

LA GEOLOGÍA ES NOTICIA

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE UN TERREMOTO PEQUEÑO PERO CATASTRÓFICO

LORCA: EL TERREMOTO DEL 11 DE MAYO DE 2011

José J. Martínez Díaz

(pag. 362)



11 DE MARZO DE 2011: EL BIG ONE EN UN LUGAR NO ESPERADO



Fuente: Agencia Reuters

EL TERREMOTO, Mw=9,0, DE TOHOKU-OKI (JAPÓN)

José Morales

(pag. 365)

EL TERREMOTO DE HAITÍ

Dos años después continúa la incertidumbre sobre la falla sísmica que ocasionó el desastre

José Luis Granja Bruña - Andrés Carbó Gorosabel

Pedro Pablo Hernaiz-Huerta - Pilar Llanes Estrada

Alfonso Muñoz-Martín - Antonio Olaiz Campos



(pag. 369)



(pag. 372)

José A. Álvarez Gómez

TERREMOTOS TSUNAMIGÉNICOS: REFLEXIONES DE LOS TSUNAMIS DE CHILE (2010) Y JAPÓN (2011)



(pag. 375)

LA BASE DE DATOS DE FALLAS ACTIVAS CUATERNARIAS DE IBERIA (QAFI)

Julián García-Mayordomo

EL TERREMOTO, $M_w=9.0$, DE TOHOKU-OKI (JAPÓN)

11 DE MARZO DE 2011: EL *BIG ONE* EN UN LUGAR NO ESPERADO

JOSÉ MORALES

Instituto Andaluz de Geofísica. Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. 18071-Granada.
Email: morales@iag.ugr.es

El terremoto de Tohoku-Oki del 11 de marzo de 2011, y el subsiguiente tsunami se generaron bajo la fosa del Japón, al noreste de la isla de Honshu, donde la placa Pacífica subduce bajo la placa de Okhotsk, siguiendo un vector perpendicular a la fosa, a una velocidad media de entre 8 y 9 cm/año (Fig. 1). La magnitud momento (M_w), que relaciona el tamaño de un terremoto con parámetros como el área de ruptura y el desplazamiento sobre la falla, alcanzó el valor $M_w=9.0-9.1$. El terremoto entraba en el ranking de los sismos más grandes de la historia. El evento principal fue precedido, en los días anteriores, de una secuencia de terremotos de similar mecanismo, cabalgamiento de bajo ángulo, y cuyo terremoto más grande $M_w=7.3$, ocurrió el 9 de Marzo, dos días antes del principal. Ambos focos sísmicos sólo estaban separados unos pocos kilómetros. Aun cuando en estas costas del Japón, los sismos de magnitud $7.0 < M_w < 8.0$, no son infrecuentes, el gran terremoto de Tohoku-Oki, no sólo sorprendió a la población. La comunidad científica, en especial sismólogos e ingenieros, había infravalorado el tamaño máximo del terremoto que podía ocurrir

en esa zona en un factor de 5. En consecuencia, también infravaloró el potencial que esta región de la fosa del Japón tenía para generar grandes tsunamis. Los sismólogos japoneses esperaban el big one algo más al sur,

en la misma zona (Sagami Bay, suroeste de Tokyo) donde se localizó el gran terremoto de Kanto de 1923, que destruyó Yokohama y la capital nipona provocando aproximadamente 150.000 muertos.

