

Sesión Regular  
**SISMOLOGÍA**

Organizadores:  
Ramón Zúñiga  
Raúl Castro

SIS-1

### FRONTERA LITOSFERA-ASTENOSFERA EN LA REGIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Fernández Martínez Alejandra<sup>1</sup> y Pérez Campos Xyoli<sup>2</sup><sup>1</sup>División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, UNAM<sup>2</sup>Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM  
alejuni10@gmail.com

En este trabajo usamos registros telesísmicos de banda ancha de la red sismológica NARS-Baja para obtener funciones de receptor S (FRS), a través de una deconvolución en tiempo, con el objetivo de mapear la frontera litosfera-astenosfera en la región del Golfo de California. Nuestra base de datos está conformada por 398 sismos de magnitud mayor a 5.9 a distancias telesísmicas entre 60 y 85° de la red. Con el análisis de sus FRS se desea entender la evolución del límite de las placas de Norteamérica y del Pacífico; así como el proceso de subducción y desaparición de la placa de Farallón. De estudios previos sabemos que durante el proceso de apertura del Golfo de California el moho sufrió un adelgazamiento, el cual podría verse reflejado en la topografía de la frontera litosfera-astenosfera, lo que será constatado con las funciones de receptor obtenidas.

SIS-2

### CARACTERIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA ZONA BENIOFF CON UNA RED DENSA DE BANDA ANCHA EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC

Castro Artola Oscar Alberto y Iglesias Mendoza Arturo

Instituto de Geofísica, UNAM

oscar.cas.art@gmail.com

Los registros sísmicos del arreglo VEOX, que forma parte del experimento MASE, fueron utilizados para caracterizar la geometría de la zona Benioff en el Istmo de Tehuantepec. Se utilizaron 213 eventos comprendidos entre las longitudes 96° a 94° Oeste y las latitudes 15° a 20° Norte durante el tiempo de operación de la línea, que fue de septiembre de 2007 a marzo de 2009. Los eventos se localizaron manualmente con el programa SEISAN, una vez teniendo las primeras localizaciones se procedió a relocalizarlos utilizando el programa hypodd, el cual hace uso de las dobles diferencias calculadas en tiempo para obtener relocalizaciones de pares de eventos; de esta forma aglutina nubes de eventos con características similares.

Con las posiciones hipocentrales obtenidas a través del proceso de relocalización, se interpoló una superficie y se calculó el gradiente para obtener información sobre la dirección de la inclinación misma de la placa, encontrándose que la dirección de máxima inclinación y por tanto, la dirección de movimiento relativo de la placa de Cocos con respecto de la de Norteamérica es de 45° Norte y de aproximadamente de 35° con respecto de la horizontal, respectivamente.

Por otro lado, se obtuvieron mecanismos focales para todos los eventos de magnitud coda mayor a 4.5 usando un esquema de inversión de onda en el dominio del tiempo e incorporando datos de siete estaciones que forman parte de la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional. Lo anterior permitió contar con una mayor cobertura acimutal y así restringir el problema.

Con la información obtenida se trazaron dos secciones, la primera sobre la línea del experimento VEOX que tiene una orientación preferencial N-S; la segunda se realizó en la dirección de convergencia. Se encontró, que los eventos intraslab se encuentran en la parte superior del manto, con una profundidad mayor a 50 km. Estos eventos de falla normal, muestran una fuerte componente de rumbo, con sus ejes de tensión aproximadamente alineados con la dirección e inclinación de la capa. De igual forma, se cree que la dirección de máxima inclinación de la placa subducida puede estar relacionada con la subducción de la Dorsal de Tehuantepec, ya que ésta última subduce a la placa de Norteamérica con un azimut de 45° Norte.

SIS-3

### AVANCES EN LA PALEOSISMOLOGÍA DE LAS FALLAS DEL GRABEN DE ACAMBAY

Ortuño Candela María<sup>1</sup>, Zúñiga Dávila Madrid F. Ramón<sup>1</sup>, Aguirre Díaz Gerardo<sup>1</sup>, Carreón Freyre Dora<sup>1</sup>, Cerca Martínez Mariano<sup>1</sup>, Mendoza Ponce Avith<sup>2</sup> y López Briceño Ernesto<sup>3</sup><sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM<sup>3</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL

maria\_ortuno@geociencias.unam.mx

La región tectónica de Acambay forma parte de la sucesión de grábenes que conforman el cinturón volcánico trans-mexicano, una de las zonas sísmicas intracontinentales de mayor importancia en México. La ocurrencia de sismos históricos e instrumentados en esta región (sismo de Acambay de 1912, Ms ~ 7.0; sismo de Maravatio de 1979, mb = 5.3) ha motivado que se lleven a

cabo estudios enfocados a la identificación de paleoeventos en dos de sus fallas principales; la falla de Acambay y la falla de Pastores. Sin embargo, la complejidad de las trazas de estas fallas requiere de estudios complementarios que permitan una mejor evaluación de su potencial sismogénico.

La elección de los lugares donde realizar trincheras paleosismológicas es crucial. Para asegurar un registro estratigráfico completo y con posibilidades de encontrar materiales geológicos datables, las trincheras se han de realizar en zonas con altas tasas de sedimentación reciente. En el caso particular de las fallas con desplazamiento vertical principal, las trincheras se deben localizar donde la falla tenga un salto acumulado mínimo, de modo que puedan correlacionarse materiales a ambos lados de ellas. El estudio geológico y geomorfológico de las trazas de la falla de Pastores y Acambay ha llevado a la selección de dos localidades que cumplen estos requisitos. Debido a que la traza activa de la falla tiene una expresión poco clara en estos lugares, se hace difícil saber con certeza si el cuaternario reciente está desplazado, y el lugar exacto donde se localiza la falla principal. Para optimizar el lugar de la excavación, hemos realizado perfiles del subsuelo con un Radar de Penetración terrestre (RPT) tipo SIR-20 GSSI, usando antenas de frecuencia central de emisión de 100 y 200 MHz.

En este trabajo presentamos los resultados preliminares de las trincheras paleosismológicas realizadas con la ayuda de estos perfiles y discutimos sus implicaciones en la geodinámica cuaternaria así como sobre la peligrosidad sísmica de la región.

SIS-4

### RELACIÓN ENTRE LA ACTIVIDAD SÍSMICA LOCAL, POZOS INYECTORES Y FALLAS ACTIVAS EN LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS DE MÉXICO

Urban Rascón Edgar y Lermo Samaniego Javier

Instituto de Ingeniería, UNAM

eurbanr@ingen.unam.mx

En las últimas décadas en explotación y aprovechamiento de los recursos energéticos contenidos debajo de la superficie terrestre, se ha observado numerosa actividad sísmica entorno a los yacimientos geotérmicos, sismos inducidos por las operaciones de explotación; el estudio surge en la búsqueda de comprender los fenómenos que generan el cambio de esfuerzos, detallando la interacción con las diferentes estructuras geológicas y la relación con los gastos de producción e inyección.

El presente trabajo analiza la actividad sísmica generada a través de las diferentes redes fijas y temporales implementadas en los campos geotérmicos de México, mediante convenios entre la Compañía Federal de Electricidad (CFE) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Se ha logrado demostrar el uso trascendental de esta poderosa herramienta, obteniendo como resultado mayor conocimiento del campo para la toma de decisiones, relacionando la actividad entre las operaciones de explotación y el sistema hidrotermal, asociando varios eventos al proceso de inyección de fluidos en el proceso cíclico de explotación; de esta forma se alcanzó a observar que las zonas de mayor permeabilidad tiene gran implicación en el desarrollo y rentabilidad de los yacimientos.

