

Los terremotos “mediáticos” como recurso educativo

Media earthquakes as a didactic resource

MARTA GONZÁLEZ¹, PEDRO ALFARO² Y DAVID BRUSI³

¹ Unitat de Riscos Geològics. Institut Geològic de Catalunya. Balmes, 209-211. 08006 Barcelona.
E-mail: mgonzalez@igc.cat

² Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante.
E-mail: pedro.alfaro@ua.es

³ Departament de Ciències Ambientals/GEOCAMB. Facultat de Ciències. Universitat de Girona.
E-mail: david.brusi@udg.es

Resumen Los terremotos son fenómenos naturales muy frecuentes y no es raro el curso docente en el que, desafortunadamente, alguno de ellos alcanza una gran repercusión mediática debido a la destrucción que produce. Introducir estas noticias en el aula, de una forma organizada, permite al docente un amplio abanico de posibilidades. En este artículo proponemos un esquema que facilitará al profesorado la tarea de cómo trabajar en el aula un terremoto “mediático”. Además, ofrecemos un conjunto de recursos adicionales relacionados con terremotos.

Palabras clave: Falla, noticias, recursos didácticos, tectónica de placas, terremotos.

Abstract Earthquakes are very frequent natural phenomena. Unfortunately, it is not unlikely to hear about one of them along the school year. Presenting news about earthquakes in the classroom, in an organized way, gives a wide range of possibilities to teachers. We propose a guide for teachers which contains some recommendations about how to work with “famous” earthquakes in the classroom. In addition, we offer several teaching resources related to earthquakes.

Keywords: Earthquakes, fault, news, plate tectonics, teaching resources.

INTRODUCCIÓN

Los terremotos son fenómenos naturales muy frecuentes, tal y como demuestran las estadísticas (Tabla I). En el Planeta se producen unos pocos millones de terremotos al año y, de ellos, algo más de un centenar alcanzan una magnitud considerable, alrededor de 7.0 ó superior (Tabla II). Aunque la mayoría de ellos se producen en zonas deshabitadas (desiertos, zonas oceánicas, zonas montañosas,...) es muy raro el año en el que, por desgracia, uno o varios de estos sismos adquieren notoriedad en los medios de comunicación. En ocasiones, la cobertura mediática está provo-

Tabla I (derecha).
Ocurrencia anual de terremotos, basada en observaciones desde 1900 (Fuente: USGS).

Tabla II (abajo).
Ocurrencia anual de terremotos durante la primera década del siglo XXI (Fuente: USGS)

Descripción	Magnitud	Media Anual
Muy grande	> 8.0	1
Grande	7 - 7.9	15
Fuerte	6 - 6.9	134
Moderado	5 - 5.9	1.319
Débil	4 - 4.9	13.000
Pequeño	3 - 3.9	130.000
Muy Pequeño	< 3.0	Magnitud 3 - 2: 1.000/día Magnitud 1- 2: 8.000/día

Magnitud	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
8.0 a 9.9	1	0	1	2	1	2	4	0	1	1	1
7.0 a 7.9	15	13	14	14	10	9	14	12	16	22	16
6.0 a 6.9	121	127	140	141	140	142	178	168	144	150	160
5.0 a 5.9	1224	1201	1203	1515	1693	1712	2074	1768	1896	1983	1949
4.0 a 4.9	7991	8541	8462	10888	13917	12838	12078	12291	6805	10383	10592
3.0 a 3.9	6266	7068	7624	7932	9191	9990	9889	11735	2905	4321	1979

cada por el elevado número de víctimas o por los cuantiosos daños que produce el sismo. Según la Oficina para la Reducción de Desastres Naturales de la ONU el 60% de las víctimas que se producen por fenómenos naturales están provocadas por terremotos. En otras ocasiones el interés informativo radica en la proximidad geográfica. En el caso de terremotos que ocurren en nuestro entorno, aunque tengan pequeña magnitud, suelen causar una considerable alarma social, por lo que es frecuente que la televisión, la radio y los periódicos hagan un tratamiento exhaustivo del suceso, tal y como ha ocurrido en el reciente terremoto de Lorca de mayo de 2011 (Martínez Díaz, 2011).

Acercar las noticias de actualidad al aula es un recurso didáctico muy valioso (Brusi *et al.*, 2008), especialmente si diseñamos adecuadamente las actividades que nos permitan aprovechar todo su potencial educativo. Los terremotos son fenómenos naturales cuyas particularidades permiten relacionarlos con varios temas del currículo de Geología y Ciencias de la Tierra en la Enseñanza Secundaria (y también universitaria) (Alfaro, 2008). En este artículo proponemos un esquema que facilite al docente la tarea de cómo llevar al aula el terremoto o terremotos “mediáticos” que suelen producirse durante casi todos los cursos docentes. Para ello, condensamos en unas pocas páginas la información que consideramos más relevante para el tratamiento didáctico de los terremotos en el aula. También nos referiremos a algunos recursos educativos o páginas web de interés.

¡TERREMOTO! ¿QUÉ PODEMOS APRENDER?

En la era de la comunicación, la información se difunde de manera prácticamente inmediata. Un suceso catastrófico -como un terremoto- se convierte en noticia a los pocos minutos de haberse producido. Al cabo de unas horas, ya es posible conocer determinados detalles (algunos todavía confusos e imprecisos). Si el sismo adquiere la categoría de “mediático”, en menos de un día, y a lo largo de los que le suceden, los *mass media* se encargan de proporcionar suficientes datos, descripciones e interpretaciones que, desde un punto de vista docente, nos permiten utilizarlo en nuestras clases de ciencias. Este extraordinario potencial se magnifica en internet. La red nos permite, casi en tiempo real, acceder a infinitas informaciones y recursos.

A continuación se desarrollan aquellos ítems que más adelante conformarán una propuesta de ficha/índice que permite analizar un determinado terremoto. Las definiciones precisas y las descripciones detalladas de todos los conceptos relacionados con la sismicidad pueden encontrarse fácilmente

en los libros o en internet. Por ello, en este capítulo abordaremos su tratamiento de un modo muy sintético, insistiendo especialmente en aquellos matices menos conocidos.

Lógicamente, no es una propuesta rígida. El docente, dependiendo de sus necesidades, del tiempo disponible y del nivel educativo, podrá adaptarlo a conveniencia. Además, deberá tener en cuenta las características particulares de cada terremoto ya que las posibilidades de cada uno de los apartados propuestos variarán considerablemente. Por ejemplo, en el terremoto de Chile de 2010, el tsunami asociado (Álvarez, 2011) ofrece grandes posibilidades didácticas; en el terremoto de Haití del mismo año (Granja *et al.*, 2011) es el riesgo sísmico, debido a la elevada vulnerabilidad de las edificaciones del país más pobre de América, un factor a tener muy en cuenta; y en el terremoto de Sichuán (China) de 2008, su contexto geodinámico ofrece enormes posibilidades docentes relacionadas con la tectónica de placas moderna.

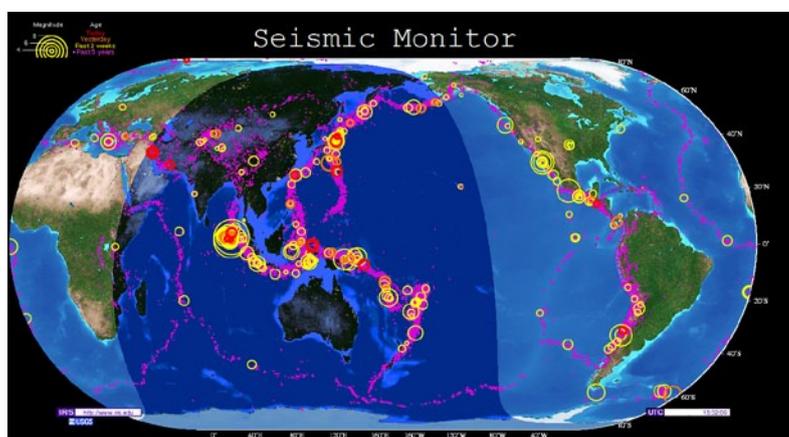
Localización y registro

Este apartado tiene como objetivo localizar geográficamente el sismo, conocer sus coordenadas y su profundidad. Estos aspectos permiten abordar las diferencias entre foco sísmico (hipocentro) y epicentro. La profundidad tiene, además, implicaciones interesantes relacionadas con los apartados 5 (Falla responsable) y 6 (Tectónica de Placas).