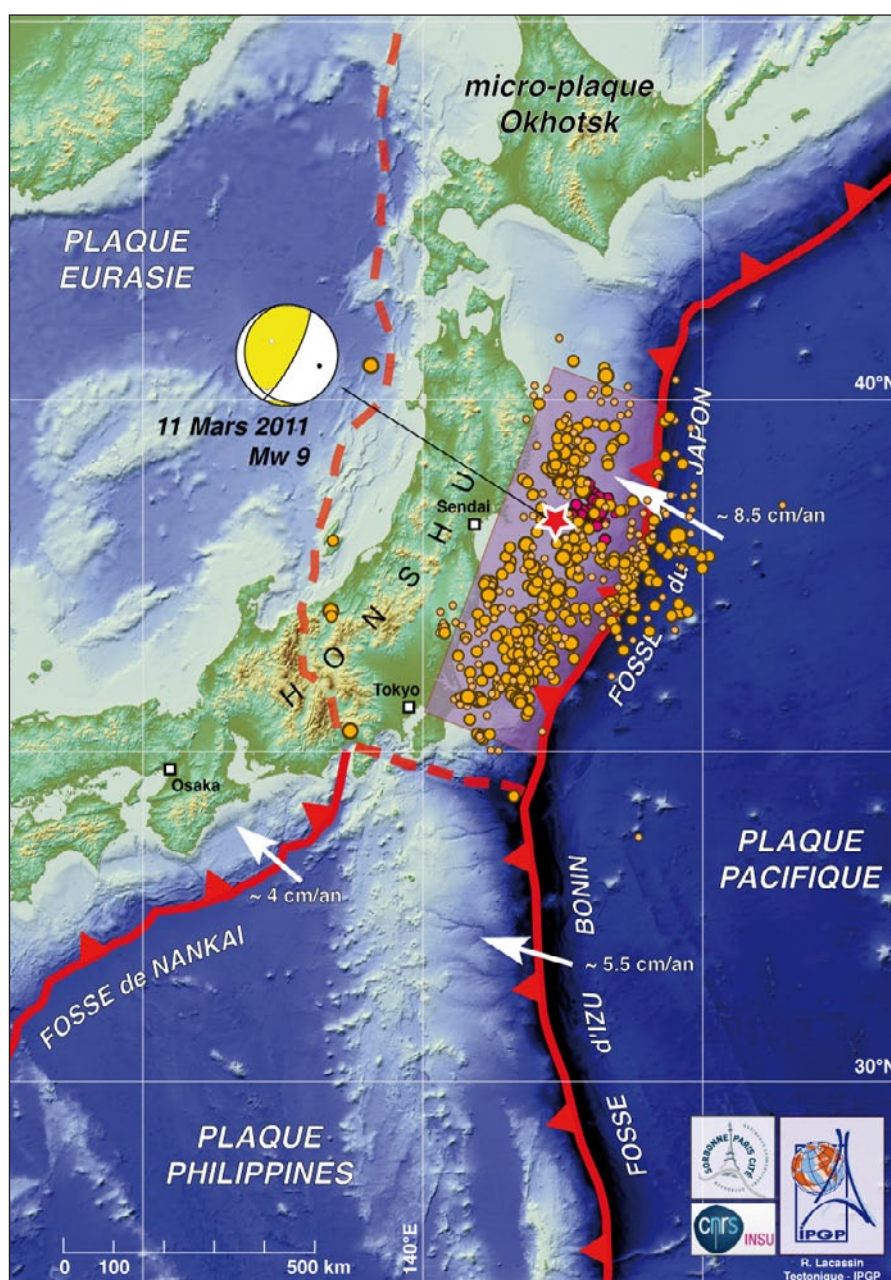


Fig. 1.- Contexto sismotectónico del terremoto de Tohoku del 11 de Marzo de 2011. La localización del epicentro se muestra con una estrella y el mecanismo focal (USGS) indica un plano con poco buzamiento hacia el oeste. Las réplicas, pasados cinco días del terremoto principal, se muestran con círculos y con un rectángulo el área de ruptura aproximada. Fuente: http://www.ipgp.fr/pictures_lib/3447.jpg