Los Humeros en el periodo de 1997 al 2008, se localizaron numerosos sismos en traza de la fallas NE-SW y en la periferia de los pozos inyectoros, ubicados alrededor de la zona de mayor temperatura en el yacimiento, lo que sugiere una estrecha relación entre la sismicidad y los pozos inyectoros, además un fracturamiento en el esqueleto rocoso adicional al producido por la inyección y el fracturamiento hidráulico, fenómeno de no considerado, originado por la expansión y dilatación de la roca debido a variación en la presión y temperatura; Los Azufres, se analizó durante los años 2008 y 2009, complementando el modelo estructural y adicionando la actividad en las Falla La Cumbre y El Chino, mostrando nuevamente la acumulación de sismicidad entorno a los pozos inyectoros y nula respecto a los pozos productores; En el campo Las Tres Vírgenes se estudio la sismicidad desde el 2003 hasta el 2010, asociando gran parte de la actividad sísmica a la estimulación de 2 pozos productores y se observó sismos relacionados a los sistemas de fallas La Virgen, El Volcán, El Partido y la falla Cimarrón, la mayor acumulación de sismicidad se encontró en la falla La Cuesta y el Partido cercanas al pozo inyector; Por último, Rebollar et al. (2003) presentan un análisis de la actividad sísmica dentro del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC, registrada entre abril de 1998 y diciembre de 2001 con 21 estaciones sismológicas, logrando localizar 232 sismos locales, agrupados en tres zonas alrededor de los ocho pozos inyectoros correspondientes a enjambres en el 2000 y 2001, y una tercera asociada a la actividad sísmica de las fallas normales (sistema H o Morelia) y relacionada con los pozos inyectoros y productores.

SIS-5

### SEISMIC VELOCITY DEPENDENCY ON CRUSTAL EFFECTIVE STRESSES DURING THE 2006 SLOW SLIP EVENT, MEXICO

Cruz Atienza Víctor M.<sup>1</sup>, Rivet Diane<sup>2</sup>, Kostoglodov Vladimir<sup>1</sup>, Campillo Michel<sup>2</sup> y Shapiro Nikolai<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Université Joseph Fourier, France

<sup>3</sup>Laboratoire de Sismologie, Institut de Physique du Globe de Paris, France  
cruz@geofisica.unam.mx

Slow slip transients in the Mexican subduction zone have been first observed in 1998. Since then, approximately every four years the phenomenon repeats itself (Cotte et al., EOS, 2009). Whether these quasi-static crustal deformations play a critical role in large subduction earthquakes remains a debate. During the 2006 Slow Slip Event (SSE) a seismic profile of 100 broadband stations (MASE array) was deployed right above the slipping interface in the Guerrero province, Mexico. Recently, ambient noise correlation techniques using data from the array revealed an amazing and so far unknown phenomenon: the quasi-static SSE process produces a transient reduction of surface waves velocity in the upper and middle crust of about 0.2% (Rivet et al., EGU, 2010; Rivet et al., submitted 2010).

Fluid release from the water-saturated subducted slab and diffusion into the overriding continental plate have been inferred in Guerrero (e.g. Jodicke et al., JGR, 2006; Song et al., Science, 2009). By inputting the slip history of the 2006 SSE recently inverted from GPS data (Radigue et al., submitted 2010) into a 3D viscoelastic finite difference code we show that the silent earthquake induces a widespread decrease of the confining pressure ( $P_c$ ) above the horizontal segment of the plate interface. By approximating the pore pressure as  $P_p = B^*P_c$ , determining the associated Skempton coefficient ( $0 < B < 1$ ) as a function of tomographically determined  $\text{Lam}^{-1}$  constants (Iglesias et al., JGR, 2010), and solving the poroelastic fluid flow equations in the model, we find that the effective pressure,  $P_e = P_c - C P_p$ , decreases as a function of time in that region of the continental crust. Two minimums of  $P_e$  emerge from the diffusive process. One within a ~8 km thick elongated region above the interface and the other within a more spread region in the upper and middle crust. This pattern seems to be controlled by both the heterogeneous distribution of the elastic properties and the stress singularity associated with the fault kink where the horizontal segment begins.

Since the final effective pressure is given by  $P_{e1} = P_{e0} + \Delta P_c$  ( $^{\circ}\text{C}$  B), where  $P_{e0}$  is the initial effective pressure and  $\Delta P_c$  the increment of the confining pressure, and given that  $\Delta P_c < 0$  almost for any time above the horizontal fault segment, then we have that  $P_{e1} < P_{e0}$  during the SSE in that crustal region (~150 km length). This simple analysis demonstrates that, even neglecting the diffusive flow process, the instantaneous (undrained) stress change induced by the SSE produces a reduction of  $P_e$  within the crust. It is well known in rock mechanics that seismic waves velocity ( $c$ ) changes with increments in the effective pressure of the medium. The smaller  $P_e$  the lower is  $c$ . By using a theoretical relationship between these parameters (Gangi and Carlson, TECTO, 1996) we calculate the velocity change associated with our effective pressure estimates. Finally we compare synthetic Green's functions along the MASE profile for both the initial and perturbed velocity structure to quantify variations in the average surface waves velocity.

SIS-6

### SUPERSHEAR MACH-WAVES EXPOSE THE FAULT BREAKDOWN SLIP

Cruz Atienza Víctor M.<sup>1</sup> y Olsen Kim B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Department of Geological Sciences, San Diego State University  
cruz@geofisica.unam.mx

Mikumo et al. (BSSA, 2003) showed that it is possible to estimate the breakdown slip ( $D_c$ ) as the slip at the time of the peak slip rate for rupture propagation with subshear speeds. Cruz-Atienza et al. (BSSA, 2009) later attempted to extend this method to estimate  $D_c$  as the displacement at the time of the peak particle velocity from seismic strong-motion records. However, a reasonably accurate estimate of  $D_c$  was only possible in a narrow zone adjacent to the fault (typically on the order of hundreds of meters) due to the fast decay of the seismic energy related to the stress breakdown process. When the rupture propagates with supershear-speeds, this energy is carried much farther away from the fault by Mach waves, in particular Rayleigh Mach waves when rupture reaches the Earth's surface. Here, we present a new approach to estimate  $D_c$  from strong motion records containing Mach waves (Cruz-Atienza and Olsen, TECTO, 2010). First, we show that the method by Mikumo et al. is valid for supershear rupture propagation. This method is then used to estimate  $D_c$  via an asymptotic approximation of the slip and slip-rate time histories from the Mach waves. Using spontaneous rupture simulations we demonstrate that, for a visco-elastic halfspace model,  $D_c$  can be estimated with an accuracy of 40% from Mach-waves that have propagated a distance of at least 3 km from the

fault. The method is applied to estimate  $D_c$  for the 2002 Mw7.9 Denali, Alaska, earthquake (~1.5 m) and for the 1999 Mw7.6 Izmit, Turkey, earthquake (~1.7 m).

SIS-7

### SIMULACIÓN SEMIESTOCÁSTICA DE DISTRIBUCIONES EPICENTRALES

Nava Pichardo F. Alejandro y Márquez Ramírez Víctor H.

CICESE

fnava@cicese.mx

Se presenta un programa que obtiene distribuciones epicentrales con base en el estado de esfuerzo de una región sismogénica discretizada en celdas rectangulares. El estado de esfuerzo depende de una razón constante de alimentación y la historia de rupturas de cada celda que provocan caídas de esfuerzo en ella, así como la de las celdas vecinas con las cuales intercambia esfuerzo. Los factores estocásticos son dos; el primer factor es la elección de la celda epicentral del sismo en turno, que es hecha aleatoriamente con probabilidad proporcional al esfuerzo en ella. Una vez escogida la celda epicentral se determina la máxima magnitud posible, MMP, del sismo, con base en la caída de esfuerzo de dicha celda y de la posible propagación de la ruptura a celdas vecinas. El segundo factor es la magnitud del sismo que se escoge aleatoriamente de la distribución de Gutenberg-Richter doblemente truncada con máximo valor MMP. El programa reproduce satisfactoriamente las características del ciclo sísmico e ilustra un posible mecanismo que influye en la fractalidad observada en las distribuciones epicentrales reales.