Estos datos se pueden conseguir fácilmente en Internet a través de varias páginas web que ofrecen información sobre la actividad sísmica en el planeta casi en tiempo real.

- El monitor sísmico de IRIS (<http://www.iris.edu/seismon/>) permite visualizar en un mapamundi los terremotos que están ocurriendo en el planeta, los ocurridos en la última semana, mes o año (Fig. 1).
- Otros enlaces a nivel mundial, de gran interés, son el del CSEM- Centro Sismológico Euromediterráneo (<http://www.emsc-csem.org/index.php?page=home>) y el del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<http://earthquake.>

Fig 1. Mapamundi de la página Web Seismic Monitor de IRIS con la sismicidad reciente (<http://www.iris.edu/seismon/>).



usgs.gov/eqcenter/recenteqsww/).

- En cuanto a la sismicidad acontecida en nuestro país destaca la página web del Instituto Geográfico Nacional (<http://www.ign.es/ign/es/IGN/Sismologia10Espana.jsp>). En ella se incluye un listado de los terremotos ocurridos en los últimos diez días en el área de la Península Ibérica y Canarias (para más detalles se puede consultar Carreño, 2011, en este mismo volumen).

Además, existen varias redes sísmicas regionales que contienen información de los terremotos ocurridos en Cataluña, Andalucía y Comunidad Autónoma Valenciana (especialmente Alicante): *Institut Geològic de Catalunya (IGC)* (http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/sismologia/igc_sismologia_comact.html), *Instituto Andaluz de Geofísica (IAG)* (<http://www.ugr.es/~iag/divulgacion/boletines/actual.html>), *Unidad de Registro Sísmico de la Universidad de Alicante (URSUA)* (<http://www.ua.es/ursua>).

ACTIVIDAD

Se puede realizar mostrar al alumnado cómo es posible conocer el epicentro de un terremoto, tal y como muestra el siguiente enlace: http://nemo.sciencecourseware.org/eec/Earthquake_es/

ACTIVIDAD

Para constatar la actividad sísmica reciente, se puede proponer a los estudiantes que accedan a la página web de IRIS (<http://www.iris.edu/seismon/>), y que analicen:

1. los terremotos sucedidos en el mundo en el mismo día
2. los terremotos acontecidos en las últimas dos semanas

Pueden anotar y localizar en un mapa sus magnitudes, el lugar del epicentro, su latitud y longitud y la profundidad del foco.

Magnitud

Para conocer la magnitud de cualquier terremoto se pueden consultar algunas de las páginas web mencionadas en el apartado anterior. Además, este apartado puede servir al docente para trabajar algunos aspectos como ¿qué es la magnitud? ¿cómo se calcula? ¿de qué depende? o ¿dónde se producen los terremotos de mayor magnitud del planeta?

La magnitud es una medida cuantitativa del “tamaño” de un terremoto, de su energía liberada. Existen varias escalas de magnitud entre las que destaca, por ser la más conocida, la de Richter. Sin embargo, para terremotos de gran magnitud suele usarse la “magnitud momento” (M_w). Esta magnitud momento depende fundamentalmente del tama-

ño del área de ruptura y del desplazamiento máximo entre los dos bloques de falla que se produce en el foco sísmico (para más detalles se puede consultar Peláez, 2011, en este mismo volumen).

Precisamente algunos estudios científicos, basándose en el análisis de numerosos terremotos recientes, han llegado a establecer una relación entre la magnitud y la superficie de ruptura de las fallas que lo producen (Fig. 2). Estos estudios concluyen que los terremotos de gran magnitud sólo se producen allí donde hay fallas de gran longitud.

Los terremotos de mayor magnitud en el Planeta se producen en las zonas de subducción, que tienen longitud suficiente (segmentos de incluso más de 1000 km de longitud) para producir terremotos de magnitud alrededor de 9.0. Por ejemplo, el terremoto de Sumatra de 2004 que originó el tsunami en el Índico, se produjo en la zona de subducción de la placa Índica bajo la Euroasiática, o el terremoto de Chile de 2010, de magnitud 8.8 se ha producido en la zona de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Además, el terremoto de mayor magnitud registrado en el mundo del que se tiene constancia instrumental, el terremoto de Chile de 1960, que alcanzó una magnitud 9.5 también se produjo en esta misma zona de subducción, aunque como se verá más adelante, en otro segmento. También, el terremoto de Japón, de 2011 (Morales, 2011), se ha producido por la ruptura de un área de 500x200 km en la zona de subducción entre las placas Pacífica y Euroasiática.

En González Herrero et al. (2005) se discuten las características de estas zonas, se explican cómo se producen estos terremotos y qué son las zonas de acoplamiento.

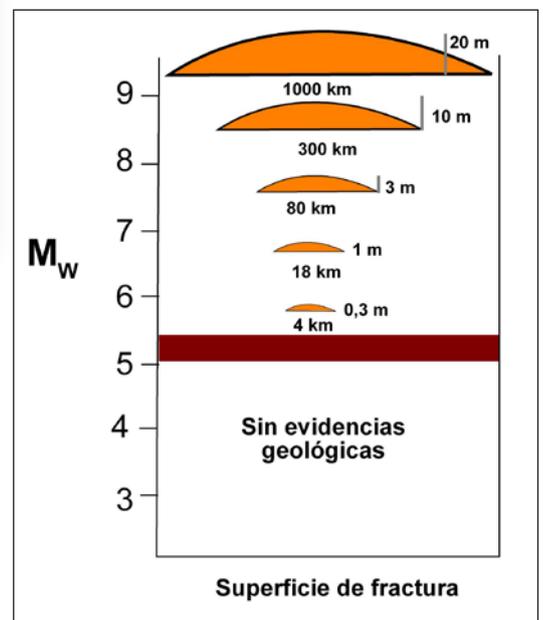


Fig. 2. Relación entre magnitud momento (M_w) y dimensiones de la superficie de ruptura con el máximo desplazamiento (modificado de McCalpin, 1996). El autor ha extraído los datos de Wells y Coppersmith (1994).

ACTIVIDAD

Las escalas de magnitud son logarítmicas. Por ello puede resultar interesante, a nivel didáctico, plantear un ejercicio de comparación entre las magnitudes de dos terremotos. El Servicio Geológico de Estados Unidos, nos facilita este cálculo en su página web:

http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/how_much_bigger.php

Comparando, por ejemplo, el terremoto de Lorca (de magnitud 5.1) con el de Japón de marzo de 2011 (de magnitud 9.0) el alumnado podrá descubrir que una diferencia de 3.9 grados equivale a que la amplitud del terremoto de Japón fue unas 7900 veces la amplitud máxima del registro de Lorca o que la energía liberada en el de Japón fue 710000 veces mayor (Peláez, 2011).

Intensidad

La intensidad es una medida de los efectos que produce el terremoto sobre las personas, los objetos y las construcciones. Depende principalmente de la distancia al hipocentro, de forma que al alejarnos de éste, la intensidad disminuye progresivamente. Sin embargo, existen varios factores naturales que “distorsionan” este patrón general o que hacen que la intensidad sea mayor de la esperable para un terremoto de una determinada magnitud. Figueras y Macau (2011) describen detalladamente algunos de estos procesos que hacen variar la intensidad.

ACTIVIDAD

Después de un terremoto “mediático” los estudiantes deben visionar las noticias de televisión o leer la prensa. Deben analizar si en los medios de comunicación se tratan correctamente los conceptos de magnitud e intensidad.

Efectos inducidos

Entre otros muchos efectos, los terremotos en ocasiones modifican las propiedades del suelo produciendo licuefacción o movimientos de ladera. Delgado (2011) realiza un análisis detallado de estos dos efectos inducidos o geotécnicos y aporta numerosos recursos en internet (se recomienda consultar su tabla I).