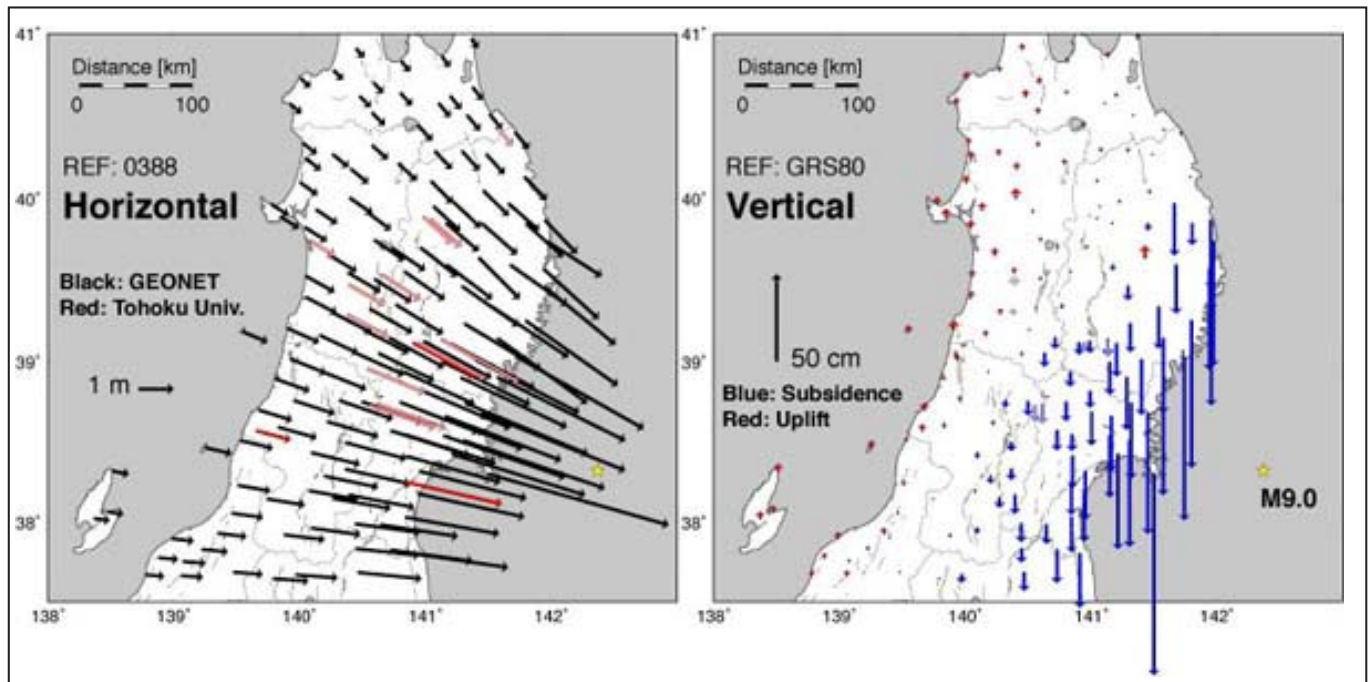


Fig. 2a. Deformaciones permanentes observadas en los GPS de la red GEONET y de la Universidad de Tohoku. La figura de la izquierda pertenece a las deformaciones horizontales y la de la derecha a las verticales. Fuente: http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/aob-e/info/topics/20110311_news/index.html

Las costas del Japón han sufrido grandes terremotos que han originado tsunamis locales, los cuales provocaban en ocasiones la destrucción de las poblaciones costeras próximas. Además, megaterremotos ($M_w > 9.0$) localizados al otro lado del Pacífico han generado tele-tsunamis (tsunamis a escala oceánica) que llegaron a las costas japonesas sin previo aviso. Un par de ejemplos lo constituyen los terremotos de 1700 con origen en las Cascadia (EEUU) de $M_w = 9.0$, o el de Chile de 1960 de $M_w = 9.5$. Recientemente, el terremoto de Chile de 2010, con $M_w = 8.8$, también generó un tsunami (ver Álvarez, 2011, en este mismo volumen) que, aunque atravesó todo el océano Pacífico, llegó muy debilitado a las costas japonesas.

El esfuerzo que había hecho Japón para protegerse del ataque de los tsunamis construyendo muros de contención con alturas de hasta 12 m a lo largo de la mayor parte de su costa pacífica, no fue obstáculo para que el tsunami generado por el terremoto de 2011 superara, en muchos lugares, dichas barreras que apenas opusieron resistencia.

Además, algunos fundamentos científicos que se creían bien asentados y que ligaban la ocurrencia de

grandes terremotos a la edad de la placa, de forma que el acople en la interfase entre las dos placas es mayor cuanto más joven es la edad de la litosfera que subduce, “saltaron por los aires”. La litosfera oceánica que subduce en la fosa del Japón, tiene en torno a los 150 Ma, lo que plantea otras cuestiones. ¿La subducción de litosferas oceánicas de edades similares podrían también generar terremotos de magnitud 9 o superior, de forma análoga al ocurrido en 2011, en la fosa del Japón frente a la costa de Honshu?