SIS-8

### FRACTALIDAD EN DISTRIBUCIONES EPICENTRALES SINTÉTICAS Y OBSERVADAS

Márquez Ramírez Víctor H.<sup>1</sup>, Nava Pichardo F. Alejandro<sup>1</sup>,

Ramírez Vázquez Carlos A.<sup>2</sup> y Reyes Dávila Gabriel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CICESE

<sup>2</sup>RESCO, Universidad de Colima

vmarquez@cicese.mx

Se realizó un análisis comparativo de multifractalidad ( $D_q$ ) para tres diferentes tipos de distribuciones epicentrales. Dos de los tipos de distribución analizados fueron generados por simulación estocástica (hipótesis nula de distribución aleatoria uniforme) y semiestocástica (modelo de sismicidad dependiente del estado de esfuerzos), respectivamente; el tercer tipo de distribución corresponde a datos de sismicidad real registrados por la Red Sismológica del Estado de Colima.

Para el cálculo de  $D_q$  se utilizó los métodos de conteo de cajas y correlación. En ambos métodos se analizó  $q=0$ ,  $q=1$  y  $q=2$ . Se estudió el comportamiento de un estimador de a fractalidad que permite comparar cuantitativamente la fractalidad de distintas distribuciones. Se encontró que las distribuciones con probabilidad uniforme sí presentan fractalidad, lo que hace necesario reevaluar la significación de la fractalidad estimada para distribuciones epicentrales reales. Las distribuciones analizadas son aparentemente monofractales según el método de correlación, pero el método de conteo de cajas resulta en aparente multifractalidad.

SIS-9

### VARIACIÓN ESPACIO-TIEMPO DE LA SISMICIDAD EN EL ESTADO DE GUERRERO 2000 - 2010

Arreola Manzano Jonatán<sup>1</sup>, Jiménez Cruz Casiano<sup>1</sup>,

Escobedo Zenil David<sup>2</sup> y Valdés González Carlos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM

rizhu@sismologico.unam.mx

La sismicidad en la costa mexicana del pacífico es un fenómeno cotidiano, en promedio el SSN reporta 2 sismos por día para el estado de Guerrero, a esta tasa los sismos reportados anualmente son 580 para esta región. En un período de 10 años (2000-2010) los epicentros reportados por el SSN ascienden a 5799 eventos para dicha zona. Como podemos percatarnos es un mar de información que día con día aumenta en forma vertiginosa. Sin embargo, si esta información permanece estática, no aporta nada nuevo al entendimiento del fenómeno sísmico. Si en la actualidad, nos hiciéramos las preguntas, ¿Ha temblado más que hace diez años?, ¿Para este período la sismicidad es constante?, ¿Existe actividad anómala que evidencie la ocurrencia de un gran sismo?, las respuestas no serían inmediatas o no se podrían responder. El razonamiento más simple para determinar la evolución de esta información es un análisis en espacio y tiempo. Con esta finalidad se elaboró un programa Fortran para hacer una selección espacial-temporal, el programa tiene la capacidad de seleccionar epicentros en cualquier región romboidal, en niveles de profundidad y magnitud, así como en cualquier ventana temporal. Para el análisis se propone una malla

de 25 celdas con centro en la brecha sísmica de Guerrero y propagada a ambos extremos hasta cubrir la superficie del estado. Las dimensiones de cada celda son 100 km x 40 km x 20 km en profundidad. Tomando como referencia el área de ruptura de los sismos típicos para esta zona.

El análisis en tiempo se divide en 2 ventanas, una por años, y otra por intervalos de 4.5 años que corresponde con la ocurrencia de los tres sismos lentos más importantes en la zona de Guerrero. En la determinación rutinaria de la localización de epicentros en el estado de Guerrero el SSN emplea 9 estaciones de banda ancha, 6 dentro del estado y 3 más en la frontera con los estados vecinos. Durante estos 10 años de registro, la sismicidad define 2 grandes regiones, la costera y otra en la cuenca del Río Balsas. La segunda franja, se encuentra dentro de la depresión del Río Balsas, al suroeste alejada de la trinchera 70 km y en la parte noreste 120 km, con profundidades en el rango de 40 a 80 km y que representan el 12% de la totalidad de los eventos.

SIS-10

### MODELACIÓN ESPACIO TEMPORAL PARA LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE RÉPLICAS

Figueroa Soto Angel y Zúñiga Dávila Madrid F. Ramón  
Centro de Geociencias, UNAM  
angfsoto@geociencias.unam.mx

La disponibilidad de catálogos sísmicos de alta resolución es de gran interés en sismología estadística, ya que se intenta modelar la ocurrencia de la sismicidad tanto en tiempo como en espacio y para este fin es necesaria la utilización de procesos estocásticos.

En general, la diferencia entre un modelo físico y un estocástico es que mientras el modelo físico intenta predecir y describir completamente el proceso, el modelo estocástico acepta que algunos aspectos del modelo físico están fuera de control y pueden ser reemplazados por procesos aleatorios.

Los modelos estocásticos para sismicidad tienen que estar restringidos por la teoría física tales como el inicio de la ruptura, la localización y las magnitudes. La finalidad de dichos modelos es principalmente el entendimiento de los procesos físicos de generación de la sismicidad y es usado como una herramienta para planear o predecir posibles escenarios para la consecuente toma de decisiones, es decir la creación de pronósticos.

Dentro de los modelos estocásticos hemos considerado la clasificación hecha por Vere-Jones (2007), quien los considera principalmente de dos tipos: los modelos descriptivos y los modelos de aplicación a la ingeniería. El primer tipo de modelo tiene la finalidad de generar datos con el mismo comportamiento que los datos reales. En sismología, un primer ejemplo de este modelo descriptivo es la ley frecuencia-magnitud dada por Gutenberg y Richter (1944, 1954) quienes describen la sismicidad con datos reales más que con proporciones y con esta metodología obtienen un modelo simple para la distribución de magnitudes y su distribución está relacionada a la teoría física. Otros modelos descriptivos de uso cotidiano son la ley de Omori-Utsu (Utsu et al., 1995; Utsu, 1961) que simula satisfactoriamente un conjunto de réplicas así como la distribución espacial de la sismicidad.

Por otro lado, el modelo de aplicación a la ingeniería tiene su principal diferencia con los modelos descriptivos en el ajuste de los datos, ya que mientras el modelo descriptivo busca explicar los datos efectivamente, el modelo de ingeniería busca una aplicación del modelo en busca de una predicción para el proceso.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al simular los procesos de generación de réplicas para sismos en Alaska, Nueva Zelanda y México, utilizando modelos descriptivos como los mencionados anteriormente. Es posible reconocer patrones espacio-temporales, durante la duración del proceso de réplicas, que se relacionan a procesos de relajación del esfuerzo y que no son considerados al utilizar el modelado descriptivo. Finalmente se describe una metodología para determinar la variación de la tasa de sismicidad durante la duración del proceso de réplicas, con la finalidad de explicar los patrones observados en la distribución espacio-temporal de la sismicidad.

SIS-11

### ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD DEL VOLCÁN CHICHONAL DURANTE LOS PERIODOS DE JUNIO DE 2004 A MAYO DE 2005 Y DE ENERO A ABRIL DE 2008

Gutiérrez Jiménez Aarón Joseph<sup>1</sup>, Valdés González Carlos<sup>1</sup>, Ramos Hernández Silvia<sup>2</sup> y Martínez Bringas Alicia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

<sup>3</sup>Centro Nacional de Prevención de Desastres  
aaron@sismologico.unam.mx

El 28 de marzo de 1982 el volcán Chichonal, marcó una pauta en el ámbito de la sismología volcánica en México. La red sismológica de la presa Chicoasen a 80 Km, permitió observar la evolución sísmica antes, durante y después de las erupciones principales. La actividad sísmica en volcanes activos es uno de los parámetros más importantes de monitoreo, ya que los sismos y su debida clasificación permiten interpretar el estado de actividad del volcán.

