

EDITORIAL

NOTICIAS GEOS

WEBINARIO 2014

SEMBLANZA

PETRÓLEO
Y GAS NO CONVENCIONAL

CONVOCATORIAS
PROPUESTAS DE SESIONES
ESPECIALES Y CURSOS
EN LA RAUGM 2014

ESPACIOS PARA EXHIBICIÓN
DURANTE LA RAUGM 2014

MODELACIÓN DEL TSUNAMI

TSUNAMIS GENERADOS
POR LOS SISMOS DE IQUIQUE, CHILE
Y PETATLÁN, GRO., MÉX.

LIBRO CAMBRIDGE:
EXTREME NATURAL HAZARDS,
DISASTER, RISK AND SOCIETAL
IMPLICATIONS

GEOFÍSICA

INTERNACIONAL

EDITORIAL

Estimados lectores

Durante los últimos meses se ha realizado un esfuerzo importante para mejorar la página Web de la Unión Geofísica Mexicana, la cual tiene ahora una nueva presentación. Este esfuerzo continúa y los comentarios son bienvenidos.

A partir de este número incluiremos información sobre los temas y fechas de los próximos seminarios en línea (webinarios) y ampliaremos esta información incluyendo una síntesis del siguiente trabajo a presentarse y una breve semblanza del ponente.

Con respecto a la Reunión Anual, las convocatorias para proponer sesiones especiales y cursos están abiertas y se cierran el 7 de junio. Aquí encontrarán información al respecto, así como sobre los espacios disponibles para exhibiciones, tanto para empresas como para la academia.

Los artículos que aquí se presentan están relacionados con los tsunamis generados por los recientes sismos ocurridos en Chile y en México. Les agradezco sinceramente a los autores sus valiosas e interesantes contribuciones.

El temblor de magnitud 8.2 en la costa norte de Chile afectó las regiones de Chile y Perú. Las ondas generadas alcanzaron cientos de kilómetros a través del Océano Pacífico llegando a las costas de México. El temblor del 18 de abril de 2014 de magnitud 7.0 en el estado de Guerrero, México generó un tsunami que se apreció en Lázaro Cárdenas, Mich., Zihuatanejo, Gro., y Acapulco, Gro. En particular este sismo coincidió con el 108 aniversario del temblor que en 1906 devastó la ciudad de San Francisco, EEUU.

El primero artículo describe brevemente la naturaleza de los tsunamis y una herramienta utilizada para modelar estos fenómenos y su potencial aplicación en estudios

mutidisciplinarios, como parte del proyecto tsUNAMi. El segundo artículo presenta registros de ambos tsunamis obtenidos por el Servicio Mareográfico Nacional (SMN), el que actualmente registra el nivel del mar con una frecuencia de un minuto, lo que permite observar en forma adecuada las ondas producidas por los tsunamis que tienen períodos entre 15 y 30 minutos.

En un comunicado de Cambridge University Press se informó sobre la publicación del libro “*Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications*”. El libro revisa los retos en integrar la investigación con el riesgo de desastres, para reducir al mínimo la vulnerabilidad de las sociedades por eventos sísmicos, actividad volcánica, huracanes, tifones y demás eventos naturales. El libro forma parte de la serie de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica IUGG. En general, los autores ofrecen una visión sobre tópicos como los problemas generados por eventos naturales, la vulnerabilidad de la sociedad, las políticas de riesgos de desastres, las relaciones entre política sobre desastres y adaptación al cambio climático para reducir riesgos y aproximaciones a los seguros en eventos extremos.

Por último se incluye el listado de los últimos artículos publicados en geofísica internacional, los cuales están disponibles en línea en: http://www.geofisica.unam.mx/unid_apoyo/editorial/publicaciones/investigacion/geofisica_internacional/actual.html

Esperando disfruten la lectura de este número, reciban saludos cordiales.

Ligia

NOTICIAS GEOS

Nombran a Gerardo Carrasco Núñez, director del Centro de Geociencias de la UNAM

El pasado 7 de mayo el rector de la UNAM, José Narro Robles, nombró a Gerardo Carrasco Núñez como director del Centro de Geociencias (CGeo) para el periodo 2014-2018. *Encabezará la entidad universitaria por un segundo periodo de cuatro años.*

¡¡Enhorabuena!!

La página web de la UGM
tiene una nueva imagen, te invitamos a visitarla

<http://ugm.org.mx>



GERARDO CARRASCO NÚÑEZ

WEBINARIO 2014

- ▶ **La influencia del cráter de Chicxulub sobre la hidrología del norte de Yucatán**
Dr. Mario Rebolledo Vieyra | 31 de enero |
Unidad de Ciencias del Agua, CICY, A.C.; México
- ▶ **La información geológica producida en inegi**
Ing. José Rodríguez Rocha | 28 de febrero |
Instituto Nacional de Estadística y Geografía; México
- ▶ **De la posibilidad de alerta sísmica temprana con una red gravimétrica de próxima generación**
Dr. Juan Pablo Ampuero | 28 de marzo |
California Institute of Technology; EEUU
- ▶ **Investigaciones en mar profundo en el Golfo de México**
Dra. Elva Escobar Briones | 25 de abril |
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; México
- ▶ **Petróleo y gas no convencionales: ¿una revolución o una jubilación?**
Dr. Luca Ferrari Predaglio | 30 de mayo |
Centro de Geociencias, UNAM; México
- ▶ **Magnetosferas gigantes**
Dra. Xóchitl Blanco Cano | 27 de junio |
Instituto de Geofísica UNAM; México
- ▶ **Usos de la información climática**
Dr. Víctor Magaña Rueda | 29 de agosto |
Instituto de Geografía, UNAM; México
- ▶ **Variabilidad estacional de la atmósfera en la región del Golfo de California**
Dr. Cuauhtémoc Turrent Thompson | 26 de septiembre |
Cicese; México
- ▶ **Temas selectos de investigación en energía renovable marina y offshore**
Dra. Vanesa Magar Brunner | 24 de octubre |
Cicese; México

DR. LUCA FERRARI

Es egresado de la Universidad de Milán y Doctor en Ciencias de la Tierra por la misma institución. Realizó un Posdoctorado en el Instituto de Geología de la UNAM donde se incorporó desde 1995. Actualmente es Investigador Titular C en el Centro de Geociencias de la UNAM, campus Juriquilla, Qro., del cual fue también Director hasta 2010. Es Investigador Nacional Nivel III, miembro distinguido (Fellow) de la *Geological Society of America*. Ha sido Presidente de la Unión Geofísica Mexicana y actualmente es miembro de la mesa directiva de la sección Centro de la Academia Mexicana de Ciencias.

Su tema principal de investigación es la geología regional de México y su aplicación en la exploración para la minería y la geotermia. Desde 2005 se ha también dedicado al análisis de la producción petrolera en México y en el mundo y las implicaciones para el futuro de la energía, impartiendo numerosas conferencias por invitación en universidades y centros de investigación público y privados.

Su producción académica consta de 85 artículos arbitrados en revistas indizadas, que han sido citados un total de 1,900 veces por otros autores, con un factor $H = 25$. Es profesor en el Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM y de la Licenciatura en Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería.



PETRÓLEO Y GAS NO CONVENCIONAL: ¿una revolución o una jubilación?

Dr. Luca Ferrari

Centro de Geociencias, UNAM • luca@unam.mx

La producción global de petróleo convencional creció un promedio de 2.1% por año desde mediados de los años 60' hasta 2005, cuando se quedó estancada. Esto provocó una alza del precio del barril de 50 a 130 dólares en menos de 3 años, que fue el factor determinante en desatar la crisis económica y financiera de 2008. En los últimos 5 años la producción global ha vuelto a incrementarse marginalmente (0.5% anual) gracias al llamado petróleo no convencional que, aunado al gas de lutita ha sido explotado de manera intensa en Estados Unidos, donde se ha clamado que estamos frente a una “nueva revolución petrolera” y que el pico del petróleo no está a la vista todavía. El petróleo y gas de lutitas (*tight oil, gas shales*) está constituido por crudo y gas atrapados en formaciones de baja o nula permeabilidad, que fueron la roca generadora del petróleo convencional. Para producir estos yacimientos se usan pozos horizontales y fracturamiento hidráulico (*fracking*) con inyección de agua, arena (98%) y agentes químicos (2%) a alta presión. En muchos casos se trata de yacimientos conocidos pero anteriormente inviables del punto de vista económico. Un precio del petróleo por encima de los 100 dólares por barril ha hecho posible el “milagro”.