El terremoto de Tohoku-Oki, ha sido sin duda el terremoto instrumentalmente mejor registrado de la historia. Además, se obtuvieron infinidad de imágenes en directo del devastador tsunami que apenas media hora después de la sacudida comenzó a atacar las costas de Honshu. La altura de las olas superó las expectativas más conservadoras de los ingenieros, que diseñaron los muros para alturas menores a las registradas. El tsunami inundó la llanura de Sendai hasta penetrar incluso más de 30 km tierra adentro a través de los cauces de los ríos. El resultado fue devastador ya que causó más de 20.000 víctimas entre muertos y desaparecidos. Una consecuencia extrema de esta infravaloración de la

altura máxima esperada para la zona, fue la inundación del complejo nuclear de Fukushima. Por el contrario, un aspecto positivo fue que el sistema de alerta frente a tsunamis del Japón funcionó a la perfección. Las autoridades transmitieron a la población mensajes de aviso por la llegada del tsunami con un tiempo prudencial antes de la llegada de las olas. Sin embargo las alturas no pudieron ser predichas por el sistema de alerta. Las pérdidas en términos económicos se cuantifican en varios puntos de su PIB. Por recordar, el terremoto de Kobe de 1995 de $M_w = 6.8$ y 6.500 muertos supuso un lastre económico del cual Japón tardó en recuperar-se aproximadamente una década.

El inmenso volumen de datos generado por el terremoto de Tohoku-Oki se ha producido gracias al esfuerzo desarrollado en la última década, donde los diferentes países con un nivel de peligrosidad sísmica más o menos alta han dedicado un volumen de recursos importante para dotarse de redes sísmicas, geodésicas, de movimiento del suelo, etc., así como de sistemas de comunicación en tiempo real. En los últimos años también se ha logrado un incremento notable en el despliegue de antenas de GPS de alta resolución, especialmente en las zonas de borde de placas, donde la deformación del suelo a escala milimétrica es registrada, proporcionando información muy valiosa y directa, sobre cómo

se produce la acumulación de energía de deformación en las cercanías de las fallas. Estos datos son posteriormente analizados por numerosos investigadores. Sin embargo existe un vacío de instrumentación de fondo oceánico que suministre información sobre cómo se produce el aumento de la deformación ligado al acoplamiento de la interfase friccional entre las dos placas en las zonas de subducción (ver el apartado ¿qué son las zonas de acoplamiento? en González-Herrero et al., 2005)¹. Las ondas de radio por las que se comunican las antenas GPS y los satélites no penetran en el agua por lo que se necesitan costosas campañas para instalar transpondedores en el fondo oceánico con los que obtener información sobre el desplazamiento del suelo oceánico a lo largo del tiempo. En el caso de la fosa del Japón, la información sobre cómo debió producirse el crecimiento lento pero imparable de la deformación intersísmica (previa al terremoto)