Una preconcepción muy común de los efectos inducidos es la falsa percepción que muchos ciudadanos y estudiantes tienen sobre el comportamiento de las fallas en el momento de un terremoto. El cine y la televisión probablemente son los responsables de la creencia de que la Tierra se abre por la falla “tragándose” todo lo que encuentra en la superficie (casas, vehículos, animales, ...). Cuando se produce un terremoto, incluso de gran magnitud, los bloques se desplazan a lo largo de la falla pero, por supuesto, no se generan esas “enormes grietas”. Si el terremoto es de gran magnitud, además del escarpe de falla, se abren algunas fisuras pero siempre de pequeño tamaño. Existen algunas imágenes en internet sobre algunas de estas fracturas producidas por un terremoto. Se recomienda, por ejemplo, visionar el vídeo del terremoto de Christchurch en Nueva Zelanda, en 2010 (youtube.com: *Canterbury Earthquake - first flyover of fault trace*).

Réplicas

Cuando se produce un terremoto de una cierta magnitud, la zona de falla tiende a ajustarse con terremotos de menor magnitud denominados réplicas. El número de réplicas y el tamaño de éstas dependen de la magnitud del evento principal.

El enlace <http://www.iris.edu/seismon/last30.html>, que muestra el listado de terremotos ocurridos en los últimos 30 días, es especialmente útil para que el alumnado compruebe el elevado número de réplicas y, a veces, la magnitud elevada de algunas de ellas. También es frecuente, después de un gran terremoto, la publicación en

ACTIVIDAD

Una de las prácticas sencillas que se puede hacer es la de dibujar un mapa de isosistas (líneas de igual intensidad). Como ejemplo podemos utilizar el terremoto del 10 de agosto de 1984 producido en Sant Pol de Mar (Barcelona), extraído del boletín sísmico publicado por el Servei Geològic de Catalunya:

(http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/sismologia/igc_sismologia_sismicitat_butlletins.html).

Como material de trabajo se dispone de un mapa con diferentes poblaciones de la zona, y de un listado de poblaciones con las intensidades percibidas. La práctica consiste en poner sobre cada población la intensidad asignada (consultar la escala MSK o EMS-98 y las encuestas macrosísmicas que hay en la red: <http://www.ign.es/ign/home/cuesma/jsp/cuesma.jsp?evid=,>) y dibujar las isosistas. Molina et al. (2004) proponen un ejercicio similar a partir de la simulación del terremoto de Torrevieja de 1829 (Alicante) en la situación actual. A partir de la información de los daños sísmicos simulados se determina la intensidad y se realiza un mapa de isosistas.

internet de animaciones que ofrecen una secuencia acelerada del evento principal y las réplicas (Buscador de Internet: nombre del terremoto, *aftershocks, animation*).

Falla responsable

Después de cada terremoto varias instituciones académicas, científicas y/o gubernamentales suelen publicar informes geológicos y sismológicos sobre los principales terremotos, que suelen incorporar una explicación del contexto geológico del terremoto e identificar la falla responsable. Uno de los enlaces que recomendamos es el del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>). En su página dedicada a terremotos tiene la opción de visitar los terremotos más significativos de los últimos años (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/>). Cada uno de estos terremotos tiene su correspondiente informe geológico y algunos mapas que pueden resultar de utilidad.

En España, el Instituto Geológico y Minero de España, y el Instituto Geográfico Nacional también proporcionan informes detallados sobre los terremotos más significativos del área de la Península Ibérica como ha sido el caso de los informes publicados por el terremoto de Lorca de 2011.

Terremotos y Tectónica de Placas

La inmensa mayoría de los terremotos se producen en los límites de placa (alrededor del 95% de la energía sísmica se libera en estas zonas del planeta). Sin embargo es necesario aclarar que los esfuerzos tectónicos se transmiten por toda la litosfera de forma que no hay ninguna zona de la Tierra en la que no puedan producirse terremotos. Por tanto, es en los límites de placa donde se producen la mayor cantidad de terremotos, es allí donde se localizan generalmente los de mayor magnitud y también donde se repiten con una mayor frecuencia.

Sin embargo, ocasionalmente también se producen terremotos (incluso de magnitud considerable), lejos de estos límites de placa. Esto es debido a que el límite de placas no es un trazo nítido, una única falla. Los límites de placa suelen ser, en muchas ocasiones, bandas de deformación de varios centenares de kilómetros que, en ocasiones superan el millar de kilómetros, en las que varias fallas activas son capaces de producir terremotos importantes. En el Planeta existen numerosos ejemplos que nos podrían servir para ofrecer al estudiante un modelo más realista de la teoría de la Tectónica de Placas (ver por ejemplo, en el siguiente capítulo, el apartado 7 correspondiente al terremoto de Wenchuan, en China, del año 2008).

Terremotos y Tsunamis

Uno de los aspectos que se pueden abordar sobre terremotos es si han desencadenado o no un tsunami y por qué, como en los recientes terremotos de Chile (Álvarez, 2011) y Japón (Morales, 2011). El monográfico 13.1 de la revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, dedicado íntegramente a tsunamis, contiene varios artículos en los que se explica dónde se producen los tsunamis y cuál es el mecanismo que los origina.

Se sabe que la mayoría de los grandes tsunamis son provocados por terremotos localizados en las zonas de subducción ya que en ellas se dan tres condiciones indispensables: (1) se localizan las fallas de mayor longitud de nuestro planeta (“megacabalgamientos”) capaces de producir terremotos de

ACTIVIDAD

En Internet y en los medios de comunicación es fácil encontrar mapas con la localización epicentral de un terremoto “mediático”. Incluso algunas páginas web, como la del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), adjunta ficheros de Google Earth. Una actividad interesante consiste en “visitar” la zona del epicentro, analizando imágenes de satélite, para intentar identificar la falla activa que ha producido el terremoto (Fig. 3). Las fallas capaces de producir estos grandes terremotos suelen tener una expresión geomorfológica muy clara. Además, el docente puede colaborar con los estudiantes proporcionándoles alguna información adicional.

Fig. 3. Imágenes de Google Earth sobre las que se han representado las fallas responsables de los terremotos de: A. Wenchuan (China) de 2008), B. Haití de 2010 y C. Maule (Chile) de 2010. No se han señalado las zonas de ruptura de los terremotos.



magnitud superior a 9.0, también conocidos como megaterremotos, (2) estas fallas tienen una componente de desplazamiento vertical muy notable y (3) se localizan en el fondo de los océanos y mares.

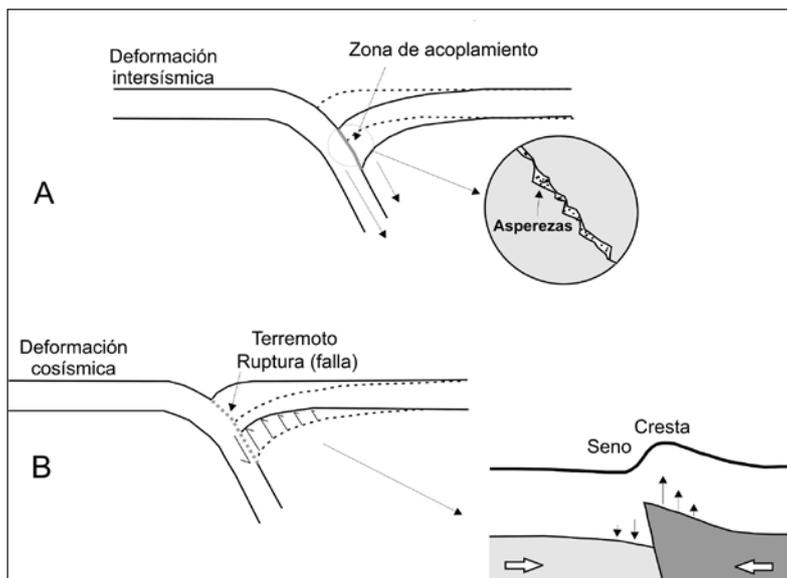
Si el movimiento convergente entre dos placas de una zona de subducción fuese continuo no se producirían apenas terremotos, al menos, de gran magnitud. Desafortunadamente, entre la placa cabalgada y la cabalgante existe una zona de contacto, también denominada **zona de acoplamiento** (Fig. 4) que es la que se “rompe” cada cierto tiempo provocando grandes terremotos. El movimiento continuo de subducción se bloquea en estas zonas de acoplamiento debido al rozamiento existente entre ambas placas. Habitualmente, la placa que subduce “arrastra” lentamente a la placa cabalgante (y por consiguiente al continente y sus islas), provocando una subsidencia de varios milímetros al año (a esta deformación continua y lenta se le conoce como intersísmica) (Fig. 4). Cuando el esfuerzo acumulado en la zona de acoplamiento supera un cierto valor crítico (en función del rozamiento en la zona de acoplamiento), se produce un terremoto de gran magnitud que permite recuperar en parte su posición inicial (Fig. 4). Este terremoto produce una elevación repentina de la placa que ha estado hundiéndose (deformación cósmica), lo que favorece la generación de tsunamis. Este comportamiento se repite a lo largo del tiempo (ciclo sísmico) (Fig. 4).