Este estudio tiene como objetivo analizar la actividad sísmica en el volcán Chichonal de junio de 2004 a mayo de 2005 y de enero a abril de 2008, con el fin de evaluar la actividad del volcán. En los años 2002 y 2003 se instaló una estación sismológica en la cima, la cual consta de 2 sismómetros de periodo corto con sólo una componente vertical y un acelerómetro de 3 componentes.

De octubre de 2004 a mayo de 2005 se analizó un total de 1095 señales sísmicas del sismómetro de periodo corto, en donde destacan eventos de periodo largo (LP), híbridos (HB). El 13 de octubre de 2004, se registró un enjambre de eventos híbridos (HB) con una duración de 5 horas. Este enjambre se puede relacionar con el transporte de fluidos hacia la laguna del cráter y a los manantiales de un acuífero somero que se presume se encuentra bajo esta laguna (Rouwet y Taran, 2009). De enero a abril del 2008 se analizó y clasificó un total de 305 señales sísmicas, destacando una señal modulada con frecuencias dominantes por debajo de 1 Hz que no se observó en octubre de 2004 a mayo de 2005. Debido a que la frecuencia de este tipo de señales moduladas está en el ó por debajo del rango de frecuencias del sensor de periodo corto, no se puede asegurar que se trate de un tremor volcánico.

De junio de 2004 a mayo de 2005, con los datos obtenidos del acelerómetro de tres componentes, se localizaron 53 eventos volcano-tectónicos por medio de la polaridad y amplitud del primer impulso de las ondas P. Estos, sismos en su mayoría se localizaron en la región de los antiguos domos en la porción SW y NW del cráter, así como en la parte central del volcán. También fueron localizados algunos eventos asociados al sistema de fallas normales y transcurrentes que rigen la estructura volcánica y los alrededores del volcán. En el perfil de profundidades EW que se obtuvo, es visible un área de ausencia sísmica la cual puede estar relacionada con el acuífero somero propuesto por Rouwet y Taran (2009). Se realizaron análisis estadísticos de la sismicidad, su evolución espacial y temporal, así como su correlación con estudios previos geológicos y químicos.

La sismicidad analizada en el periodo de este estudio no implica una reactivación del volcán Chichonal. Esta etapa de calma permite la instalación de los instrumentos de monitoreo, los cuales son fundamentales para estudiar y entender los procesos evolutivos de la actividad sísmica.

SIS-12

### MONITOREO SÍSMICO CON UNA RED DE BANDA ANCHA EN EL VOLCÁN TACANÁ, CHIAPAS

Valdés González Carlos<sup>1</sup>, Gutiérrez Jiménez Aarón Joseph<sup>1</sup>, Estrada Castillo Jorge<sup>1</sup>, Rodríguez Abreu Luis Edgar<sup>1</sup>, Arreola Manzano Jonatán<sup>1</sup>, Ramos Hernández Silvia<sup>2</sup>, Morquecho Zamarripa Cesar<sup>3</sup>, García Moreno Luis Manuel<sup>4</sup>, Chan Chin Alfredo<sup>4</sup> y Schoereder Bejarano Herbert<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

<sup>3</sup>Centro Nacional de Prevención de Desastres

<sup>4</sup>Protección Civil del Estado de Chiapas

<sup>5</sup>Protección Civil de Tapachula, Chiapas

carlosv@ollin.igeofcu.unam.mx

El volcán Tacaná se ubica en el Estado de Chiapas y en Guatemala y es un estrato volcán activo de 4030 msnm de altura. Éste volcán, junto con el Popocatepetl, el de Colima, Pico de Orizaba, el Ceboruco, Chichón y San Andrés Tuxtla son considerados como los volcanes con mayor índice de erupciones históricas registradas en la República Mexicana y por tanto de posible actividad eruptiva en el futuro. Al Tacaná se le reconocen períodos de explosiones freáticas y fumarólica en 1855, 1878, 1903, 1949/51, y 1986.

El Tacaná es un volcán peligroso, cuyos efectos eruptivos pueden tener consecuencias severas para la población y economía de la región de Chiapas y de Guatemala. Mediante un monitoreo sísmico en tiempo real, es posible detectar cambios en el estado de actividad del volcán, que permitan tomar acciones preventivas.

Con fondos del CONACYT se instalaron en territorio mexicano 4 estaciones sísmicas triaxiales con transmisión en tiempo real. Las estaciones están distribuidas a una distancia aproximadamente de 0.4 km a 13.3 km de la cima del volcán. Desde mayo de 2010, este arreglo ha permitido registrar con precisión sismos volcánico-tectónicos con S-P que varían de 0.5 a 2 segundos, eventos regionales cuyas S-P varían de 9, 12 y hasta 18 segundos. Por lo pronto no se han identificado eventos de baja frecuencia como son eventos LP o tremores. Se han registrado diversos enjambres desde la instalación de esta red, como el del día 1° de agosto con un total de 15 VT eventos en 45 minutos. Se han localizado 11 eventos VT los cuales se han registrado en por lo menos 3 estaciones de la red. En su mayoría se localizan en la parte W y NW del cono volcánico. Sus rangos de magnitudes van desde 2.4 hasta 3.1 con profundidades desde 1.5 a 9.7 Km debajo de la cima.

Esta red sísmica tendrá el doble propósito: monitorear el volcán Tacaná y monitorear la actividad de fallas que existen en la zona Chiapas-Guatemala. El tipo de sensores sísmicos instalados son de banda ancha Guralp CMG-6TD, que tiene una capacidad de respuesta de 50 Hz a 30 segundos.

Esta red instalada muy cerca del cráter permitirá también detectar pequeños eventos de tipo período largo o de tremor que pudieran estar relacionados con movimientos de gases o fluidos hidromagmáticos.

Estas 4 estaciones transmiten la información en tiempo real vía telemetría a la estación central localizada en Tapachula, Chiapas, inmediatamente se guarda y se reenvía la información vía satélite a las instalaciones del Servicio Sismológico Nacional, situado en la Ciudad de México. Las trazas en tiempo real se visualizan por medio del programa Swarm, herramienta del Earthworm, que es el sistema de procesamiento del Servicio Sismológico Nacional.

De esta manera se pueden retransmitir las señales a instituciones educativas y gubernamentales involucradas en el monitoreo y toma de decisiones con respecto al riesgo volcánico como son la UNICAH, CENAPRED, Protección Civil de Chiapas y de Tapachula.

SIS-13

#### CARACTERIZACIÓN DE SISMOS DE BAJA FRECUENCIA EN EL VOLCÁN CEBORUCO, MÉXICO

Rodríguez Uribe Carolina<sup>1</sup>, Sánchez Aguilar John<sup>2</sup>, Núñez Cornu Francisco Javier<sup>1</sup>, Trejo Gómez Elizabeth<sup>1</sup> y Gómez Hernández Adán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Sismología y Volcanología de Occidente, Universidad de Guadalajara

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia  
rodriguezcaro@hotmail.com