La reforma energética recientemente aprobada plantea explotar este recurso también en México, sin considerar los altos costos económicos, energéticos y ambientales. La

experiencia de Estados Unidos, donde se han perforado más de 70,000 pozos, indica que solo hay unos cuantos sitios productivos (*sweet spots*) y que la producción de un pozo colapsa rápidamente, al punto que en solo 3 años se produce de 80 a 95% menos que al principio. La productividad por pozo es muy inferior al petróleo convencional y el factor de recuperación final es típicamente inferior al 10% del recurso (35-40% en el caso del petróleo convencional). Se trata entonces de recursos de menor calidad que el petróleo convencional, que necesitan de más energía para producirse y, por ende, el incremento de producción no se traduce necesariamente en mayor energía disponible para la sociedad, pero sí en mayores capitales que se tienen que desviar hacia su producción. El petróleo y gas no convencional tiene además un fuerte impacto ambiental. Cada pozo usa entre 9 y 25 millones de litros de agua, un recurso ya escaso en el norte del país. El agua es contaminada con químicos altamente tóxicos que pueden contaminar suelos y aguas superficiales. El proceso de *fracking* libera también metano, un gas de efecto invernadero mucho más poderoso que la CO_2 . En suma el alto precio económico y ambiental del petróleo no convencional y su baja ganancia energética confirma que estamos entrando en la segunda parte de la curva de producción, caracterizada por el declive de la cantidad de energía fósil disponible y con un precio cada vez más alto.

Tanto los límites físicos a la producción de energías fósiles como las consecuencias ambientales y climáticas de su uso ponen a la humanidad frente a la necesidad de la nueva transición energética a las fuentes de energía renovables, que pueden asegurar un flujo de energía duradero y, en principio, una economía sustentable. Sin embargo su intensidad energética es inferior al petróleo convencional, su flujo es discontinuo y la infraestructura para su aprovechamiento se construye con energía y materiales derivados de combustibles fósiles. Esto indica que no es posible sostener el sistema económico actual sustituyendo los combustibles fósiles con energías renovables, a menos de reducir los consumos y dejar el mito del crecimiento ilimi-

tado. No obstante el sistema actual se resiste al cambio y prefiere apostarle a recursos caros, sucios y de corto plazo como el petróleo y gas no convencional en lugar de soluciones de largo alcance como las fuentes renovables. En cambio deberíamos tratar de usar de manera estratégicas las reservas de petróleo que quedan en el mundo, dejando de estimular el consumismo para redirigir la economía hacia las necesidades esenciales (educación, salud, seguridad alimentaria, protección del medio ambiente) e instrumentar la transición hacia una sociedad post-petrolera que debe necesariamente sujetarse a la menor disponibilidad energética que provén las energías renovables.

Para profundizar:

- Ferrari L., 2013. *Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas*. Revista Mexicana de Física S, v. 59(2), p. 36-43. http://rmf.smf.mx/pdf/rmf-s/59/2/59_2_36.pdf
- Ferrari L., 2013. *Energía finita en un planeta finito*. Revista Digital Universitaria. v. 14, n. 9. <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num9/art30/>
- Hughes D., 2013. *Perfora, Chico, Perfora*. Post carbon institute <http://www.postcarbon.org/report/1983362-perfora-chico-perfora>



CONVOCATORIAS

Propuestas de sesiones especiales y cursos en la RAUGM 2014

La Reunión Anual de la UGM (RAUGM) 2014 tendrá lugar del 3 al 7 de noviembre en el Hotel Sheraton Buganvilias, Puerto Vallarta, Jalisco.

Del **3 de marzo al 7 de junio** estarán abiertas las convocatorias para propuestas de sesiones especiales con temas de frontera y de cursos para llevarse a cabo durante la RAUGM.

Las propuestas de **sesiones especiales** sobre temas de frontera deberán ser enviadas al Dr. Noel Carbajal | noelc@ipicyt.edu.mx |, Secretario de investigación de la UGM, incluyendo título de la sesión especial y una breve descripción de la misma, así como los nombres y correos electrónicos de los organizadores. Se requieren de por lo menos 2 y hasta 4 organizadores y el (la) responsable de la solicitud tiene que ser miembro de la UGM. Para que se abra una sesión especial se necesitan por lo menos 8 participantes (bloque de 2 horas).

Los interesados en impartir **cursos** durante el congreso deberán enviar el tema, contenido y actividades a desarrollar a la Dra. María del Sol Hernández | msol_hernandez@enesmorelia.unam.mx |, Secretaria de Educación de la UGM. Los cursos deben impartirse en un solo día durante la semana de la RAUGM (entre el lunes y el viernes), con una duración máxima de 8 hrs. (4 hrs. en sesión matutina y 4 hrs. en sesión vespertina). La solicitud tiene que hacerla un miembro de la UGM (responsable del curso), aunque el curso podrá ser impartido por un no miembro. Para que se abra un curso se necesitan por lo menos 6 participantes.

Esperamos contar con su participación en la organización de eventos especiales en la RAUGM.

ESPACIOS PARA EXHIBICIÓN DURANTE LA RAUGM 2014

Empresas

Durante la Reunión Anual 2014 tendremos diez espacios de 2×3 metros destinados a empresas, ubicados en los mejores sitios para ofrecer mayor visibilidad, por un costo de \$20,000.00 + IVA, incluyendo el registro de dos personas. También tendremos dos espacios de 2×4 metros, por un costo de \$30,000.00 + IVA, incluyendo el registro de cuatro personas.

Instituciones académicas

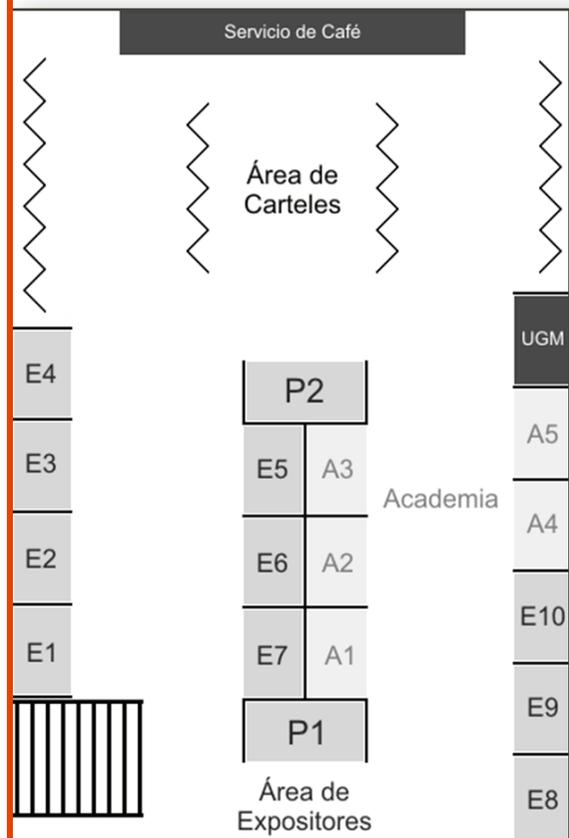
Tendremos cinco espacios de 2×3 metros para instituciones académicas interesadas en difundir sus programas, por un costo de \$10,000.00 + IVA, incluyendo el registro de dos personas.

Croquis ▶

Espacios reservados

E6 SIGMETRIC | <http://www.sigmetric.com>

E7 Schlumberger | <http://www.slb.com>



MODELACIÓN DEL TSUNAMI GENERADO POR EL TEMBLOR DE CHILE 2014, MW 8.2

Angel Ruiz Angulo [Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM](#)
Vala Hjörleifsdóttir [Instituto de Geofísica, UNAM](#)

El sismo de Mw 8.2 ocurrido en Chile el 1 de abril de 2014 generó un tsunami que afectó esencialmente la región del norte de Chile y el sur de Perú; sin embargo, las ondas generadas alcanzaron también a las costas mexicanas así como otras regiones. Estas ondas fueron detectadas en tiempo real tanto por los instrumentos que miden el nivel medio del mar en la costa (Servicio Mareográfico Nacional), así como las boyas DART (*Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*) que se localizan en el fondo del mar. Este manuscrito describe brevemente la naturaleza de los tsunamis así como una herramienta utilizada para modelar estos fenómenos (GeoClaw) y su potencial para realizar estudios multidisciplinarios a-posteriori como parte del proyecto **tsUNAMi**.

¿Cómo se estudian los tsunamis?