Riesgo sísmico, peligrosidad, vulnerabilidad y exposición

Después de un sismo destructor los medios de comunicación informan de las consecuencias que los efectos del terremoto dejan sobre las personas, las edificaciones, la economía, el entorno,... Pero, ¿por qué dos terremotos de la misma magnitud en distintas zonas provocan daños diferentes? Analizar el número de víctimas mortales producidas por el terremoto y compararlo con el número de víctimas producido por terremotos de una magnitud similar ayuda a que los estudiantes asimilen los conceptos de riesgo sísmico, peligrosidad, vulnerabilidad y exposición.

El riesgo sísmico es un concepto de orden social y económico que estima la probabilidad de pérdidas en vidas humanas o materiales debido a un terremoto. Se expresa como la combinación de la peligrosidad sísmica, la vulnerabilidad de los edificios y la exposición, sin olvidar las pérdidas económicas (expresadas en términos de unidades monetarias).

La peligrosidad sísmica indica la probabilidad de ocurrencia de una determinada acción sísmica durante un determinado periodo de tiempo. Ésta hace referencia al movimiento del suelo durante un terremoto (aceleración, velocidad y desplazamiento). En general, los valores del movimiento del suelo obtenidos en los estudios de peligrosidad sísmica a escala regional expresan los resultados sobre un



suelo de tipo medio. Sin embargo, cambios en las condiciones del suelo (de suelo duro a terreno blando), tal y como se ha expresado en el apartado 4, o en la topografía del lugar, modifican el movimiento esperado del suelo en un punto. Por lo tanto, los estudios a escala local deben considerar los efectos de suelo, los efectos topográficos, así como los efectos inducidos por los sismos, como son los deslizamientos y la licuefacción (también comentados en el apartado 4).

La vulnerabilidad sísmica se define como el grado de daño esperado en una estructura en el caso de ser sometida a la acción de un terremoto de una intensidad dada. La vulnerabilidad es propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar. Depende principalmente de sus características de diseño y construcción, incluyendo la geometría, la calidad de los materiales, la antigüedad y la altura, entre otras propiedades.

La exposición nos indica el número de personas y bienes materiales expuestos al peligro sísmico. Por ejemplo, la exposición sería nula en un terremoto de gran magnitud producido en una zona desértica y, por tanto, también lo sería el riesgo sísmico (ver p.e. Brusi y Roqué, 1998).

Todos estos conceptos son tratados detalladamente en el artículo de González y Mases (2003), González (2011) y Cortés et al. (2011)

¿Qué sabía la comunidad científica sobre este terremoto?

Los terremotos de Haití (Granja et al., 2011) y Chile (Álvarez, 2011) han puesto de manifiesto los grandes avances que la comunidad científica ha realizado en el estudio de los terremotos y de las fallas activas. En ambos casos se disponía de una información muy detallada sobre las fallas responsables, sobre su peligrosidad y sobre la actividad sísmica previa. Este ítem, está pensado para que el alumno, después de un terremoto “mediático”, investi-

Fig. 4. Esquema simplificado de la generación de grandes terremotos en una zona de subducción. A. Deformación intersísmica (periodo comprendido entre dos grandes terremotos): el movimiento continuo de subducción entre la placa cabalgante y la cabalgada se bloquea por la resistencia que ofrecen las “asperidades” de la zona de acoplamiento. B. Deformación cósmica: el repentino desplazamiento de la corteza oceánica en la vertical provoca una deformación de la columna de agua desarrollando olas de tsunami que se propagan en todas direcciones. Esquema modificado de González-Herrero et al. (2005).

gue con la ayuda del docente tratando de responder a preguntas del tipo: ¿se habían producido grandes terremotos en la zona? o ¿se conocía la peligrosidad de la falla?

ACTIVIDAD

A partir de los ejemplos descritos, se propone organizar un debate sobre la predicción de terremotos. La noticia sobre el juicio a sismólogos italianos acusados de no haber predicho el terremoto de L'Aquila en 2009 (Pantosti, 2010) puede proporcionar los elementos para iniciar la polémica.

FICHA PARA TRABAJAR LOS TERREMOTOS MEDIÁTICOS

A partir de estos diez ítems se ha elaborado la tabla III que, más que una ficha de trabajo, es un índice o una guía para que se pueda analizar cualquier terremoto “mediático”.

TRABAJANDO CON ALGUNOS TERREMOTOS “MEDIÁTICOS”

Hemos elegido tres de los últimos terremotos “mediáticos”: terremoto de Wenchuan (China) de 2008, terremoto de Haití de 2010 y terremoto de

FECHA Y NOMBRE DEL TERREMOTO						
1. Localización	Localidad más próxima					
	Coordenadas					
	Profundidad					
2. Magnitud	Mw=	¿Cómo se calcula la magnitud de un terremoto?				
		¿De qué depende la magnitud?				
		¿Dónde se producen los terremotos de mayor magnitud?				
3. Intensidad	I=	¿Ha habido ...	amplificación de las ondas sísmicas?			
4. Efectos inducidos	¿Se ha producido licuefacción?					
	¿Ha desencadenado movimientos de ladera?					
5. Réplicas	Número de réplicas aproximado					
	Magnitud de la réplica mayor					
6. Falla responsable	Nombre					
	Tipo					
7. Contexto geodinámico	Límite de placas	Convergente	Orógeno colisión			
			Zona subducción “océano-océano” (Arco de Islas)			
			Zona de subducción “océano-continente” (tipo Andino)			
		Divergente	Dorsal			
			Rift continental			
Transformante						
Zona intraplaca						
8. ¿Ha generado tsunami?	SI	Porque ...				
	NO	Porque ...				
9. Riesgo sísmico	Nº víctimas			Alta	Media	Baja
	Muertos	Heridos	Peligrosidad			
			Vulnerabilidad			
			Exposición			
10. ¿Qué sabíamos antes?	¿Se habían producido grandes terremotos en la zona?				SI	
					NO	
	¿Se conocía la peligrosidad de la falla?				SI	
					NO	

Tabla III. Guía de trabajo con terremotos “mediáticos”.