El estratovolcán Ceboruco (21.125°N, 104.508°W, 2280 m.s.n.m.) es una de las once principales estructuras volcánicas que componen el Cinturón Volcánico Transmexicano, es un volcán activo desde hace unos 20,000 años, el cual registró actividad eruptiva en 1870 y durante los siguientes cinco años aproximadamente mostró manifestaciones de actividad superficial; que incluyeron emisión de vapor y gases, caída de cenizas, y derrames de lava riocáutica por la ladera suroeste. En el año 2003 se instala la primera estación sismológica autónoma en el flanco suroccidental de la caldera exterior, equipada con un sismómetro de corto período y tres componentes, por parte de la Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa, proyecto a cargo del centro de Sismología y Volcanología de Occidente (SisVoc). Durante el período de Marzo 10 del año 2003 a Julio 10 del año 2008 se han detectado 139 temblores identificados como eventos sísmicos de baja frecuencia que determinan tasas de sismicidad entre 0.07 eventos/día – 1.00 eventos/día. Estos sismos no tienden a ocurrir en enjambres energéticos y sus formas de onda exhiben cierta variabilidad, aunque predominan los sismos con codas extendidas, algunos con duraciones que superan los 50 segundos. La inspección de las formas de onda observadas sugiere que sismos similares y que posibles grupos de sismos similares no ocurren cercanos en el tiempo, lo cual puede indicar la persistencia temporal de procesos magmáticos de naturaleza diversa. De acuerdo a la variabilidad de las formas de ondas que exhiben los sismos detectados se pudo definir cuantitativamente familias o grupos de sismos similares utilizando su componente este, calculando la envolvente de cada sismo, obteniendo sus espectros de frecuencia y sus espectrogramas respectivamente, llegando en total a una clasificación de cuatro grupos: 1) Sismos con "Arribos Impulsivos"; 2) Sismos con "Coda Extendida"; 3) Sismos con forma de "Huso"; 4) Sismos con modulaciones "Paquetes". Además de que se estima la posible localización de los sismos detectados, utilizando el movimiento de partículas y determinando el Azimuth y el ángulo de incidencia de cada sismo.

SIS-14

#### TREMORES NO-VOLCÁNICOS EN MÉXICO, OBSERVADOS EN MINI-ARREGLOS SÍSMICOS DE G-GAP

Payero De Jesús Juan S.<sup>1</sup>, Kostoglodov Vladimir<sup>2</sup>, Shapiro Nikolai<sup>3</sup>, Campillo Michel<sup>4</sup>, Husker Allen<sup>2</sup>, Cotte Nathalie<sup>4</sup>, Zigone Dimitri<sup>1</sup> y Real Jorge<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, IGEF, UNAM

<sup>2</sup>Departamento de Sismología, IGEF, UNAM

<sup>3</sup>IPGP

<sup>4</sup>LGIT, UJF

payero@ollin.igeofcu.unam.mx

El estudio de los Tremores No Volcánicos (NVT) ha ido creciendo desde, que en 2002 Obara presentara las primeras observaciones en Japón. Cerca de una decena de regiones en el mundo han reportado la existencia de los NVT. En México su estudio se ha centrado en las zonas de subducción desde el 2005, primero con estaciones del proyecto MASE hasta el 2007 y luego con Mini-Arreglos -MA sísmicos dentro de los proyectos PAPIIT, CONACYT y GGAP, con 9 instalados, éstos se encuentran localizados en -99 a -100 de longitud y 18.0 a 18.75 de latitud en el estado de Guerrero, México. Cada MA consiste de 6 sensores Sp (Z) organizados en triángulo de ~120 m de lado, con un BB en su centro, excepto en tres de ellos que constan sólo de 3 Sp. Además se han integrado 6 estaciones BB del SSN.

Se han observado más de 100 telesismos (y regionales), siendo los más interesantes el sismo de Chile 27/02/2010 M8.5 y el de Guerrero 27/04/2009, M5.8, por la cantidad de tremores que fueron registrados durante y después de la ocurrencia de los eventos telesísmicos.

Resultados preliminares indican una alta actividad de NVT a partir octubre 2009 y otra desde febrero con menor intensidad. La mayor parte de los NVT observados han sido de tipo ambientales, sin embargo el estudio de los NVT en la época de los eventos de Chile y Guerrero parecen indicar la presencia de los eventos NVT inducidos por las ondas superficiales de los terremotos de gran magnitud. Resultados preliminares indican que los NVT ambientales y "triggered" son posiblemente diferentes por su características espectrales y del origen.

SIS-15

#### MODELADO DE LA DINÁMICA DE LA FUENTE SÍSMICA: PARAMETRIZACIÓN DEL PROBLEMA INVERSO CON MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN GLOBAL

Díaz Mojica John J.<sup>1</sup>, Cruz Atienza Víctor M.<sup>1</sup>, Madariaga Raúl<sup>2</sup> y Ruíz Tapia Sergio A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Laboratoire de Géologie Ecole Normale Supérieure Paris

<sup>3</sup>Departamento de Geofísica, Universidad de Chile  
jdiaz@geofisica.unam.mx

La inversión de la historia cinemática de la fuente sísmica ha representado, en las últimas décadas, una herramienta poderosa para el estudio de terremotos. La descripción cinemática de la ruptura de un sismo ha permitido identificar, entre otras cosas, la distribución y dimensión de las asperezas en el plano de falla y por ende su eventual relación espacial con las réplicas asociadas. Sin embargo, dicha relación es causal y depende de procesos físicos (e.g. la caída de esfuerzos y la partición de energía) que ocurren durante y después de la ruptura del evento principal. La inversión de la dinámica de estos procesos a partir de sismogramas observados es un problema que sólo recientemente se ha podido abordar (e.g. Peyrat y Olsen, GRL, 2004), principalmente por limitaciones en los recursos de cómputo. En este trabajo se explora la parametrización del modelo de fuente dinámica con el fin de garantizar la convergencia y confiabilidad de la inversión. Para ello introducimos un nuevo y poderoso Algoritmo Genético (GA) que comparamos con otro método de optimización global conocido en inglés como Neighborhood Algorithm (NA) (Madariaga et al., 2010). Ambos métodos, programados en paralelo usando "message passing interface" (MPI), permiten resolver el problema inverso explotando recursos de supercómputo (i.e. clusters de procesadores).

El estudio de la parametrización lo llevamos a cabo a través de inversiones sintéticas. Los sismogramas invertidos corresponden a modelos dinámicos de fuente generados a partir de realizaciones estocásticas de funciones de autocorrelación (i.e. VonKarman y Gaussiana) (Mai y Beroza, JGR, 2002;) y calculados con el modelo de fuente SGSN en diferencias finitas (Olsen et al., GRL, 2009). El problema directo que emplean nuestros algoritmos de inversión global GA y NA acopla una aproximación de la fuente dinámica en diferencias finitas staggered-grid (Madariaga, BSSA, 1976) con kernels de propagación calculados con el método del número de onda discreto (AXITRA). Los sismogramas sintetizados por el problema directo son calculados a través de la convolución de la cinemática de la ruptura arrojada por el modelo dinámico y las funciones de Green entre cada elemento de la fuente y los receptores localizados en la superficie libre.

Con el fin de minimizar la cantidad de parámetros del problema y simplificar el modelo de fuente dinámica, el algoritmo emplea una aproxima elíptica de

la geometría de las principales asperezas de la fuente sísmica (Di Carli et al., sometido JRG, 2010). Así los parámetros que explora el método son la caída de esfuerzos dinámicos, la resistencia máxima de la ruptura y el deslizamiento crítico de la ley de fricción sobre el plano de falla. Para restringir la inversión, estos parámetros están ligados a través de un criterio de criticidad de la ruptura espontánea (Madariaga y Olsen, PAGEOPH, 2000).

SIS-16

### INVERSION SISMICA GENERALIZADA

Kleinfeld Avila Gloria Natalia, Rivas Rodríguez  
Reinaldo Rafael y Hernández Rosales Arturo  
ESIA Ticoman, Ciencias de la Tierra, IPN  
natalia\_kleinfeld@hotmail.com

La necesidad de conocer a detalle algunas estructuras geológicas en el subsuelo, ha llevado a desarrollar técnicas que ayuden a definir con mayor precisión dichas estructuras. Una de las técnicas alternativas es la tomografía sísmica, que se fundamenta en un problema de inversión por medio del cual se reconstruyen modelos de velocidades de propagación de las ondas sísmicas en la Tierra a partir de datos sísmicos observados fuera del medio a estudiar.