El estudio de tsunamis, resulta ser un problema bastante interesante desde el punto de vista de dinámica de fluidos geofísicos. Los tsunamis pertenecen a una categoría especial dentro de las ondas de gravedad, son ondas largas, muy largas, i.e. $L \sim 100$ [km] y así mismo tienen periodos muy largos $T \sim 100 - 10000$ [s]. Debido a que la escala horizontal de la perturbación inicial es muy grande comparada con la profundidad media del nivel del mar, $H \sim$

4 [km], se pueden realizar algunas simplificaciones importantes a las famosas ecuaciones de Navier-Stokes. Además, es posible aplicar la aproximación de un fluido inviscido dado que los esfuerzos viscosos son despreciables comparados con las fuerzas inerciales. Dichas simplificaciones dan como resultado las ecuaciones de aguas someras. Este sistema de ecuaciones (Eq. 1-3) resultante es un sistema de ecuaciones diferenciales parciales no lineales de tipo hiperbólico. En la figura 1 se muestra un esquema simplificado de las variables involucradas en este sistema de ecuaciones.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial B}{\partial x} - Du, \quad (2)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial (hv^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial B}{\partial y} - Dv. \quad (3)$$

Donde $u(x,y,t)$ y $v(x,y,t)$ son las velocidades horizontales integradas en la vertical, $B(x,y,t)$ es la topografía, $h(x,y,t)$ es la altura total del agua y g es la aceleración de la gravedad. Los términos de fricción Du y Dv en las ecuaciones 2 y 3 se incluyen cuando la solución se aproxima a las regiones más someras (*shoaling*). Al incluir estratégicamente estos términos se evita sobreestimar la extensión de la inundación (*runup*).

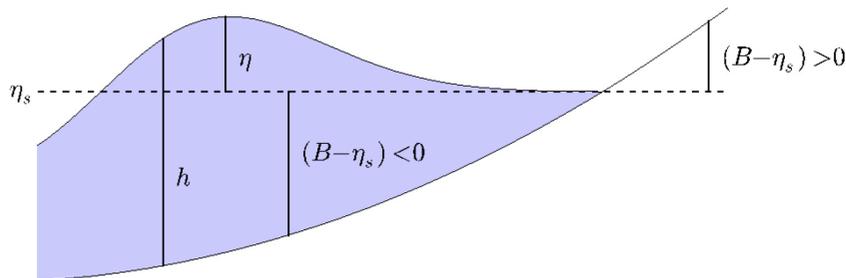


Figura 1 | Esquema de las variables involucradas en las ecuaciones de aguas someras. El área sombrada corresponde a la profundidad total $b(x, t)$, $B(x, t)$ es la batimetría local y las perturbaciones de la superficie están dadas por $\eta(x, t) = B(x, t) + h(x, t)$, LeVeque *et al.* (2011).

En otras palabras, un tsunami generado por un forzamiento sísmico perturba la superficie libre, $\eta(x, t)$, en un lapso de tiempo muy corto. Sin embargo, en caso de que el sismo sea muy grande, esta perturbación ocurre en un área muy extensa (en el orden de magnitud del plano de ruptura) lo que resulta en un volumen de agua desplazado “verticalmente” bastante grande. Como resultado de esta serie de eventos se genera una onda de gravedad larga que conocemos como tsunami la cual viaja a una velocidad $U \sim 600 [km/h]$ en aguas relativamente profundas, la cual es aproximadamente 2/3 partes de la velocidad de crucero de un avión de pasajeros. (tal vez pie de página) La velocidad de propagación de ondas de gravedad no dispersivas se calcula como: $U = (gH)^{1/2}$, donde g es la aceleración de la gravedad y H es la profundidad de la columna de agua. En aguas profundas, la amplitud de esta perturbación es relativamente pequeña y su longitud de onda bastante larga. Estas señales pueden ser registradas en tiempo real por la boyas DART que se encuentran localizadas en regiones que históricamente se han caracterizado por el paso de estas ondas. Conforme el tsunami se aproxima a la costa, es decir, la profundidad disminuye, la amplitud de la onda se incrementa, la longitud de onda disminuye y la velocidad de propagación disminuye. Este proceso se conoce como “someramiento” y puede expresarse como: $h_s/h_p = (H_p/H_s)^{1/4}$. Donde h_s y h_p son las alturas de las ondas

en aguas someras y profundas correspondientemente, y H_s y H_p son las profundidades en aguas someras y aguas profundas correspondientemente. Por ejemplo, un tsunami que tiene una altura de 1[m] cuando se encuentra en aguas con una profundidad de 4000[m] al acercarse a la costa donde la profundidad es de 10[m] resultaría en una onda con una altura de $\sim 5[m]$. Sin embargo, esta relación para estimar la amplitud de un tsunami cerca de la costa únicamente es válida dentro de un sistema conservativo puro, es decir sin disipación. En la realidad, mientras el tsunami se aproxima a la costa la fricción de fondo juega un papel importante y es necesario incluir este efecto para estudiar apropiadamente el comportamiento del tsunami en regiones someras, las cuales obviamente son las de mayor interés para el estudio de riesgos.

Actualmente, todos los modelos que simulan la propagación de los tsunamis utilizan esencialmente las mismas aproximaciones. Sin embargo, el mayor reto que existe hasta el momento es implementar los modelos de propagación de tsunamis en un modo pronóstico operacional. Para lograr una simulación en tiempo real se requiere de la combinación de varias disciplinas, entre ellas: sismología, dinámica de fluidos y métodos numéricos. De un modo simplificado, a partir de el momento que ocurre un sismo se requiere conocer la magnitud de este sismo y un modelo para la fuente sísmica, a partir del cual se obtendrán los

parámetros necesarios como el hipocentro, tamaño de la falla y la magnitud del deslizamiento. Estimar todos estos parámetros en tiempo real requiere acceso a datos sísmicos en tiempo real, y métodos de estimación de modelos simples de la fuente sísmica que utilicen las ondas sísmicas que viajan más rápido. Esta obtención de modelos confiables en un corto plazo de tiempo sigue siendo un tema activo de investigación. Actualmente la mayoría de los centros de alertamiento de tsunami utilizan el fase W, una rampa en el sismograma que aparece entre las ondas P y S para la estimación de la magnitud y el mecanismo focal. Estos parámetros son estimados por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para temblores grandes globalmente y por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) para temblores en el territorio mexicano. Una vez obtenidos los parámetros sísmicos es necesario traducir los desplazamientos verticales en una perturbación de la superficie del mar que eventualmente será el tsunami que se propagará. Una vez generadas las condiciones iniciales, es necesario resolver el sistema de ecuaciones de aguas someras en un dominio real que incluya alta resolución en las regiones costeras vulnerables a un evento particular. En esta breve descripción es posible observar que los pronósticos de tsunamis en tiempo real son una tarea bastante ambiciosa que requiere gran poder computacional y una excelente coordinación por parte de las diferentes disciplinas participantes.

Modelación del tsunami de Chile 2014

Para modelar este tsunami se utilizó un paquete de programas denominado GeoClaw (Berger *et al.*, 2011), desarrollado principalmente por la Universidad de Washington. GeoClaw pertenece a su vez a un paquete de programas llamado Clawpack (LeVeque, 2002) el cual es un conjunto de algoritmos capaces de resolver un sistema de ecuacio-

nes hiperbólicas por medio de volúmenes finitos. En específico, GeoClaw resuelve las ecuaciones no lineales de aguas someras por medio de métodos de volúmenes finitos con alta resolución, incluyendo fricción en las regiones someras (*shoaling*), i.e. $H < 100 [m]$. Algunas características notorias del modelo GeoClaw son la capacidad de refinamiento adaptativo de mallas y la extensión de la inundación (*runup*). El refinamiento adaptativo (*AMR, Adaptive Mesh Refinement*) permite incrementar eficientemente la resolución espacial en ciertas regiones de interés conforme el tsunami se propaga dentro del dominio seleccionado. Algunos ejemplos de regiones de interés pueden ser: puertos, bahías, islas, plantas termoeléctricas, entre otras. A diferencia de la mayoría de las olas en el Océano, los tsunamis no rompen. Su efecto se observa en las regiones costeras como un rápido incremento en la marea que resulta en inundaciones abruptas. Algunos modelos que se utilizaban en el pasado consideraban como condición de frontera en la línea de costa una pared infinita a partir de la cual se podría estimar, sobre el nivel medio del mar, la máxima elevación alcanzada debida al Tsunami. Posteriormente, a partir de estos datos y los datos de topografía se generaban los mapas de inundación. Los modelos contemporáneos, en específico, GeoClaw utiliza “celdas fantasma” cerca de la línea de costa. Dichas celdas son elementos inundables que dan continuidad a la propagación del Tsunami desde la batimetría (mar) hasta la topografía adyacente (playa). Como resultado de la implementación de estos algoritmos, la estimación de la extensión de la inundación es mucho más realista. Una gran ventaja de la implementación de estos algoritmos dentro de GeoClaw es que se resuelve tanto la propagación como la extensión de la inundación del tsunami con el mismo paquete.