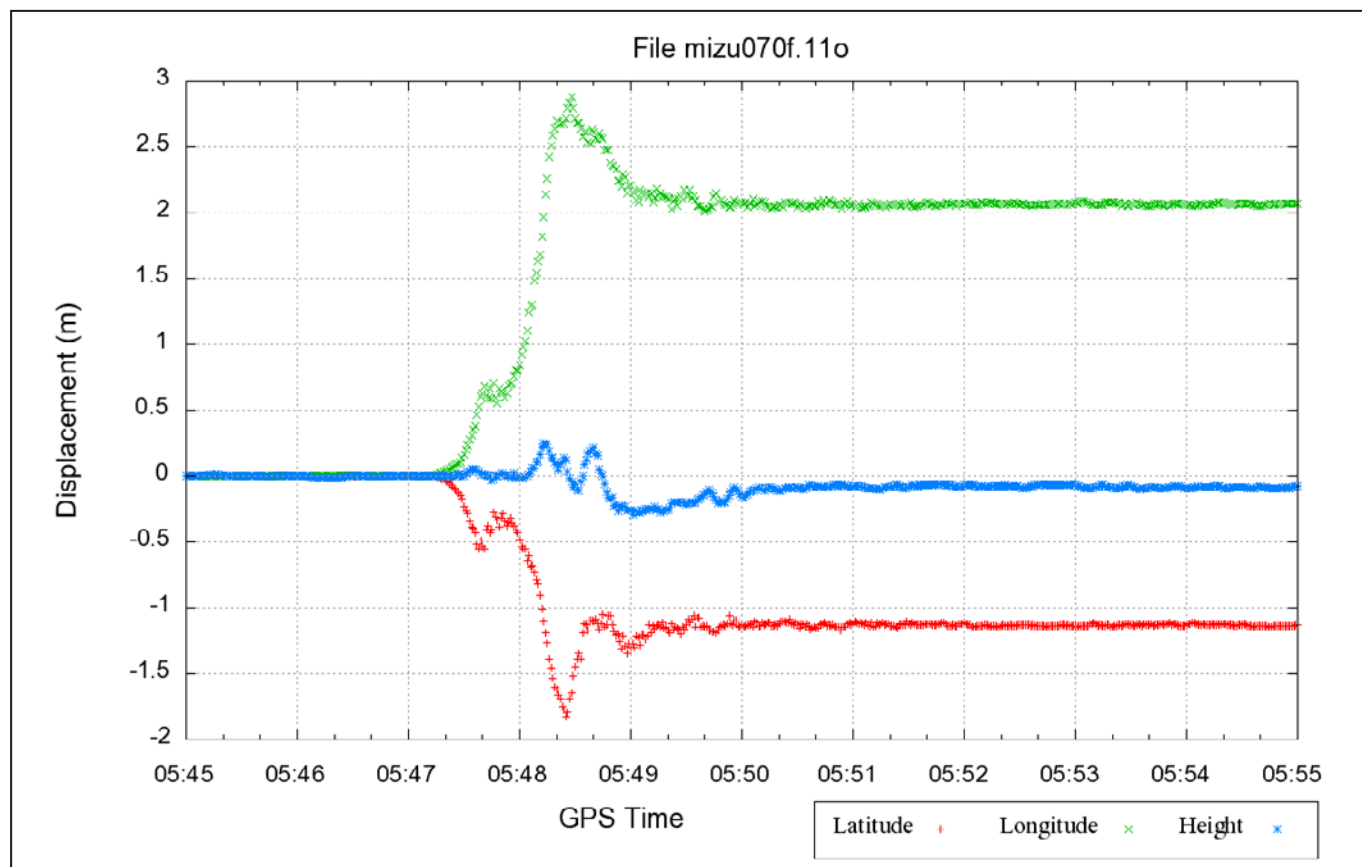
Fig. 2b.- Ejemplo de un registro de GPS del terremoto de Tohoku, donde se aprecia una deformación permanente de 2.1 m hacia el Este, de 1.1 m hacia el Sur y de una subsidencia de 0.1 m.

habría sido crucial para reconocer su potencial sísmico real. Hay que recordar que la mayor parte de los límites de placa se encuentran bajo el agua. Un reto sin duda será encontrar tecnología que permita un despliegue similar al de tierra con un coste más económico.

Los datos generados por los miles de instrumentos, sismómetros de banda ancha, acelerógrafos, mareógrafos y GPS, desplegados tanto en el propio Japón como en el resto de mundo, han comenzado a dar respuesta a muchas de las preguntas que se suscitaron entre sismólogos, geofísicos, geólogos e ingenieros nada más producirse este terremoto.