La finalidad de este proyecto es implementar un modelo matemático para poder llevar a cabo una simulación numérica de el método de inversión sísmica generalizada, el cual consiste en un algoritmo que permite estimar una estructura interna, a partir de la inversión de tiempos de viaje; y de esta forma determinar aproximaciones del modelo de velocidad de determinada zona.

#### Bibliografía

- Albert Tarantola, 1987 Inverse problem theory, methods for data fitting and model parameter estimation, Institut de Physique du globe, Paris, France Ed. Elsevier
- Arturo Malagon Montalvo, La tomografía sísmica: Herramienta alternativa en la exploración, UNAM
- Gonzalez Rico Javier, Tomografía computarizada

SIS-17

### SIMULACIÓN NUMÉRICA DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS EN MODELOS GEOFÍSICOS CON FRACTURAS

De Basabe Delgado Jonas de Dios  
CICESE  
jonas@cicese.mx

La simulación numérica de la propagación de ondas sísmicas tiene diversas aplicaciones, algunas de las cuales son la evaluación de riesgo sísmico, la investigación de la estructura interna de la Tierra y la exploración de hidrocarburos. Para este propósito, se han propuesto en la literatura una gran variedad de métodos numéricos basados en la ecuación de onda. Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas en cuanto al costo computacional, precisión, exactitud y el tipo de modelos geofísicos a los que se pueden aplicar.

En particular, para aplicaciones de exploración de hidrocarburos, es importante incluir en los modelos geofísicos las fracturas, las cuales son comunes en yacimientos carbonatados. Estas fracturas se pueden encontrar en diferentes escalas, desde fallas hasta micro-fracturas, y pueden introducir anisotropía sísmica si tienen una orientación preferencial. Dada la frecuencia con la que áreas de interés económico se encuentran fracturadas, es interesante resaltar que la gran mayoría de los métodos numéricos están limitados en su capacidad de incorporar este tipo de discontinuidades en los modelos.

En el presente trabajo presentamos un método numérico basado en el método de Galerkin discontinuo para incluir discontinuidades en el campo de desplazamientos utilizando una relación lineal entre la magnitud de la discontinuidad y el vector de tracción. Asimismo, presentamos resultados preliminares de simulaciones de propagación de ondas sísmicas a través de medios fracturados.

SIS-18

### ANÁLISIS DE ANISOTROPÍA SÍSMICA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO LOS HUMEROS, PUEBLA

Rodríguez Flores Héctor y Lermo Samaniego Javier  
Instituto de Ingeniería, UNAM  
hrodriguez@ingen.unam.mx

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de anisotropía sísmica en el campo Geotérmico Los Humeros, Puebla, para correlacionar los parámetros de anisotropía: polarización (#) de la onda rápida qS1 y retraso (#) de las ondas de corte qS1 y qS2 con la tectónica y el estado de esfuerzos horizontales del campo. Los parámetros de anisotropía han mostrado ser de

gran utilidad para detectar zonas de fracturamiento y dirección de esfuerzos locales en Campos Geotérmicos y Petroleros (García, 2006, Tang, 2006) debido a que la inyección y producción de fluidos genera micro-sismicidad. Los eventos seleccionados fueron sismos locales mejor localizados, registrados en cinco o más estaciones durante el periodo de 1997-2008 que se obtuvieron de la Red Sísmica Telemétrica Permanente (RSTP), la cual cuenta con seis sismógrafos digitales triaxiales de periodo corto. El análisis de los datos se llevó a cabo en dos periodos: el primero de 1997-2002 y el segundo de 2003-2008 debido al cambio de localidad de algunas estaciones. Para cada estación los parámetros de anisotropía: polarización (#) y retraso de onda S (#) se obtienen visualmente del movimiento de partícula, en la ventana de ondas S, mediante hodogramas de corta duración para el primer movimiento de la onda rápida qS1y con correlación cruzada para el retraso (#).

Los resultados de analizar 82 sismos, de la zona centro del campo de donde proviene la mayor parte de la sismicidad, indican que cada estación se correlaciona con la tectónica. Las estaciones S06, S01 y el segundo periodo de la S04, muestran dirección de polaridad preferencial E-W, posiblemente a causa de la presencia del sistema de fallas y fracturas alineadas en esta misma dirección y/o a esfuerzos de tensión a nivel regional del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) (Suter, 1991). Las estaciones S03 y el primer periodo de la S04 muestran una polaridad preferencial coincidente con las fallas locales NE-SW. Finalmente, la estación S05, al estar en el centro del campo geotérmico de donde proviene la mayor cantidad de sismos, detecta polarización de ambas zonas y presenta polaridad tanto NE-SW como E-W.

SIS-19

### SIMPLE ALGEBRAIC FORMULAE OBTAINED BY ASYMPTOTIC HOMOGENIZATION APPLIED TO MESOSCALE POROUS CORTICAL BONE

Sabina Federico  
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM  
fjs@mym.iimas.unam.mx

Mathematical methods that are useful in the context of elastic rock properties have been found useful in the realm of a natural material as bone. It is possible to learn from the techniques applied earlier in the field of seismology to biomechanics. The asymptotic homogenization method that was used to predict effective elastic properties of anisotropic rocks with microstructure has recently been used to consider a natural material. Millimetre cortical bone micromodeling is studied using the asymptotic homogenization, the fast Fourier and the Mori-Tanaka methods. Former yields effective elastic properties simple closed-form formulae for hexagonal and square periodic cells. The first order approximation (T1) being very close to the exact value. Expressions show explicit dependence of either drained or undrained Haversian canal and bony matrix properties, volume porosity and one periodicity characteristic number. The three methods agree for hexagonal cell; square cell gives lower values than latter for first two methods, agreeing; Mori-Tanaka values, however, are independent of geometric cell. Normalized anisotropic ratio follows almost same trend for both isotropic and transversely isotropic matrix. Comparisons with low-frequency asymptotic homogenization method show agreement with our results. Moreover, simple formulae produce elastic properties and anisotropic ratio from transversely isotropic matrix in the range of observed human bone data. Recent multiosteon unit cell finite element calculations yielded anisotropic ratio with slight biconvexity for isotropic matrix. Theoretical methods, however, produce one sided convexity. Simple formulae provides quick and useful information to check other theories, experimental and numerical methods.

SIS-20

### ANELASTIC WAVE PROPAGATION WITH A DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD: AN UNSTRUCTURED MULTIPROCESSOR SOLVER

Tago Pacheco Josué<sup>1</sup>, Cruz Atienza Víctor M.<sup>1</sup>, Etienne Vincent<sup>2</sup>, Virieux Jean<sup>3</sup> y Sánchez Sesma Francisco José<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM  
<sup>2</sup>Géoazur, Université de Nice Sophia-Antipolis, France  
<sup>3</sup>Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Université Joseph Fourier, France  
<sup>4</sup>Instituto de Ingeniería, UNAM  
josue.tago@gmail.com

To do any realistic assessment of seismic scenarios it is necessary to take into account the anelastic attenuation of seismic waves. To this purpose, we introduce an extension of the hp-adaptive discontinuous Galerkin finite-element method developed by Etienne et. al in 2010. This code uses the message passing interface (MPI) to solve the 3D elastodynamic equations in an unstructured tetrahedral mesh with multiple processors for modeling the was propagation within heterogeneous media. The extension integrates the viscoelastic rheology so that the intrinsic attenuation of the medium is incorporated in terms of frequency dependent quality factors (Q). We introduce

an original discrete scheme of the viscoelastic formulas, which respects the architecture of the original code and guarantees its optimal performance.

Our formulation considers a set of relaxation mechanisms describing the behavior of a generalized Maxwell body. Following Moczo et al. (Acta Physica Slovaca, 2007) by choosing both suitable relaxation frequencies and anelastic coefficients characterizing these mechanisms, we approximate almost constant  $Q$  in a wide frequency range. To solve the constitutive equations, we introduce anelastic functions (i.e. memory variables) to avoid the computation of a time convolutional term that would make the viscoelastic modeling computationally impossible. The amount of anelastic functions is proportional to the amount of relaxations mechanisms.