Como se mencionó anteriormente, se requieren varios pasos para modelar un tsunami. En el caso específico del tsunami de Chile del 1° de abril de 2014, utilizamos un modelo simple para la fuente sísmica. Se supone

que un deslizamiento constante ocurrió al mismo tiempo sobre toda una falla rectangular, centrada en el hipocentro. El tamaño de la falla y la magnitud del deslizamiento se estima utilizando el momento sísmico obtenido de ondas sísmicas registradas globalmente, y la orientación de la falla coincide con uno de los planos del mecanismo focal (www.globalcmt.org). Después de alimentar estos parámetros a GeoClaw, se define el dominio computacional de interés, las estaciones para obtener series de tiempo de altura del nivel medio del mar (tipo mareógrafos). En particular, nos interesaba proponer una estación muy cercana al hipocentro (boya DART número: 32412) y otra muy cercana a las aguas mexicanas (DART número: 43413, al sur de Acapulco). El modelo contiene 3 niveles de refinamiento (AMR) en 5 dominios. Conforme el tsunami se propaga los dominios de interés con alta resolución se utilizan y los dominios que ya han sido utilizados dejan de pertenecer al dominio computacional. Es importante mantener continuidad conforme la solución, es decir el tsunami, se va propagando. Las imágenes mostradas en la Figura 2 se observa la propagación del tsunami así como la evolución de las mallas. La barra de colores en azul y rojo muestra la perturbación en la elevación del nivel medio del mar (en metros). Los puntos negros mostrados cerca de Chile y México corresponden a la ubicación de las boyas DART donde se generaron las series de tiempo mostradas en la Figura 3.

En la Figura 2 se puede observar que mientras el tsunami se propaga en el dominio cercano a Chile la resolución en el dominio cercano a México es muy baja. Este artificio numérico permite reducir significativamente el costo computacional. Las series de tiempo sintéticas registradas en las boyas propuestas se muestran en la Figura 3. Se puede observar el retraso en los tiempos de arribo así como la disipación de la amplitud de la onda al aproximarse a las costas mexicanas. El orden de magnitud de las alturas está dentro del rango observado.

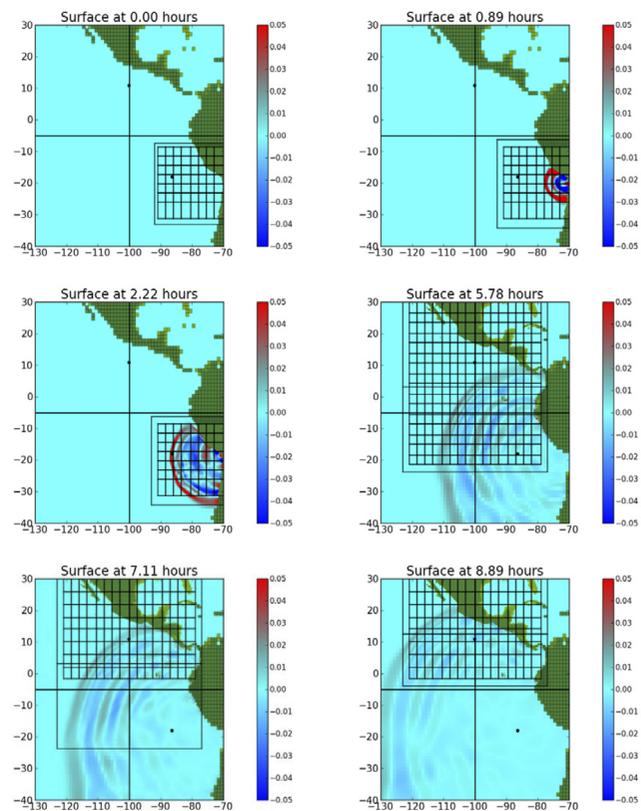


Figura 2 | Serie de imágenes del tsunami producido por el sismo de Mw 8.2 en Chile el 1 de abril de 2014. La secuencia muestra la evolución del tsunami así como los refinamientos de malla adaptativos propuestos para este ejemplo. Se observa también que el tiempo de arribo a las costas mexicanas es muy similar al detectado por los mareógrafos del SMN.

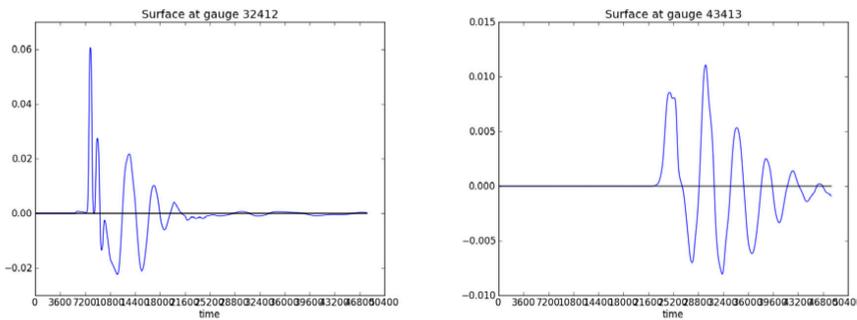


Figura 3 | Series de tiempo sintéticas correspondientes a las alturas de ola para las localidades de las boyas DART número: 32412 (cerca de Chile) y número: 43413 (al sur de Acapulco).

Proyecto tsUNAMi

Coincidentemente, al mismo tiempo que ocurrió este sismo y se realizaron los primeros ejercicios de modelación utilizando el GeoClaw, se sometió el proyecto tsunami dentro del programa de apoyo para proyectos especiales para jóvenes investigadores en el área de las ciencias de la tierra 2014. Dicho proyecto fue propuesto por la Dra. Vala Hjörleifsdóttir del Departamento de Sismología en el Instituto de Geofísica y el Dr. Angel Ruiz Angulo del Grupo Interacción Océano-Atmósfera en el Centro de Ciencias de la Atmósfera un proyecto de colaboración para estudiar tsunamis tanto históricos como hipotéticos que hayan afectado y/o pudieran afectar las costas de México. Dado que en México se han observado temblores con magnitud Mw8.2 y menores en los últimos años, pero en 1787 ocurrió un temblor mucho más grande en Oaxaca, con Mw8.6, que causó un tsunami y una inundación asociada de 6 km (Suarez & Albiní, 2009). Es un buen ejercicio estudiar con mayor detalle las regiones que históricamente han sido afectadas. Además existen regiones en México, Ixtapa Zihuatanejo y Acapulco, que sugieren un fenómeno de interferencia constructiva o resonancia (*seiche*) que son un reto para su modelación adecuada.

Este proyecto pionero, tsUNAMi, el cual ha sido aprobado, servirá como una línea base, en la UNAM, para co-

menzar estudios de vulnerabilidad en las regiones costeras ante diversos escenarios de tsunamis así como identificar las regiones con mayor riesgo. Como parte del trabajo futuro se pretende implementar un prototipo de alerta de tsunami, implementado regionalmente, utilizando este novedoso paquete, GeoClaw.

Referencias

- Berger, M. J., George, D. L., LeVeque, R. J., & Mandli, K. T., 2011. The geoclaw software for depth-averaged flows with adaptive refinement, *Advances in Water Resources*, 34(9), 1195 – 1206, *New Computational Methods and Software Tools*.
- LeVeque, R. J., 2002. *Finite-Volume Methods for Hyperbolic Problems*, Cambridge University Press.
- LeVeque, R. J., George, D. L., & Berger, M. J., 2011. Tsunami modelling with adaptively refined finite volume methods, *Acta Numerica*, 20, 211–289.
- Suarez, G. & Albiní, P., 2009. Evidence for great tsunamigenic earthquakes (M 8.6) along the Mexican subduction zone, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99.

TSUNAMIS GENERADOS POR LOS SISMOS DE IQUIQUE, CHILE Y PETATLÁN, GRO., MÉX: OBSERVACIONES EN EL SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL

Jorge Zavala-Hidalgo | José Antonio Santiago Santiago | Octavio Gómez Ramos
Felipe Hernández Maguey | Miriam Arianna Zarza Alvarado | Valente Gutiérrez Quijada

Servicio Mareográfico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

La red de estaciones del Servicio Mareográfico Nacional (SMN), operado por el Instituto de Geofísica de la UNAM, registró los tsunamis asociados a los sismos del 1 de abril de 2014 en Iquique, Chile y del 18 de abril frente a las costas de Guerrero, México.

El Servicio Mareográfico actualmente registra el nivel del mar con una frecuencia de un minuto, lo que permite observar en forma adecuada las ondas producidas por los tsunamis que tienen períodos entre 15 y 30 minutos. Estas ondas son mucho más largas que las olas producidas por el viento y no es esperable poder distinguir ondas de un tsunami sucesivas a simple vista; lo que ve un observador es una elevación del nivel medio del mar en la zona en que se encuentra, por ejemplo en la Bahía de Acapulco se observaría que el nivel medio de toda la Bahía aumenta, sin distinguir un máximo y un mínimo de una onda como sucede con las olas de viento.