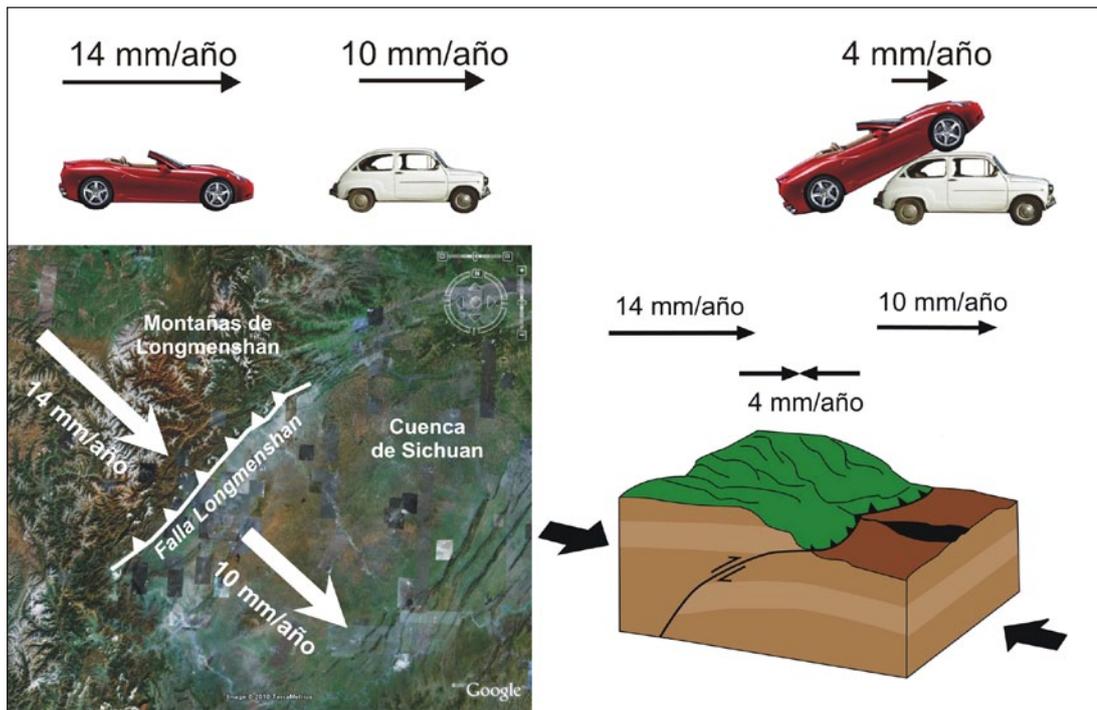


Fig. 5. La falla de Longmenshan es la responsable del terremoto de Sichuan de 2008. Es una falla inversa en la que ambos bloques se desplazan hacia el SE pero el occidental lo hace a mayor velocidad. Por eso cabalga 4 mm/año al oriental, más lento.

Maule (Chile) de 2010, y hemos seguido el esquema propuesto en el apartado anterior. Tal y como indicábamos anteriormente se puede comprobar cómo cada terremoto ofrece posibilidades diferentes para cada uno de los apartados. Sin embargo, los tres sismos tienen algo en común: todos ellos pueden convertirse en un recurso didáctico potente para acercar al estudiante, de forma atractiva, algunos temas del currículo. Por supuesto, otros candidatos serían los terremotos de Japón y Lorca, ocurridos en 2011, que son abordados en este mismo monográfico por otros autores (Morales, 2011 y Martínez Díaz, 2011).

El terremoto de Wenchuan (China) de 2008

1. Localización y registro

El 2 de mayo de 2008, a las 6:28 h (hora local), se produjo un terremoto de gran magnitud en la región de Sichuan (China). El epicentro, de coordenadas 30.986°N 103.364°E, se localizó a 80 km de Chengdu, y el hipocentro tuvo una profundidad de 19 km.

2. Magnitud

La magnitud de este terremoto fue de 7.9. En la región (algo más al norte) se había registrado un terremoto de magnitud 7.5 en 1933, que causó más de 9000 víctimas mortales. Sin embargo, no se tenía constancia de la ocurrencia de terremotos de magnitud 7.9 (hay que tener en cuenta que esas cuatro décimas de diferencia implican una gran cantidad de energía).

3. Intensidad

Alcanzó una intensidad máxima de XI.

4. Efectos inducidos

El terremoto produjo cuantiosos movimientos de

ladera (Delgado, 2011). En internet existen numerosas fotografías y documentos gráficos de estas inestabilidades gravitacionales. Por ejemplo se pueden consultar algunos de ellos en el siguiente enlace:

<http://daveslandslideblog.blogspot.com/2008/05/sichuan-earthquake-landslide-images.html>

5. Réplicas

Como es característico de estos grandes terremotos, en los meses siguientes se generaron multitud de réplicas. Se recomienda ver la siguiente animación: <http://www.msnbc.msn.com/id/24583362/>.

6. Falla responsable

La falla de Longmenshan (http://en.wikipedia.org/wiki/Longmenshan_fault). Se trata de una falla inversa situada en la placa Euroasiática, con un bloque levantado (zona montañosa de Longmenshan), y un bloque hundido donde se ubica la cuenca sedimentaria de Sichuan.

Ambos bloques, situados en el anillo oriental de la inmensa llanura del Tibet, se desplazan hacia el Este a velocidades diferentes. La zona montañosa lo hace a 14 mm/año, mientras que la zona sedimentaria, de suave relieve, lo hace a 10 mm/año. Este movimiento diferencial hace que la zona montañosa cabalque a la cuenca sedimentaria de Sichuan a través de esta falla inversa de Longmenshan a una velocidad de 4 mm/año (Figs. 5 y 6).

Se recomienda visitar la zona con Google Earth. Se observará una zona montañosa (bloque levantado) y la zona topográficamente más deprimida a la derecha (bloque hundido) donde se sitúa la cuenca sedimentaria de Sichuan. El contacto,

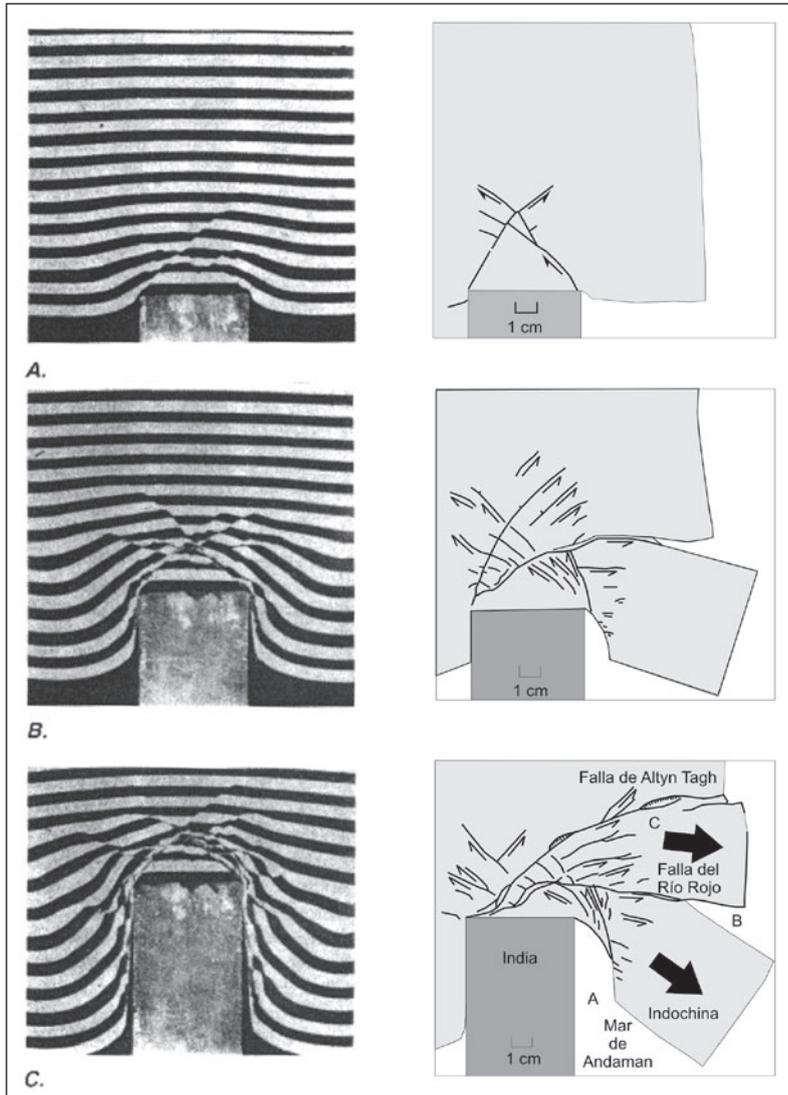


Fig. 6. En el año 1982, Tapponier y sus colaboradores publicaron un modelo tectónico que explicaba cómo la India se había indentado entre 2000 y 3000 km en Eurasia (y sigue haciéndolo en la actualidad), expulsando hacia el este enormes bloques continentales de la placa euroasiática a lo largo de impresionantes fallas de salto en dirección como las de Altn Tagh o Río Rojo, la mayoría de mayor longitud que la famosa falla de San Andrés. Este modelo tectónico (conocido como Tectónica de Escape) se apoyó en un simple experimento en el que la placa Índica fue representada con un pequeño bloque de madera y la Euroasiática (menos resistente), con plastilina.

bastante nítido, entre esa zona montañosa y la cuenca de Sichuán, es la falla inversa de Longmenshan.

La longitud de ruptura en el terremoto de 2008 fue de 285 km con un desplazamiento máximo que llegó a alcanzar los 9 m.