La distribución de las réplicas que se localizaron los días siguientes al gran terremoto indicaban que la zona de ruptura tenía unos 500 km de longitud por unos 200 km de anchura (Figura 1). La duración total del proceso de ruptura en la interfase entre las dos placas duró unos 160-180 segundos. Poco, si los comparamos con los más de 8 minutos que duró el terremoto de Sumatra de 2004 (Mw=9.3), donde la longitud de la ruptura fue de 1.200 km, o mucho si lo comparamos con el segundo que duró el proceso de falla-

miento del reciente terremoto de Lorca del 11 de mayo (Mw=5.2) de este año. En esta amplia región de la fosa del Japón, el terremoto comenzó relativamente cerca de la superficie, a 23 km. El mecanismo focal calculado por diferentes grupos de investigadores indicaba un fallamiento inverso puro, ligado al proceso de subducción, con un azimut de la falla paralelo a la fosa del Japón pero sorprendentemente con un buzamiento hacia el W muy bajo, solamente 10°. Durante esos 160-180 segundos que duró el proceso de ruptura en la interfase entre las dos placas, los GPS desplegados en tierra mostraban desplazamientos cosísmicos estáticos pico (desplazamiento permanente debido a la ruptura) en la mitad oriental de la isla de Honshu del orden de 4.3 m hacia el Este y de 0.66 m de subsidencia. La instalación entre 2000-2004 en la zona epicentral de varios puntos de observación geodésica de fondo oceánico permitió, a los pocos días del terremoto, realizar medidas geodésicas mediante técnicas combinadas de GPS y transmisión acústica con las que se determinaron desplazamientos estáticos del orden de 24 m en la horizontal (hacia el Este) y de 3 m en la vertical.