Tsunami asociado al sismo del Iquique, Chile

El sismo que originó esta perturbación tuvo una magnitud de 8.2, ocurrió el 1 de Abril a las 23:46:46 hora GMT y su epicentro se ubicó en las coordenadas 19.642°S, 70.817°W, a 20.1 km de profundidad, según el reporte del USGS (U.S. Geological



Survey) (Fig. 1). Minutos después de ocurrido el sismo, el Sistema de Alertas de Tsunamis del Pacífico generó una alerta de tsunami, la cual fue retomada por el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (SINAT) que es un órgano en que colaboran, además de la UNAM, el CICESE, la Secretaría de Gobernación y el CENAPRED, la Secretaría de Marina (SEMAR) y el Instituto Mexicano del Transporte. El SINAT, a través del Centro de Alerta de Tsunamis (CAT), operado por la SEMAR, distribuyó la alerta a las autoridades correspondientes.

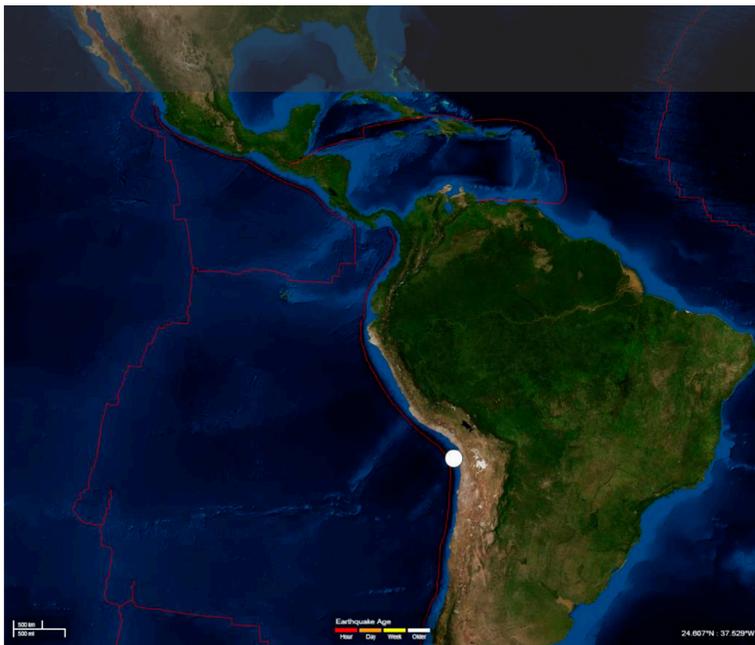


Figura 1 | Ubicación del sismo en Iquique, Chile (USGS).

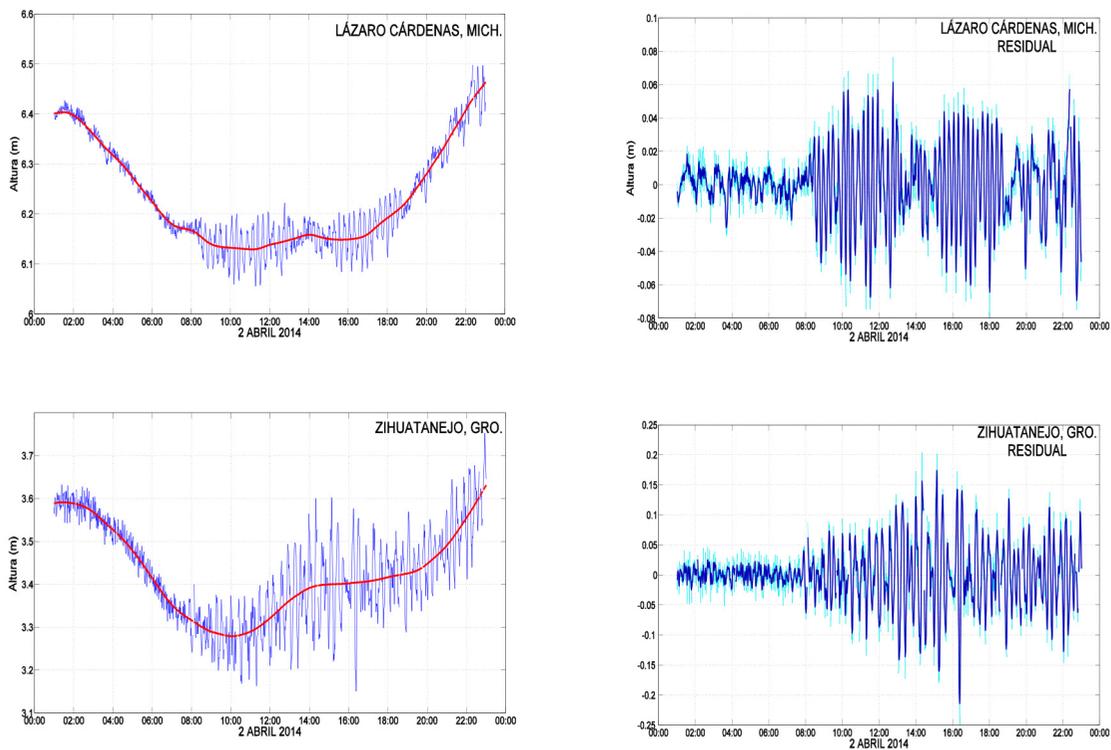
El tsunami arribó a las costas mexicanas entre 7 y 8 horas después del sismo. Se registró primero en Huatulco y posteriormente en Zihuatanejo, Acapulco, Lázaro Cárdenas y finalmente en Salina Cruz (Tabla 1). El retraso en Salina Cruz puede deberse a que la plataforma es mas ancha en esa zona y la onda del tsunami avanza más lentamente en aguas someras.

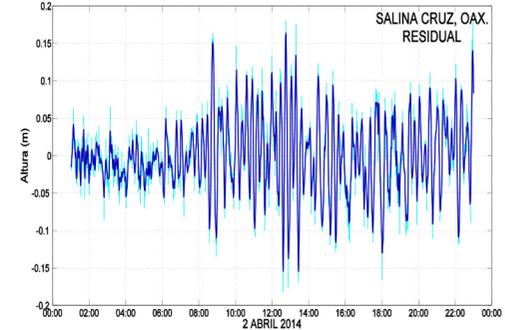
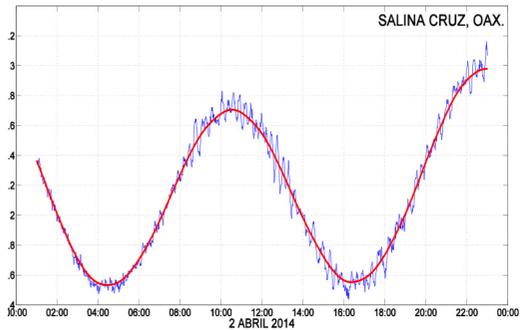
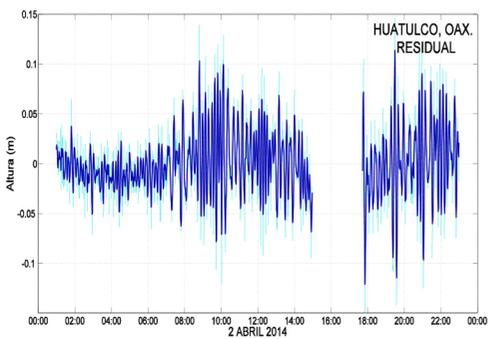
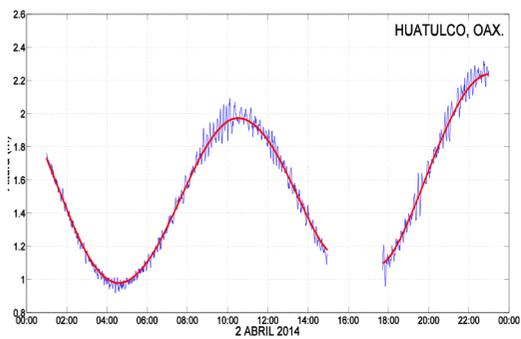
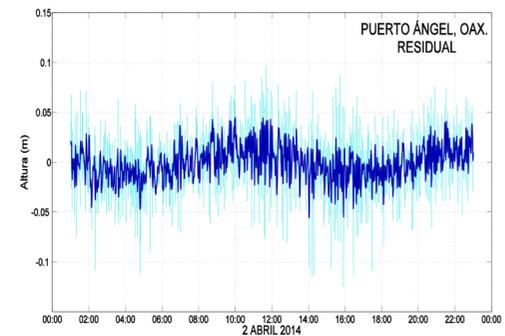
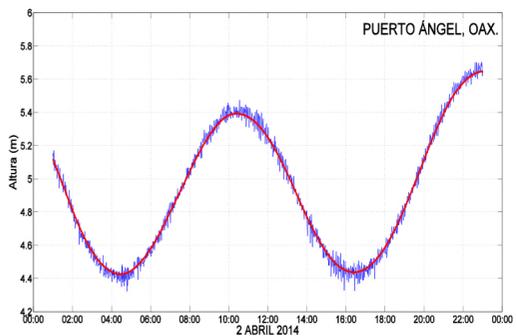
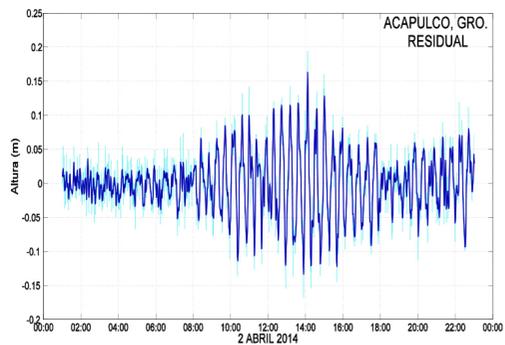
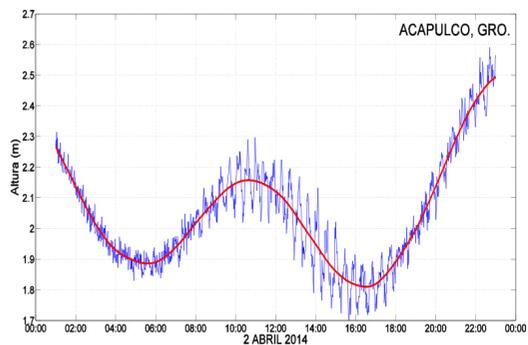
Tabla 1 | Hora de arribo, período y rango de la señal en seis estaciones del SMN del tsunami de Iquique, Chile.