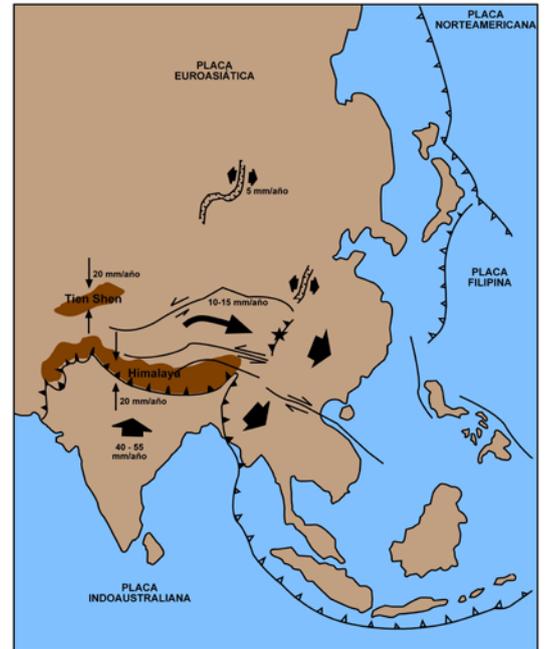


Fig. 7. Esquema tectónico simplificado del este asiático basado en Tapponier et al. (1982). Obsérvese la situación del límite entre las placas Euroasiática e Indoaustraliana, y la situación tan alejada del límite de placas de varias fallas activas con velocidades bastante elevadas (5 mm/año en las fallas del lago Baikal o entre 10-15 mm/año de las fallas de salto en dirección del Tibet y este de China). Con una estrella se ha localizado el epicentro del terremoto de Sichuán (China) de 2008, también bastante alejado del límite de placas.

7. Terremotos y Tectónica de Placas

En la figura 7 se ha situado el epicentro del terremoto de Wenchuan y el límite de placas entre las placas Euroasiática e India. El terremoto se sitúa a aproximadamente 1000 km de distancia del límite de placas. ¿Cómo se explica que a tanta distancia del límite de placas se haya podido producir un terremoto de magnitud 7.9? Para responder a esta cuestión es necesario comprender el modelo geodinámico propuesto por el geólogo francés Tapponier y colaboradores (1982) (Fig. 7). Tal y como se puede observar en su esquema, la India se está indentando en la actualidad en la placa Euroasiática. La velocidad total de convergencia entre ambas placas es de 55 mm/año. Sin embargo, en la Cordillera del Himalaya sólo se acomodan 20 mm/año. ¿Qué ocurre con los 35 mm/año restantes? Otros 20 mm/año se acomodan algo más al norte, en el espectacular y desconocido orógeno del

ACTIVIDAD

Observa, en el siguiente enlace:

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2008/us2008ryan/#summary>

la localización del evento principal y las réplicas. ¿A qué crees que es debido que estén perfectamente alineadas? Lógicamente, la gran mayoría de réplicas son debidas al reajuste de esfuerzos que se produce en la falla responsable del evento principal. En este caso están perfectamente alineadas a lo largo de la falla de Longmenshan.

Tien Shen, localizado en las repúblicas de Kirguistán y de China. Todavía hay una discrepancia de 15 mm/año explicada por el modelo de Tapponnier. La India se indenta en Eurasia y expulsa hacia el este la litosfera continental euroasiática (tal y como se muestra en la Fig. 7). Esto ocasiona que enormes bloques de la placa Euroasiática se desplacen hacia el este (por ejemplo, el Este de la China o Indochina). Como cada uno de los bloques lo hace a diferente velocidad, entre ellos se sitúan fallas de salto en dirección, algunas de ellas de gran espectacularidad como las fallas del Río Rojo o Altyn Tagh. Además, perpendicularmente al movimiento se encuentran algunas fallas inversas como la falla de Longmenshan. Aunque se trata de una falla inversa, el verdadero motor es el proceso de colisión entre las placas de la India y Euroasiática que expulsa hacia el este bloques continentales de esta última placa (ver zona del Tibet), provocando a más de 1000 km de distancia del límite de placas un terremoto de una magnitud espectacular.

Se recomienda visionar esta animación en youtube que, aunque simplista, es muy clarificadora: http://www.youtube.com/watch?v=tLKeKIC_FRE

8. Terremotos y Tsunamis

No produjo tsunami ya que es una falla situada en una zona continental.

9. Riesgo sísmico, peligrosidad, vulnerabilidad y exposición

Este terremoto causó casi 70.000 muertos, más de 18.000 desaparecidos y casi 400.000 heridos. El elevado número de víctimas fue debido a la vulnerabilidad de las construcciones y a los efectos inducidos como los movimientos de ladera que aumentaron el número de víctimas en algunas localidades.

10. ¿Qué sabía la comunidad científica sobre este terremoto?

Aunque la falla de Longmenshan era muy conocida por la comunidad científica, no se tenía constancia de que pudiese provocar un terremoto de esta magnitud. Este terremoto fue un ejemplo de cómo una zona en la que no se conocen terremotos tan destructivos puede tener también un riesgo sísmico elevado.

El terremoto de Haití de 2010

1. Localización y registro

El epicentro de este terremoto, ocurrido el 12 de enero de 2010 a las 16:53 (hora local), se localizó a 25 km al WSW de Puerto Príncipe, la capital de Haití, en las coordenadas 18.457°N, 72.533°W. Su hipocentro se situó a una profundidad de 13 km.

2. Magnitud

Su magnitud estimada fue 7.0.

3. Intensidad

Alcanzó una intensidad epicentral de XI.

4. Efectos inducidos

Produjo licuefacción e importantes movimientos de ladera (Buscador de Internet: Haiti earthquake, liquefaction, landslides).

5. Réplicas

Desde el 12 de enero de 2010 hasta el 9 de febrero, se registraron 59 réplicas de magnitud 4.5 ó superior. De todas ellas, 16 alcanzaron una magnitud 5.0 ó superior. Las dos réplicas de mayor magnitud tuvieron una magnitud 6.0 y 5.9. Se puede ver el mapa de las réplicas en:

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/aftershocks/?event=2010rja6&network=us>

6. Falla responsable

Este terremoto pudo ser producido por la falla de Enriquillo, una falla de salto en dirección sinistral (Fig. 8).

http://www.nytimes.com/imagepages/2010/01/26/science/26fault_graphic.html Ver más detalles en Granja et al. (2011).

7. Terremotos y Tectónica de Placas

Se sitúa en las proximidades del límite entre las placas Norteamericana y del Caribe. Ambas placas, tal y como muestra la figura 8, se desplazan con un movimiento lateral izquierdo a una velocidad aproximada de 20 mm/año. Este movimiento no se concentra en una única falla sino que se reparte en dos estructuras principales: la falla Septentrional y la falla de Enriquillo.

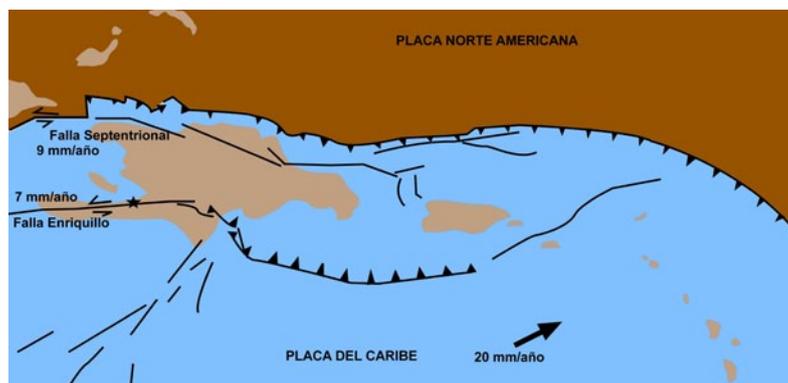
8. Terremotos y Tsunamis

La falla tiene un trazado en tierra a lo largo de la isla La Española, aunque parte de la falla recorre la costa meridional de Haití. Existe constancia de que este terremoto causó un tsunami local en el área de Leogane.