To determine the anelastic coefficients so that  $Q$  is as close as possible to constant value in the frequency band of interest, we need to solve an optimization problem. Solving properly this problem is critical to minimize the necessary amount of relaxation mechanisms and thus the computational requirements. Two alternative strategies are explored: 1) a least squares method and 2) a genetic algorithm (GA). We found that the improvement provided by the heuristic GA method is negligible. Both optimization strategies yield actual  $Q$  values within the 5% of the target in the frequency band. We tested as well introducing weighting factors into the cost function to refine our approximation over a selected frequency subranges.

The incorporation of the anelastic functions implies new terms with ordinary differential equations in our numerical scheme. To solve the differential equations we have tested several strategies based in both finite difference and discontinuous Galerkin methods. The latter allows us to solve the equations in every element of the mesh with the same order of accuracy used by the scheme to solve the elastic equations (i.e. P0, P1 or P2 interpolations functions).

Finally we validate our mathematical and computational model by comparing synthetic seismograms for double-couple point sources yielded by both our discontinuous Galerkin method and the semi-analytical discrete wavenumber method. We have started to implement a dynamic rupture model into the code so that shortly we will be able to perform realistic simulations of possible physical-based seismic scenarios to study the associated hazard in sites of interest like the Valley of Mexico.

SIS-21

### INVERSIÓN DE FASE W PARA SISMOS MEXICANOS

Pérez Campos Xyoli<sup>1</sup>, Iglesias Mendoza Arturo<sup>1</sup>, Rivera Luis<sup>2</sup> y Singh Shri K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Institut de Physique du Globe de Strasbourg, CNRS/Université de Strasbourg  
xyoli@geofisica.unam.mx

México, por sus características tectónicas, tiene una producción promedio de seis sismos con magnitudes mayores a 5.8 por año. De ellos, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reporta regularmente su localización y magnitud. En tiempos recientes, también reporta el mecanismo focal obtenido a partir de una inversión del tensor de momentos sísmicos (MT) regional. Sin embargo; ambas estimaciones pueden presentar problemas graves cuando los registros de las estaciones regionales de banda ancha están saturados. Dado que la saturación de las estaciones suele suceder después del arribo de las ondas S, esta saturación no se presenta para la fase W, que es una fase de período largo entre la P y la S. La inversión de la fase W ha probado su estabilidad para eventos mundiales de magnitudes mayores a 6.5, empleando datos telesísmicos. Incluso se ha implementado la inversión usando datos regionales en otros países.

Para probar la eficacia del método con sismos de México registrados en la Red de Banda Ancha del SSN, invertimos la fase W para obtener el MT de 47 sismos registrados a partir del 2002, con magnitud mayor a 5.8. En general, encontramos buena correspondencia entre los resultados obtenidos en las diferentes inversiones realizadas y el CMT reportado por el catálogo de Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Las mayores diferencias se observan para eventos de mecanismo de corrimiento lateral. Éstas parecen estar correlacionadas con la localización de las fuentes y las estaciones; es decir, la escasa cobertura que se tiene por parte del SSN en el Golfo de California y el norte del país en general. Para aumentar la cantidad de datos que se emplearían en la inversión, especialmente para sismos de este tipo, se incluyeron en la inversión datos de cinco estaciones de la Red Sísmica del Sur de California (SCSN) y de la estación TUC en Tucson, Arizona. Esto mejoró nuestros resultados, sobre todo si se realiza una búsqueda de la mitad del tiempo de duración de la fuente.

SIS-22

### COMPARACIÓN ENTRE LA PROSPECCIÓN SÍSMICA DE DISPERSIÓN DE ONDAS SUPERFICIALES Y LA SÍSMICA DE POZOS CRUZADOS (CROSSHOLE)

Rodríguez Miguel  
Instituto de Ingeniería, UNAM  
mrod@pumas.ii.unam.mx

Esta presentación trata sobre la estimación de la estructura somera de la velocidad de cortante cuando se explora en zonas urbanas o de construcción intensiva lo cual restringe las posibilidades metodológicas a técnicas no invasivas como la sísmica de dispersión de ondas superficiales que usa el campo de ruido sísmico ambiente.

En tres sitios en donde la estructura somera va de suelos blandos a firmes, el espesor está en el rango de los 30 a los 250 metros y en los que se cuenta también con las velocidades sísmicas medidas en ensayos de pozos cruzados (CrossHole) se hicieron mediciones de la velocidad de cortante utilizando la sísmica de dispersión de ondas superficiales.

Los resultados indican que las diferencias en los valores estimados de velocidad de cortante, respecto a los valores estimados con pozos cruzados no exceden el 20 % y que las diferencias mayores se obtienen a profundidades que superan los 40 metros. Exploramos también, de manera preliminar, las causas posibles de estas diferencias: la verticalidad de los pozos, la anisotropía del suelo y del campo de ruido sísmico, así como las diferencias en el ancho de banda en frecuencia de las señales utilizadas en ambos ensayos. Los resultados de la comparación indican que la sísmica pasiva de dispersión de ondas superficiales es una alternativa de prospección de velocidad de cortante de bajo costo.

SIS-23

### INTERFEROMETRÍA SÍSMICA MEDIANTE LA CORRELACIÓN Y LA DECONVOLUCIÓN DE EVENTOS

Pech Pérez Andrés y Cortés Ortiz Eduardo  
Instituto Politécnico Nacional  
apech@ipn.mx

La interferometría sísmica es una técnica que nos permite caracterizar la propagación de ondas entre receptores; en otras palabras, mediante esta técnica es posible extraer la función de Green a partir de eventos sísmicos registrados en dos o más receptores; para poder obtener la función de Green, es posible utilizar la correlación o la deconvolución. La correlación de eventos sísmicos ha sido la técnica más usada en los últimos años. Cabe mencionar que cuando se utiliza la interferometría sísmica fundamentada en la correlación, se asume que el medio no presenta atenuación y que el patrón de iluminación generado por las fuentes virtuales es isótropo. Si el subsuelo presenta estructuras geológicas complejas y una alta atenuación, evidentemente las funciones de Green estimadas a partir de la correlación no serán correctas.

Mediante la aplicación de la interferometría sísmica basada en la deconvolución de eventos sísmicos, se pretende mitigar el error en la estimación de las funciones de Green debido a las consideraciones anteriormente descritas.

En este trabajo, se presentan funciones de Green obtenidas mediante la correlación y la deconvolución de campos de desplazamiento correspondientes a un modelo de un medio estratificado sometido a la incidencia de ondas planas SH.

A partir de estas expresiones se ilustran las diferencias existentes entre las dos clases de interferometría sísmica.

SIS-24

### MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE PUERTO VALLARTA

Gómez Hernández Adán<sup>1</sup>, Cárdenas Soto Martín<sup>2</sup>, Núñez Cornu Francisco Javier<sup>1</sup>,  
Sánchez Aguilar John<sup>3</sup>, Trejo Gómez Elizabeth<sup>1</sup> y Rodríguez Uribe Carolina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia

a881965@yahoo.com.mx

La microzonificación sísmica consiste en la división de una región en pequeñas áreas geográficas, donde se pronostican aceleraciones y amplificaciones del movimiento del suelo ante la ocurrencia de un sismo fuerte. Estos mapas constituyen un elemento esencial para la evaluación del riesgo sísmico, ya que permiten seleccionar los sitios más seguros para la construcción de nuevas edificaciones, estas investigaciones son obligatorias en las zonas de alta peligrosidad y sus resultados se incluyen en los documentos normativos de muchos países. A últimas fechas, estos trabajos se han realizado también en grandes ciudades ubicadas en las zonas de baja y moderada sismicidad. Esto se debe a que los elementos sometidos a riesgo, pueden ser altamente costosos

y vulnerables y las consecuencias de un sismo de moderada intensidad, podrían ocasionar desastres de grandes dimensiones.

