2005).

El problema se complica cuando consideramos que las fallas no están aisladas, sino que interaccionan entre sí. Al desplazarse bruscamente los bloques de una falla, desestabilizan también los de alrededor, que tienden a desplazarse a su vez, desencadenándose así una complicada secuencia de nuevos terremotos: las réplicas. Además, las propias ondas sísmicas de un terremoto son capaces de desencadenar el movimiento en otras fallas, incluso a miles de kilómetros de distancia del lugar de origen. Estos procesos de desencadenamiento operan a todas las escalas, y originan que los terremotos se agrupen en el tiempo de una manera

particular (Corral, 2004). En general, toda la parte exterior, frágil, de la Tierra se comporta a este respecto como un sistema complejo (investigado desde la física de sistemas complejos y la física estadística) cuyas propiedades surgen de las interacciones entre una infinidad de elementos (bloques).

Los pronósticos más detallados que somos capaces de hacer en la actualidad se plasman en mapas de probabilidades de terremotos que cambian con el tiempo, conforme se generan nuevos terremotos (ICEF, 2011). De forma semejante a los mapas de pronóstico meteorológico, estos mapas se actualizan a diario, se mejoran y ponen a prueba en tiempo real, conforme se tienen más datos de los terremotos de una región. Su principal limitación es que, en general, las probabilidades que se calculan suelen ser demasiado bajas como para tomar medidas drásticas.

Solo en algunos momentos, como en ciertas secuencias de réplicas, las probabilidades de que ocurran nuevos terremotos en un lugar son tan altas como para justificar una evacuación masiva. En general, un consejo a tener en cuenta es que conviene evacuar los edificios (al menos los más vulnerables) durante algunas horas si acaba de sentirse un terremoto fuerte (van Stiphout *et al.*, 2010). En Lorca, en 2011, se evitó una tragedia mayor gracias a que, intuitivamente, buena parte de la población evacuó sus casas tras un temblor que sucedió menos de dos horas antes del terremoto principal.

HACIA UN FUTURO MÁS SEGURO

Planificar frente a los grandes terremotos y tsunamis es especialmente complicado. Se trata de eventos que, pese a suponer un elevado riesgo, son muy poco frecuentes en un lugar concreto, por lo que difícilmente encajan en los planes a corto plazo en los que funciona nuestra sociedad.

Se ha confirmado repetidamente que mitigar las consecuencias desastrosas de estos eventos se sustenta en tres pilares básicos: investigación, prevención y educación. En investigación, tanto fundamental como aplicada, se ha hecho ya hincapié en los párrafos anteriores. La prevención implica, en primer lugar, construir los edificios empleando *ingeniería sísmica* para resistir, al menos, los temblores más probables durante su vida útil. Afortunadamente, en España la normativa de construcción sismorresistente es de cumplimiento obligatorio para todos los edificios nuevos. Prevenir incluye, también, ordenar el territorio (por ejemplo, para evitar construir en zonas fácilmente inundables por tsunamis), desarrollar *sistemas de alerta temprana* y elaborar planes de emergencia. En cuanto a la educación, se recomienda consultar publicaciones accesibles (por ejemplo: Atwater *et al.*, 2001; Ministerio del Interior, 2006, 2011) que, en términos sencillos, detallan cómo actuar con sabiduría antes, durante y después de estos eventos, y así reducir nuestro riesgo y el de nuestras familias.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha elaborado durante una estancia de investigación en el Centro Alemán de Ciencias de la Tierra (GFZ Deutsches GeoForschungsZentrum; Potsdam, Alemania), en la sección "Riesgo sísmico y alerta temprana", gracias a una beca de posgrado de la Fundación Caja Madrid. Agradezco las revisiones de Jorge Pedro Galve, Fabián González, y María José Gómez.

Álvaro González

Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

GFZ Deutsches GeoForschungsZentrum

www.geonaut.eu

Mapa de pronóstico de terremotos para el 10 de enero de 2010 en California (González, 2010) realizado en tiempo real dentro del proyecto internacional CSEP. Todos los terremotos de magnitud cuatro o superior de ese día (localizados en el centro de cada cuadrado blanco, respectivamente) se generaron en zonas de probabilidad relativamente alta (tonos oscuros). Éstas se delinean en función de la proximidad a terremotos previos. Los mapas y resultados de éste y otros métodos de pronóstico se actualizan automáticamente en Internet (www.cseptesting.org).