9. Riesgo sísmico, peligrosidad, vulnerabilidad y exposición

Este terremoto ha causado 230.000 víctimas mortales a pesar de tener una magnitud de 7.0. Por ejem-

Fig. 8. Situación geodinámica de la Falla de Enriquillo, responsable del terremoto de Haití, situada a lo largo del límite de placas entre Norteamérica y el Caribe. Como se puede comprobar en la figura, el movimiento de 20 mm/año se reparte en ese sector de la isla La Española, entre dos grandes fallas: la Septentrional y la falla de Enriquillo.



plo, el terremoto de 1989 de Loma Prieta (California), de magnitud 6.9, apenas causó 63 víctimas mortales. Esta tragedia humana se debió a la confluencia de tres factores: una peligrosidad sísmica elevada, una vulnerabilidad de las construcciones también muy elevada y una alta exposición ya que el epicentro se situó a muy pocos kilómetros de la capital afectando a una zona con una población de más de un millón de personas. En cualquier caso, el elemento clave ha sido la elevadísima vulnerabilidad.

10. ¿Qué sabía la comunidad científica sobre este terremoto?

Unos dos años antes del terremoto, en marzo de 2008, en el 18th Congreso Geológico del Caribe, un grupo de geólogos y geofísicos dirigidos por Eric Calais y Paul Mann presentaron sus resultados de investigación sobre las fallas activas de la República Dominicana y Haití (Mann et al., 2008). Mediante las medidas realizadas con una red GPS se estimó que las placas Norteamericana y del Caribe se desplazaban lateralmente (a lo largo de una zona de falla de salto en dirección sinistrorsa) con una velocidad de 20 mm/año. Comprobaron que este movimiento de 20 mm/año se repartía entre dos grandes fallas: la falla Septentrional con una velocidad de 9 mm/año y la falla de Enriquillo con una velocidad de 7 mm/año. El resto, aproximadamente unos 4 mm/año se repartía entre pequeñas fallas situadas en el centro de la isla. Estudiaron la sismicidad histórica y comprobaron que el último gran terremoto que se había producido en la falla de Enriquillo fue en el año 1751. Multiplicaron los 7 mm/año de velocidad de la falla por 250 años (periodo de tiempo transcurrido desde el último gran terremoto) obteniendo un déficit de 1.7 metros. En caso de producirse un gran terremoto cuyo salto fuese ese déficit acumulado de 1.7 m su magnitud sería, según el estudio de Calais y colaboradores presentado en 2008, de $M_w=7.2$.

El terremoto de Chile de 2010

1. Localización y registro

Este terremoto se produjo el 27 de febrero de 2010 a las 6:34 h (hora local). El epicentro se localizó en el mar a 95 km de Chillan y a 105 km de Concepción, ambas localidades de Chile. Las coordenadas del epicentro son 35.909°S, 72.733°W, y el hipocentro tiene una profundidad de 35 km. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>

2. Magnitud

La magnitud calculada es 8.8, lo que significa en términos de energía que fue 500 veces más potente que el de Haití ocurrido en enero del mismo año.

3. Intensidad

La intensidad máxima, en tierra, ha sido IX. Hay

que tener en cuenta que su epicentro se ha localizado a aproximadamente 100 km de la costa chilena y, además, a 35 km de profundidad.

4. Efectos inducidos

A pesar de haberse localizado en el mar, su gran magnitud hizo que las ondas sísmicas llegasen a la costa con suficiente intensidad como para producir licuefacción y movimientos de ladera.

5. Réplicas

Desde que se produjo el terremoto hasta el 2 de abril de 2010 (5 semanas aproximadamente), se registraron 280 réplicas de una magnitud 5.0 ó superior. Y 19 de estas réplicas alcanzaron una magnitud 6.0 ó superior.

6. Falla responsable

El terremoto se produjo en la zona de acoplamiento (en el apartado 8 del capítulo anterior se explica qué son), entre las placas de Nazca y Sudamérica. Es la misma zona de subducción, aunque en un segmento situado algo más al norte, que en el año 1960 se produjo el terremoto de mayor magnitud registrado hasta la fecha, el terremoto de Valdivia (Chile) de 1960, que alcanzó una magnitud 9.5. En esta ocasión, la longitud de ruptura provocada por el terremoto principal y sus réplicas fue de casi 500 km, mientras que en 1960 fue de aproximadamente 1000 km.

7. Terremotos y Tectónica de Placas

Este terremoto se produjo en una de las zonas más activas del planeta, donde las placas se mueven a mayor velocidad. La placa de Nazca subduce bajo la de Sudamérica a una velocidad de 68 mm/año (Fig. 3), y muy cerca, en la dorsal del Pacífico oriental, se encuentran las velocidades récord en todo el planeta de expansión del fondo oceánico. En definitiva, es una zona tremendamente activa y, de ahí, que se produzcan en toda la costa chilena tantos terremotos de gran magnitud.

8. Terremotos y Tsunamis

Más de 500 km de costa continental chilena sufrieron la llegada de un tsunami (aproximadamente desde San Antonio (33°35'S, 71°37'W) hasta Tirúa (38°20'S; 73°29'W), donde el tsunami tardó alrededor de diez minutos en llegar, después del terremoto principal. También alcanzó el archipiélago Juan Fernández, especialmente la isla Robinson Crusoe, situado a más de 600 km del epicentro. A pesar de que dispusieron de casi una hora para evacuar la zona, la administración chilena no avisó, y varias personas fallecieron. Contrastadamente, el centro de alertas de tsunamis del Pacífico, situado en Hawai, dio la alerta a todos los países costeros. Por ello, las cadenas de televisión americana así como las japonesas estaban esperando con sus cámaras

la llegada de las olas de tsunami a Hawai. La memoria histórica todavía mantenía el recuerdo de una tragedia anterior. En 1960, el terremoto de mayor magnitud registrado hasta la fecha, el terremoto de Valdivia de magnitud 9.5, produjo un gran tsunami que se propagó por todo el Pacífico, causando víctimas mortales en Hawai. Las olas llegaron hasta Japón 24 horas después del terremoto, atravesando varios miles de kilómetros y causando también víctimas. Aquella experiencia sirvió para aprender la lección y diseñar un sistema de alerta de tsunamis en el Pacífico, para que no se volviese a repetir la historia de 1960.

De hecho, en el año 2001 se publicó en varios idiomas en internet (acceso libre a todos los países) el documento de divulgación "Sobreviviendo a un tsunami: lecciones de Chile, Hawai y Japón" (<http://pubs.usgs.gov/circ/c1218/>). Este sencillo documento divulgativo podría haber salvado decenas de miles de vidas en el tsunami del Índico de 2004.

9. Riesgo sísmico, peligrosidad, vulnerabilidad y exposición

El terremoto pero, sobre todo, el tsunami produjeron 507 víctimas mortales. En el terremoto de Chile confluyeron dos aspectos contradictorios:

El negativo: la administración no estuvo a la altura de las circunstancias, y no dio la alerta a pesar de que se trataba de un terremoto de gran magnitud producido en una zona oceánica, en una zona de subducción, la típica que produce tsunamis (y además, el de 1960 todavía estaba en la memoria de los chilenos).

El positivo: los ciudadanos chilenos tienen una "cultura sísmica" muy arraigada. Muchos salvaron sus vidas porque cuando percibieron el terremoto se desplazaron a zonas elevadas. En relación con la cultura sísmica de los chilenos recomendamos la lectura del mito mapuche de Tren-tren y Kai-Kai incluido en el artículo de Brusi et al. (2005). Además, la calidad de las construcciones, aunque mejorable, nada tenía que ver con la de Haití. De ahí, la gran diferencia en el número de víctimas.

10. ¿Qué sabía la comunidad científica sobre este terremoto?

Ruegg y colaboradores publicaron en el año 2009 (fue enviado a la revista *Physics of the Earth and Planetary Interiors* el 30 de marzo de 2007) un trabajo sobre la zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamérica. En particular hablaban del gap sísmico (zona sin grandes terremotos recientes) que existía entre Concepción y Constitución en Chile (Fig. 9). Es bien sabido que toda la costa chilena tiene una gran actividad sísmica, caracterizada además por terremotos de gran magnitud típicos de zonas de subducción. Sin embargo, entre las zonas de Concepción y Constitución no se tenía constancia

de ningún terremoto de gran magnitud desde el año 1835 en el que Darwin había descrito un gran sismo. Estos investigadores realizaron un estudio geológico, geofísico y geodésico de esta zona de "gap" o laguna sísmica. Calcularon una velocidad de subducción de 68 mm/año. Teniendo en cuenta que desde el terremoto descrito por Darwin habían transcurrido 170 años, calcularon que el déficit acumulado era de aproximadamente 10 m lo que equivalía a un terremoto con una magnitud comprendida entre 8.0 y 8.5. El terremoto que asoló Chile, en febrero de 2010, alcanzó la magnitud 8.8.