02-abr-14	Hora de arribo (GMT)	Hora de arribo (local)	Altura máxima (m)	Altura mínima (m)	Rango máximo (m)	Período (minutos)
Lázaro Cárdenas, Mich.	08:23	02:23	0.07646	-0.0748	0.15	15
Zihuatanejo, Gro.	07:50	01:50	0.201	-0.1731	0.37	15
Acapulco, Gro.	08:08	02:08	0.2042	-0.1676	0.37	25
Puerto Ángel, Oax.	No se aprecia	No se aprecia	No se aprecia	No se aprecia	No se aprecia	No se aprecia
Huatulco, Oax.	07:11	01:11	0.1394	-0.1213	0.26	10
Salina Cruz, Oax.	08:28	02:28	0.1805	-0.1816	0.36	18

Hay varios aspectos que son notables en los registros del tsunami. Desde luego llama la atención que en lugares cercanos como Puerto Ángel el tsunami no fue apreciable mientras que en Huatulco tuvo un rango de 0.26 m (diferencia entre el máximo y el mínimo nivel registrados una vez removida la marea astronómica); también que el período de las ondas observadas sea muy diferente por ejemplo entre Acapulco (25 min) y Zihuatanejo (15 min). (Fig. 2). Otro aspecto que debe notarse es que en frecuentemente la primer onda no es la que tiene mayor amplitud sino que en general la amplitud va aumentando sucesivamente hasta que llega a un máximo, por ejemplo en Acapulco la máxima amplitud ocurrió en la doceava onda. 6 horas después del arribo de la primera. Esto es particularmente importante de tomar en cuenta por las brigadas de protección civil pues deben considerar que después del arribo de la primer onda, las sucesivas pueden tener mayor amplitud. Las diferencias en la amplitud registrada tienen que ver con la batimetría y la forma de la línea de costa y para entender las diferencias hay que utilizar modelos numéricos de alta resolución estudiando casos ya registrados, como estos, para validar y calibrar los modelos y así generar escenarios de otros tsunamis que pudieran tener un potencial destructivo.

Figura 2 | Registros en las estaciones del SMN del tsunami de Iquique, Chile del 1 de abril de 2014.

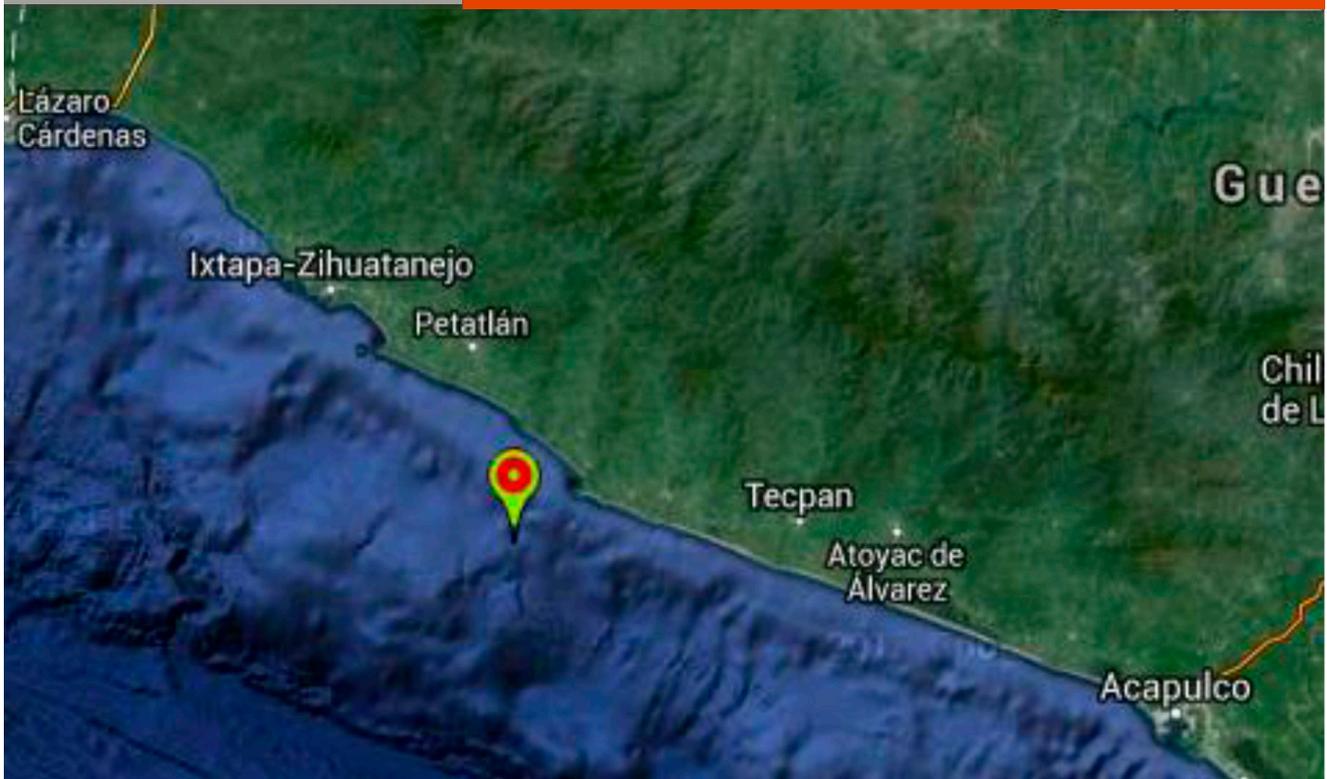




Tsunami asociado al sismo del Petatlán, Guerrero

El día 18 de abril de 2014 el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un sismo con magnitud 7.0 y profundidad 10 km localizado a 41 km al sur de Petatlán, en el estado de Guerrero. El sismo, ocurrido a las 9:27 horas. Fue sentido fuertemente en el D.F., en Guerrero, Morelos, Hidalgo, Tlaxcala, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y en otras localidades. Las coordenadas del epicentro fueron 17.18°N y 101.19°W (Fig. 3).

Figura 3 | Ubicación del sismo en Petatlán, Gro, del 18 de abril de 2014 (tomada del SSN).



El sismo generó un tsunami que se apreció en las estaciones de Lázaro Cárdenas, Mich., Zihuatanejo, Gro., y Acapulco, Gro. El mayor rango se observó en Acapulco con 0.99 m, seguido de Zihuatanejo y con menor amplitud Lázaro Cárdenas. En forma similar a lo ocurrido en el tsunami de Chile, la onda con mayor amplitud no fue la primera sino que esta ocurrió varias ondas después; en Acapulco en la quinta, más de dos horas después del arribo de la primer onda. El período de las ondas también fue diferente entre los sitios, observándose un período en Acapulco de 30 min, mientras que en Zihuatanejo de 15 min (Fig. 4).

Figura 4 | Registros en las estaciones del SMN del tsunami de Petatlán, Gro. del 18 de abril de 2014.