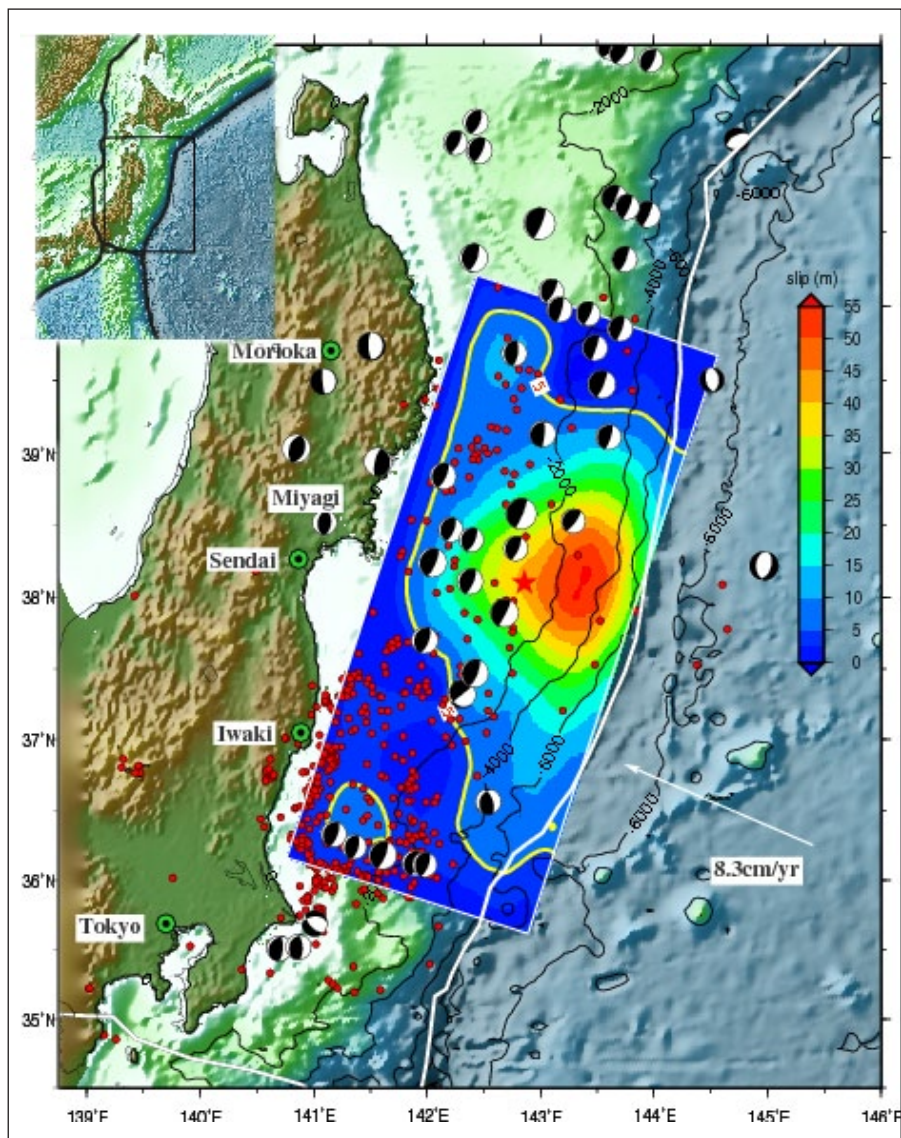


Fig. 3.- Modelo de desplazamiento en la zona de ruptura invertido por la Universidad de Santa Bárbara California, utilizando datos de banda ancha y donde se observan valores de hasta 50 metros de deslizamiento. Fuente: http://www.geol.ucsb.edu/faculty/ji/big_earthquakes/2011/03/0311_v2/Honshu_2.html

En las figuras 2 a y b podemos observar dichos desplazamientos, así como un registro típico de GPS donde se observa la deformación permanente. Con estos impresionantes valores de desplazamiento en la superficie y cerca de la fosa podríamos empezar a ver algo de luz sobre la génesis del destructor tsunami.

Aplicando técnicas de inversión a los datos suministrados por los GPS y los sismógrafos de banda ancha se ha podido obtener una imagen de como fué el proceso de ruptura en la subducción, una vez iniciada en el hipocentro (recordamos que las réplicas mostraban una región de 500 km x 200 km). De estos resultados se observa que la

ruptura se propagó de forma muy lenta (1.5-2.0 km/s) en la primera mitad de la ruptura, lo que evidencia el control y la existencia de sedimentos y fluidos en la interfase más superficial de la ruptura. Los valores estimados de desplazamiento máximo llegan a ser del orden de los casi 50 m en la horizontal en zonas relativamente someras y cercanas a la fosa (Figura 3). Haciendo una comparación, estos valores son casi el doble de los estimados para el terremoto de Sumatra de 2004 ($M_w=9.3$) con una longitud de ruptura de 1200 km o el de Chile de 2010 ($M_w=8.8$), y mayores incluso que los calculados para el gran terremoto de Chile de 1964 de ($M_w=9.5$), el más grande jamás regis-

trado. Los mayores desplazamientos se concentran en una región (denominada aspereza) de unos 300x150 km que se caracteriza por una fuerte resistencia a la ruptura y donde se concentra una gran acumulación de deformación, y que libera la mayor parte de la energía, la cual probablemente no había sufrido ruptura desde hacía varios centenares de años.

Mientras todo este proceso iba teniendo lugar en la fuente (ruptura) las ondas sísmicas que se iban generando llegaban a los diferentes tipos de sismógrafos, banda-ancha o acelerógrafos, instalados en tierra, llegándose a valores máximos de aceleración del suelo de hasta 1g (g es la aceleración de la gravedad) e incluso en un caso alcanzó el valor de 3g (el máximo registrado para un terremoto hasta ahora). Aunque los daños en estructuras producto de la sacudida fueron mínimos, el desastre estaba aún por llegar en forma de una ola que se transformó en un flujo negro que devastaba todo lo que encontraba a su paso mientras progresaba por la llanura de Sendai. Valores de run up (altura de la columna de agua en su avance en tierra medido respecto de nivel del mar) de 30 m e incluso de hasta 40 m se llegaron a medir en algunos puntos.

La era de la globalización informativa nos ha permitido en los últimos años ser testigos directos de procesos excepcionales relacionados con la dinámica terrestre. Terremotos como los de Sumatra en 2004, Haití 2010, Chile 2010 o el último de Japón de 2011 son el reflejo de un planeta que a lo largo de su historia se ha construido en parte a base de procesos destructivos como volcanes, terremotos y tsunamis. Sin embargo también gracias a ellos disfrutamos de un planeta excepcional: la Tierra. ●

¹ González-Herrero, M., López-Martín, J.A., Alfaro, P., Andreu, J.M. (2005). Recursos audiovisuales sobre tsunamis en Internet. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 13.1, 65-72.