Tanto el terremoto de Haití como el de Chile, ambos ocurridos en 2010, ponen de manifiesto el gran avance que se ha producido en los últimos años en el conocimiento del fenómeno sísmico. En ambos casos, los científicos habían llegado a estimar, con una precisión razonable, el potencial sísmico que

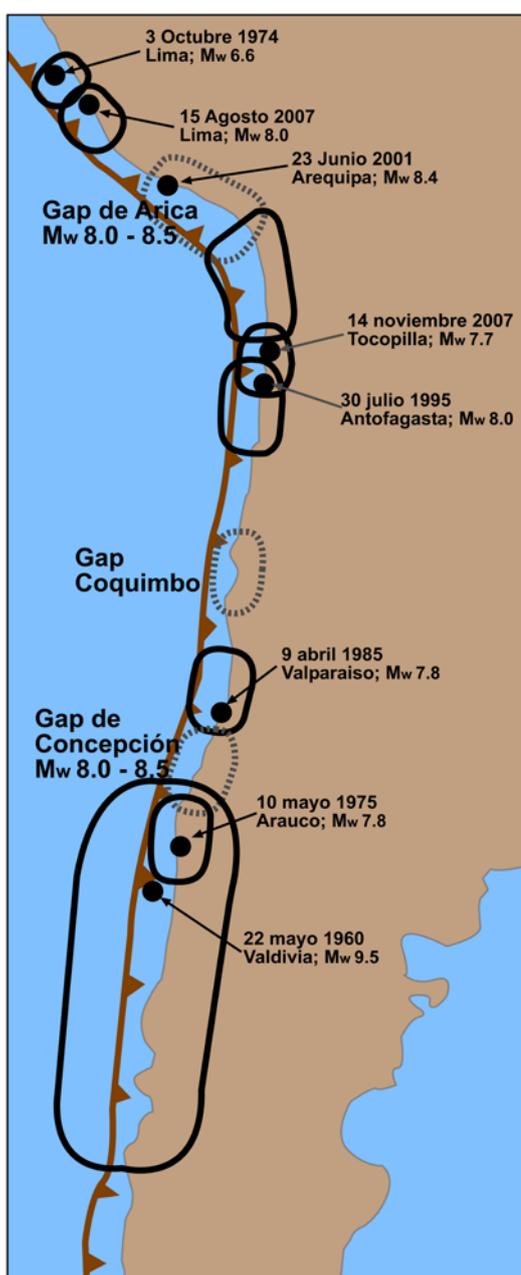


Fig. 9. Zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamérica. Con líneas continuas se han representado las zonas de ruptura de grandes terremotos producidos en la región. Con líneas discontinuas las zonas en las que no se tiene constancia de terremotos recientes (modificado de Madariaga, 2008). Se indica además, en estos sectores, el potencial sísmico acumulado, es decir, la magnitud esperable. Para el gap de Concepción, Ruegg y colaboradores (2009) habían estimado una magnitud entre 8.0 y 8.5. El terremoto reciente producido en 2010 en la región de Maule ha tenido una magnitud de 8.8.

tenían las fallas de ambas regiones. Sin embargo, en ningún caso debe confundirse con la predicción sísmica, cuyo objetivo es conocer dónde y cuándo se va a producir un terremoto de gran magnitud.

CONCLUSIONES

El estudio de los terremotos tiene numerosas posibilidades didácticas. Por una parte, estos fenómenos naturales tienen relación con varios temas del currículo de Enseñanza Secundaria como las fallas, la tectónica de placas o la estructura interna de la Tierra. Por otra parte, producen una gran alarma social incluso los de poca magnitud que ni siquiera causan daños materiales de consideración o víctimas mortales. Por eso tienen un gran seguimiento mediático e, incluso, han sido objeto de varias películas temáticas del género de catástrofes naturales.

Aprovechar la actualidad de algún terremoto “mediático” es una estrategia muy recomendable para el docente. Hacerlo de forma organizada, diseñando alguna actividad didáctica que incorpore los datos reales de ese sismo (magnitud, intensidad, contexto geodinámico, ...) para introducir, recordar o relacionar algunos términos y conceptos de la asignatura es, siempre, una experiencia muy positiva.

La propuesta didáctica y los recursos que ofrecemos en esta comunicación tienen como objetivo proporcionar un amplio abanico de posibilidades al docente, muchas de ellas ya publicadas en revistas de educación o en internet.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación CGL2011-30153-C02-02.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, P. (2008). Recursos para un estudio contextualizado de los terremotos. *Alambique*, 55, 20-31.
- Álvarez, J.A. (2011). Tsunamis, naturaleza y sociedad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 372-374.
- Brusi, D. y Roqué, C. (1998). Los riesgos geológicos. Algunas consideraciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6.2, 127-137.
- Brusi, D., González, M. y Figueras, S. (2005). Conocer los tsunamis: un seguro de vida. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 13.1, 73-84.
- Brusi, D., Alfaro, P. y González, M. (2008). Los riesgos geológicos en los medios de comunicación. El tratamiento informativo de las catástrofes naturales como recurso didáctico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.2, 154-166.
- Carreño, E. y Valero, J.F. (2011). Sismicidad de la Península Ibérica en el periodo instrumental: 1985-2011. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 289-295.

Celebi, M., Dietel, C., Prince, J., Onate, M. y Chavez, G. (1987). Site amplification in Mexico City (determined from 19 September 1985 strong-motion records and from recordings of weak motions), *Ground Motion and Engineering Seismology*, A. S. Cakmak (Editor), Elsevier, Amsterdam, 141-152.

Cortés Gracia, A.L., Calvo Hernández, J.M., Martínez Peña, B. y Gil Quílez, M.J. (2011). Simulación de las consecuencias de los terremotos a través del entorno web Oikos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 348-354.

Delgado, J. (2011). Efectos geotécnicos de los terremotos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 276-288.

Díaz, J. (2011). Buscando terremotos desde el aula. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 343-347.

González, M. y Mases, M. (2003). Riesgo sísmico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11.1, 44-53.

González-Herrero, M., López-Martín, J.A., Alfaro, P. Andreu Rodes, J.M. (2005). Recursos audiovisuales sobre tsunamis en Internet. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 13.1, 65-72.

Granja, J.L., Carbó, A., Hernaiz, P.P., Llanes, P., Muñoz, A. y Olaiz, A. (2011). El terremoto de Haití. Dos años después continúa la incertidumbre sobre la falla sísmica que ocasionó el desastre. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 369-371.

Macau, A. y Figueras, S. (2011). La intensidad, una herramienta para medir los terremotos a partir de sus efectos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 261-266.

McCalpin, J. (1996). *Paleoseismology*. Ed. Academic Press.

Madariaga, R. (2008). Pourra-t-on jamais prévoir les séismes ? En: Grappin, C., Cardin, P., Goffé, B., Jolivet, L. y Montagner, J.P. (Eds.). *Terre, Planete mysterieuse*. Ed. Le Cherche Midi.

Mann, P., Calais, E., Demets, C., Prentice, C.S. y Wiggins-Grandison, M. (2008). Enriquillo-Plantain Garden strike-slip fault zone: a major seismic hazard affecting Dominican Republic, Haiti and Jamaica. 18th Caribbean Geological Conference, JSG.

Molina, S., Giner, J.J. y Jáuregui, P. (2004). El tamaño de los terremotos: intensidad y magnitud. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12.1, 99-107.

Pantosti, D. (2010). El terremoto esperado pero impredecible. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18.3, 333-335.

Ruegg, J.C., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., de Chabaliera, J.B., Campos, J., Kausel, E., Barrientos, S. y Dimitrov, D. (2009). Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 175, 78-85.

Tapponier, P., Peltzer, G., Le Dain, A.Y., Armijo, R. y Cobbing, P. (1982). Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10, 611-616.

Wells, D.L. y Coppersmith, K.J. (1994). Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 84, 974-1002. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 12 de mayo de 2011 y aceptado definitivamente para su publicación el 2 de septiembre de 2011.