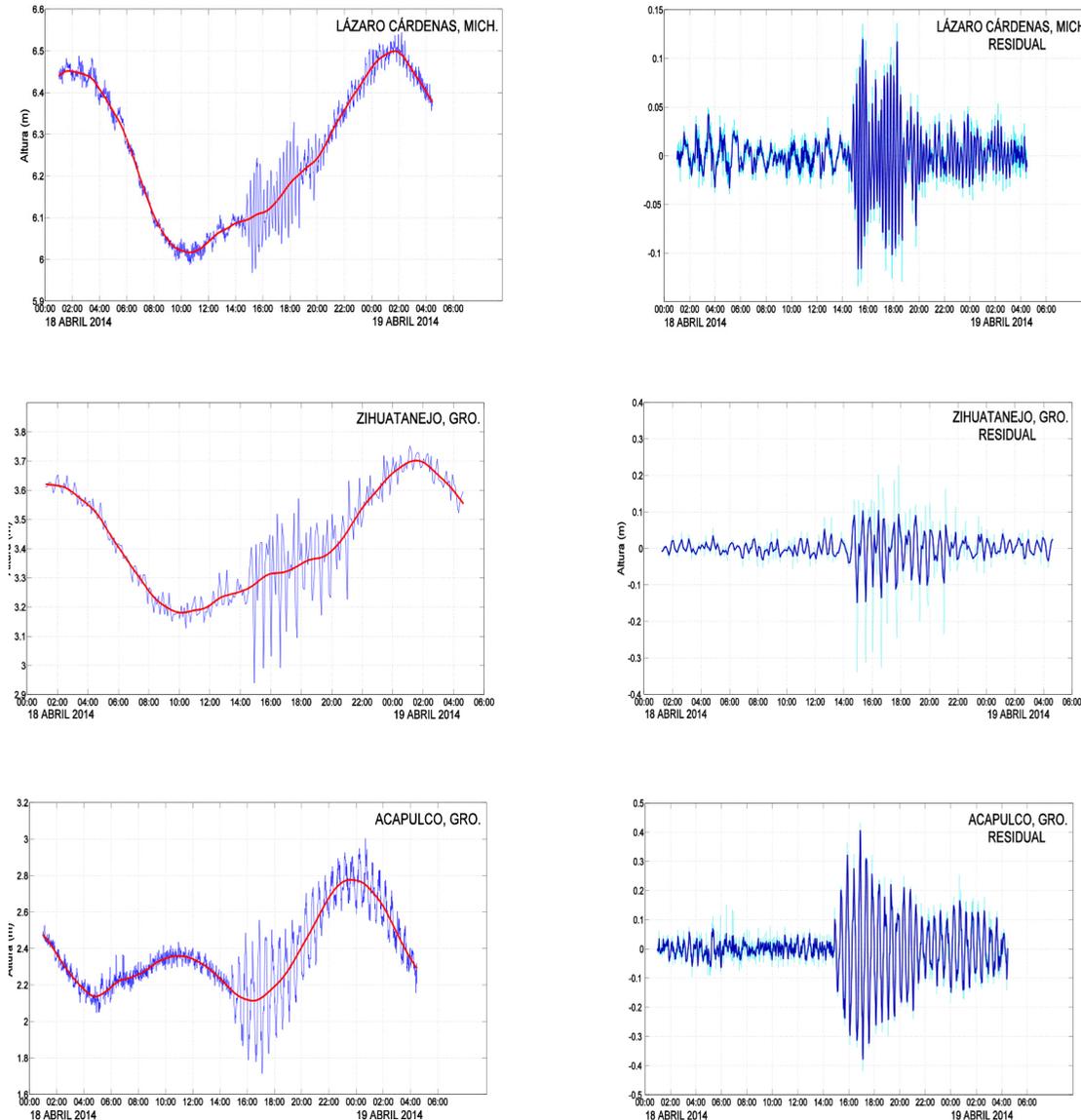


Tabla 2 | Hora de arribo y amplitud de la señal en tres estaciones del SMN del tsunami de Petatlán, Gro..

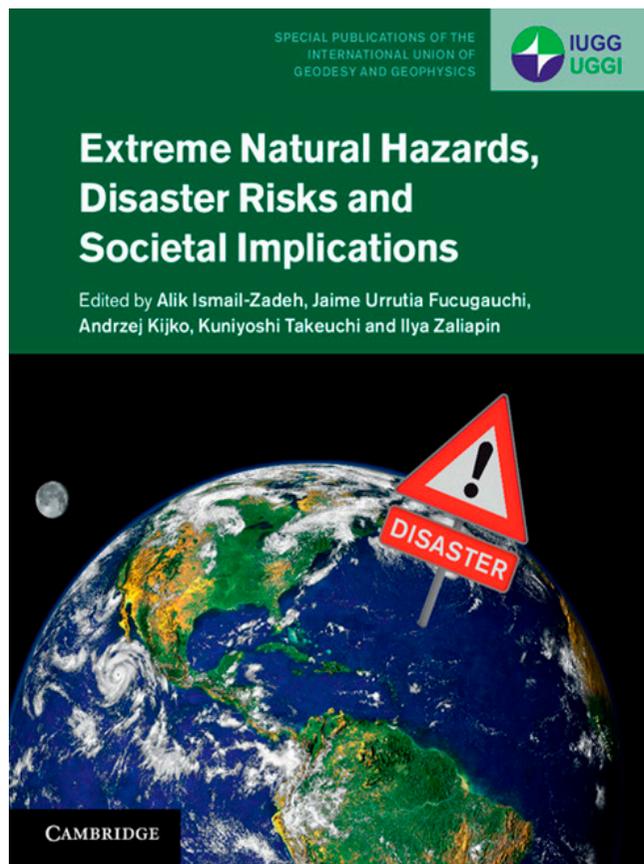
18-abr-14	Hora de arribo (GMT)	Hora de arribo (local)	Altura máxima (m)	Altura mínima (m)	Rango máximo (m)	Período del tsunami (min)
Lázaro Cárdenas, Mich.	14:43	09:43	0.135	-0.134	0.27	15
Zihuatanejo, Gro.	14:32	09:32	0.329	-0.394	0.72	15
Acapulco. Gro.	14:50	09:50	0.663	-0.331	0.99	30

Comentarios

Algunas de las características de estos eventos que habrá que analizar con cuidado son el que el período sea muy distinto entre los diferentes sitios, en particular Acapulco presenta períodos mucho más largos que Zihuatanejo o Lázaro Cárdenas; la otra característica que hay que subrayar de ambos eventos, que también se ha observado en otros tsunamis recientes, es que la primera onda no es la que tiene mayor amplitud sino que esto ocurre alrededor de la quinta onda. Esto es particularmente importante para las actividades de prevención. Otro aspecto que debe recordarse es que además de la inundación potencial asociada a un tsunami pueden ocurrir fuertes corrientes en la boca de bahías y puertos que representan un peligro para la navegación.

NEW BOOK PROVIDES AN INSIGHT ON HOW TO REDUCE THE GROWING IMPACTS OF NATURAL HAZARDS ON SOCIETY

Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications



Edited by Alik Ismail-Zadeh, Jaime Urrutia Fucugauchi, Andrzej Kijko, Kuniyoshi Takeuchi and Ilya Zaliapin

Hardback / ISBN: 978 1 107 033 863 / pp413 / £90.00

Launched April 17, 2014

Great advances in understanding planet Earth and its environment allow its geophysical processes and phenomena including their extreme manifestations, which lead to floods, hurricanes, earthquakes, tsunamis, volcanoes, landslides, severe space weather, wildfires and other natural hazard events, to be studied. There is a deep belief in the community of natural scientists that with progress in science and the scientific ability to predict extreme events the problem of disaster risk reduction will be resolved. That is perhaps true to some extent.

Extreme events (e.g. the 2004 Indian Ocean and 2011 Great East Japan earthquakes and tsunamis, the 2005 Hurricane Katrina and 2012 Hurricane Sandy, the 2010 Haiti earthquake, the 2013 Typhoon Haiyan) showed that despite the significant scientific knowledge and predictive capacity that has been accumulated, we could not prevent and even mitigate the related disasters. Social scientists explain that both the physical and the social vulnerability of society to extreme events and significant exposure in the regions prone to natural hazards play a crucial role in the disaster occurrences.

The theory of disaster risk developed by natural and social scientists becomes useful, if and only if it is properly implemented. Important players, who could help

scientists to implement and to communicate to the public the scientific knowledge on disaster risk, are engineers, lawyers, disaster management authorities, policy makers, representatives of the (re)insurance industry, international and intergovernmental organizations, media, and other stakeholders dealing with natural hazards and disaster risk reduction. An advanced effective link between all stakeholders should be established. The book, which is published by Cambridge University Press as a part of Special Publications of the International Union of Geodesy and Geophysics, promotes this idea.

Book editor, Alik Ismail-Zadeh said: “*Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications* is intended to bridge two major themes, natural hazards and disaster risks, and presents the ways in which scientific knowledge could help to reduce risks of disasters for the benefit of society. The book summarizes the major topics discussed at the scientific meetings held in the framework of the transdisciplinary, international project “Extreme Natural Events and Societal Implications - ENHANS” (<http://www.enhans.org>) co-sponsored by the International Council for Science (ICSU), several international and intergovernmental organizations”.

Now, this book presents a unique, interdisciplinary approach to disaster risk research, combining cutting-edge natural science and social science methodologies. Bringing together leading scientists, policy makers, and practitioners from around the world, the book presents the risks of global hazards and provides real world hazard case studies from Latin America, the Caribbean, Africa, the Middle East, Asia and the Pacific region. The authors provide insight into topics such as extreme natural hazards, the vulnerability of society, disaster risk reduction policy, relations between disaster policy and climate change, adaptation to hazards, and (re)insurance approaches to extreme events.

This is a key resource for academic researchers and graduate students in a wide range of disciplines linked to hazard and risk studies, including seismology, volcanology,

hydrology, meteorology, geomorphology, geomagnetism, oceanography, remote sensing, engineering, and geography. It is also an important reference for professionals and policy makers working in disaster prevention and mitigation.

About the editors

- ▶ *Alik Ismail-Zadeh* is Senior Scientist at the Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany and Chief Scientist at the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. His scientific interests cover studies of dynamics of the lithosphere and upper mantle and their surface manifestations including seismicity, seismic hazard, and risk. He has served as President of the Natural Hazards Focus Group of the American Geophysical Union (AGU), President of the IUGG Union Commission of Geophysical Risk and Sustainability, and the leader of the ENHANS project.
- ▶ *Jaime Urrutia Fucugauchi* is Professor of Geophysics at Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), and is a leading expert in geomagnetism and volcanism. He is President of the Mexican Physics Society and a member of the Governing Board of the American Institute of Physics, and the Science Advisory Council of Mexico.
- ▶ *Andrzej Kijko* is the Director of the University of Pretoria Natural Hazards Centre, Pretoria, South Africa, and also a Professor of the University of Pretoria. As an internationally acclaimed researcher, he has been active in engineering geophysics and seismology for about 40 years.
- ▶ *Kuniyoshi Takenchi* is the founding Director of the International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM) in Tsukuba, and is also Professor Emeritus of the University of Yamanashi in Kofu, Japan. He is a hydrologist whose research interests cover modeling and forecasting, water resource systems

analysis, flood and disaster management, and societal sustainability issues. Takeuchi is Chair of the IUGG GeoRisk Commission and Vice Chair of the Scientific Committee of the Program 'Integrated Research on Disaster Risk' (IRDR).

- ▶ *Ilya Zaliapin* is Associate Professor of the Department of Mathematics and Statistics, University of Nevada, Reno, USA. His broad research interests cover problems of self-similarity, network transport, multi-scale methods of time series analysis, random sums of heavy tailed variables, geo-statistics, extreme value theory with applications to atmospheric, hydrological and seismological research.

Contributors

Gordon McBean, Amy Donovan, Clive Oppenheimer, Irasema Alcántara-Ayala, Alik Ismail-Zadeh, Akio Kitoh, Ning Lin, Kerry Emanuel, Erik Vanmarcke, Soroosh Sorooshian, Phu Nguyen, Scott Sellars, Dan Braithwaite, Amir AghaKouchak, Kuolin Hsu, Daniel N. Baker, Jamie M. Jackson, Lauren K. Thompson, Andrei Gabrielov, Vladimir Keilis-Borok, Sayaka Olsen, Ilya Zaliapin, Omar J. Pérez, Carlos Rodríguez, José L. Alonso, Jaime Urrutia-Fucugauchi, Nils Lenhardt, Gezahegn Yirgu, David J. Ferguson, Talfan D. Barnie, Vunganai Midzi, Brassnavy Manzunu, Vyacheslav K. Gusiakov, Mahefasoa T. Randrianalijaona, Ailsa Holloway, Abdulaziz M. Al-Bassam, Faisal K. Zaidi, Mohammad T. Hussein, Gerassimos A. Papadopoulos, Antonia Papageorgiou, Mohsen Ghafory-Ashiani, Sucharit Koontanakulvong, Tom Beer, Zhongliang Wu, Tengfei Ma, Kenji Satake, T. Srinivasa Kumar, Shailesh Nayak, Harsh K. Gupta, Salvano Briceño, Stephen Dovers, John Handmer, Keith Alverson, Anselm Smolka, Angelika Wirtz, Petra Löw, Thomas Mahl, Sibel Yildirim.

For further information, please visit:

www.cambridge.org/9781107033863

About International Union of Geodesy and Geophysics

IUGG is a non-governmental, international, scientific organization dedicated to advancing, promoting, and communicating knowledge of the Earth system, its space environment, and the dynamical processes causing change. IUGG is comprised of eight International Associations dealing with cryospheric sciences, geodesy, geomagnetism and aeronomy, hydrology, meteorology and atmospheric sciences, oceanography, seismology, volcanology, physics and chemistry of the Earth's interior, solar-terrestrial relations, and analogous problems associated with the Moon and other planets. IUGG encourages the application of this knowledge to societal needs, such as mineral resources, mitigation of natural hazards, climate change, and environmental preservation.

About Cambridge University Press

Cambridge University Press is the publishing business of the University of Cambridge. Dedicated to excellence, its purpose is to further the University's objective of advancing knowledge, education, learning, and research. Its extensive peer-reviewed publishing lists comprise 45,000 titles covering academic research, professional development, over 300 research journals, school-level education, English language teaching and bible publishing. Playing a leading role in today's international market place, Cambridge University Press has over 50 offices around the globe, and it distributes its products to nearly every country in the world.

GEOFÍSICA INTERNACIONAL

Volume 53, 2, April - June, 2014

- ▶ **Arian Ojeda González, Odim Mendes Junior, Margarete Oliveira Domingues and Varlei Everton Menconi:** Daubechies wavelet coefficients: a tool to study interplanetary magnetic field fluctuations.
- ▶ **Jorge Lira:** Morphologic analysis of the temporal change of forest cover.
- ▶ **V. Oliveira, L. Ribeiro and C. Silva:** Hydrogeologic characterization of the abandoned mining site of Castelejo, Portugal by VLFEM & RMT-R geophysical surveying
- ▶ **Carolina Cipagauta, Blanca Mendoza and Jorge Zavala-Hidalgo:** Sensitivity of the surface temperature to changes in total solar irradiance calculated with the WRF model
- ▶ **Victor Hernández-Maldonado, Martín Díaz-Viera and Arturo Erdely:** A multivariate Bernstein copula model for permeability stochastic simulation.
- ▶ **Omar Delgado-Rodríguez, David Flores-Hernández, Myriam A. Amezcua-Allieri, Vladimir Shevnin, Andrés Rosas-Molina and Salvador Marin-Córdova:** Joint interpretation of geoelectrical and volatile organic compounds data: a case study in a hydrocarbons contaminated urban site.
- ▶ **César Augusto Moreira, Mario Rezende Borges, Glauber Matheus Lira Vieira, Walter Malagutti Filho and Mariana Aparecida Fernandes Montanheiro:** Geological and geophysical data integration for delimitation of mineralized areas in a supergene manganese deposits.
- ▶ **Carlos Mendoza:** Near-realtime source analysis of the 20 March 2012 Ometepec-Pinotepa Nacional, Mexico earthquake.



unión geofísica mexicana a.c.

MESA DIRECTIVA

Presidente Dra. Tereza Cavazos

División de Oceanología, CICESE | tcavazos@cicese.mx

Vicepresidente Dra. Xyoli Pérez Campos

Instituto de Geofísica, UNAM | xyoli@geofisica.unam.mx

Secretario General Dr. Raúl Castro Escamilla

Ciencias de la Tierra, CICESE | raul@cicese.mx

Secretario de Investigación Dr. Noel Carbajal

IPICYT | noelc@ipicyt.edu.mx

Secretaria de Difusión Dra. Ligia Pérez-Cruz

Instituto de Geofísica, UNAM | perezcruz@geofisica.unam.mx

Secretaria de Educación Dra. María del Sol Hernández

Geociencias, ENES, Unidad Morelia, UNAM | msol_hernandez@enesmorelia.unam.mx

Tesorero Dr. Víctor Manuel Wong Ortega

División de Ciencias de la Tierra, CICESE | vwong@cicese.mx

Secretario de Asuntos Internacionales Dr. Thierry Calmus

Instituto de Geología, UNAM | amithy@gmail.com

Responsable de RAUGM Dra. Ana María Soler

Instituto de Geofísica, UNAM | anesoler@geofisica.unam.mx

EDITOR

Ligia Pérez-Cruz

Correspondencia a: gacetaugm@gmail.mx