La ciudad de Puerto Vallarta, México (Pop. ~ 221,000) se encuentra ubicada en el oeste del Estado de Jalisco y colinda con el municipio de Bahía de Banderas, dado el potencial económico de la región, en los últimos años la ciudad de Puerto Vallarta a crecido desmesuradamente, cambiando los usos de suelo, sin hacer los estudios pertinentes, esto con el fin de hacer edificaciones mas grandes o edificar viviendas en lugares por demás peligrosos. Desde el punto de vista de riesgo sísmico, el territorio de la república mexicana se divide en las cinco zonas sísmicas, donde la zona "A" corresponde a la de menor riesgo sísmico y la zona "D" a la de mayor riesgo. Como el objeto de este estudio es la ciudad de Puerto Vallarta, la cual corresponde a la zona de mayor riesgo, que es la zona "D". Se propone llevar a cabo el mapa de microzonificación sísmica para en un futuro tratar de mitigar el riesgo sísmico para la población.

Existen diferentes técnicas para establecer propuestas de microzonificación, las que dependen de la cantidad y calidad de la información disponible, así como de los recursos económicos con que se cuenta. Uno de los procedimientos más comunes es la caracterización geodinámica del terreno con base en estudios de vibración ambiental (H/V) con la cual realizaremos esta investigación. Se ha diseñado una cuadrícula en un mapa geológico de la ciudad de Puerto Vallarta con nodos a cada 2 km., las muestras en campo son tomadas con un sensor acoplado a una estación portátil, donde se registra la señal del ruido, se digitaliza y se analiza para visualizar la amplificación del mismo. Los resultados preliminares de medidas del ruido sugieren ampliaciones de las aceleraciones del orden de 1.5 segundos para los sitios muestreados en Puerto Vallarta. Los resultados preliminares sugieren ampliaciones de suelo moderada en las zonas más próximas a la zona de la costa, en comparación a los sitios de la zona de la colina. Los resultados de este estudio sugieren aplicar estudios de caracterización de otro sitio (SPAC, de refracción sísmica, etc.) y complementarlo con los informes geotécnicos y geológicos.

SIS-25

#### ESTIMATION OF GROUND MOTION IN MEXICO CITY FROM A REPEAT OF THE ACAMBAY EARTHQUAKE OF 1912 (M-7.0)

Singh Shri K.<sup>1</sup>, Iglesias Mendoza Arturo<sup>1</sup>, Ordaz Schroeder Mario<sup>2</sup>, Pérez Campos Xyoli<sup>1</sup> y Quintanar Robles Luis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería, UNAM

krishna@ollin.igeofcu.unam.mx

Acambay earthquake of 19 November, 1912 (M-7.0), which occurred in the Central Trans-Mexican Volcanic Belt (CTMVB) about 100 km WNW of Mexico City, is a critical scenario event in the estimation of seismic hazard of the city. We use seismograms of two small earthquakes located near Actopan (15 Dec 2003; 18 May 2010) and recorded at CUIG, a hill-zone site in Mexico City, as empirical Green's functions (EGFs) for the Acambay region. Since Actopan, like Acambay, is situated in the CTMVB and both are located at about the same distance from CUIG, the recordings of the small Actopan earthquakes as EGFs are partly justified. We first analyze data of the two small earthquakes at a local broadband seismographic station, DHIG, to estimate their seismic moment and stress drop. We then use a technique of random summation of EGF to simulate ground motion at CUIG from the postulated Mw 7 earthquake. The estimated geometric mean horizontal PGA and PGV at CUIG range from 5.2 to 9.4 cm/s/s, and 1.7 to 4.0 cm/s, respectively. Similar values are obtained from an application of random vibration theory assuming reasonable source spectrum, and path and attenuation effects. Ground-motion maps for the entire city are presented using one realization of the random summation at CUIG and the known transfer functions of many sites in the city. The results are consistent with reported seismic intensities in Mexico City, and PGA and peak ground displacement (PGD) at 2s-period at central seismic station of Tacubaya during the Acambay earthquake (Urbina and Camacho, 1913). Estimated ground motions suggest that a repeat of the event does not present significant risk to Mexico City.

SIS-26

#### UNA NUEVA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE FORMAS DE ONDA DE DESPLAZAMIENTOS EN TIEMPO REAL MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE REGISTROS ACELEROMÉTRICOS Y DE GPS

Melgar Moctezuma Diego y Bock Yehuda

Institute of Geophysics and Planetary Physics, Scripps Institution of Oceanography  
dmelgarm@ucsd.edu

En sismología tradicionalmente se obtienen registros de desplazamiento mediante la integración numérica, filtrado y ajuste polinomial de registros de aceleración. Se ha mostrado que aunque estas técnicas recuperan las formas de onda de desplazamiento, son incapaces de hacerlo en frecuencias bajas por lo cual son de espectro limitado. Adicionalmente sufren de falta de una forma objetiva de determinar los parámetros del proceso numérico (frecuencia de corte del filtro, orden del polinomio de ajuste, etc.), por que deben modificarse a gusto del investigador para cada par evento-estación, dificultando la automatización

del proceso para redes grandes; además, estas técnicas se ven limitadas al no poder utilizarse en tiempo real.

En este trabajo presentamos un nuevo enfoque utilizando elementos de la teoría estocástica de estimación y control, implementando un filtro Kalman para fusionar datos de aceleración y de GPS, recuperando con ello series de tiempo de desplazamiento. Este filtro es multi-tasa y permite combinar datos de aceleración y GPS con tasas de muestreo disímiles. El filtro asume ruido blanco gaussiano en ambos sensores por lo cual la determinación de sus parámetros de operación (varianza del ruido en el acelerómetro y el GPS) se puede llevar a cabo de forma objetiva a partir de segmentos de datos antes del evento.

Demostramos que esta técnica puede utilizarse en tiempo real con dos ejemplos: un experimento en mesa de vibraciones sujeta a un sismograma real con acelerómetros con una tasa de muestreo de 250 Hz y GPS de 50 Hz y para el sismo de Baja California (Mw 7.2) del 4 de abril de 2010, utilizando estaciones acelerométricas de 100 Hz de la Red Sísmica del Sur de California (SCSN) y de GPS de 1 Hz de la Red de Tiempo Real de California (CRTN). Mostramos que el proceso funciona para estaciones a más de 300 km de distancia del foco.

Se discutirá también el análisis espectral del filtro que muestra limitantes en su versión en tiempo real y en altas frecuencias debido al enmascaramiento en el sensor con la tasa de muestreo menor, aunque postulamos que éstas son inconsecuentes para las aplicaciones de tiempo real. Además, discutimos cómo este problema se elimina completamente en la fase de pos-proceso con un algoritmo de suavizado de Kalman.

Finalmente, identificamos en las características espectrales del filtro que este esquema supera ampliamente a los algoritmos tradicionales, lo cual nos conduce a proponer que el futuro de los sensores de movimientos fuertes es la co-localización de receptores GPS con tasas de muestreo altas (>1 Hz) y acelerómetros con el correspondiente procesamiento conjunto de las series de tiempo.

SIS-27

#### AMPLIFICATION OF SEISMIC WAVES IN THE WEST AND CENTRAL PART OF INDO-GANGETIC PLAINS, INDIA

Singh Shri K.<sup>1</sup>, Srinagesh D.<sup>2</sup> y Chadha R. K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>National Geophysical Research Institute, Hyderabad, India

krishna@ollin.igeofcu.unam.mx

Although Indo-Gangetic Plains are adjacent to rupture areas of large and great Himalayan earthquakes, a quantitative study of the amplification of seismic waves in the region is still lacking. To obtain a first estimate of the amplification, we operated an array of 10 broadband seismographs crossing the plains in the N-S direction for 2 years. Using earthquake recordings of shallow earthquakes at soft sites and hard reference sites, we computed standard spectral ratios (SSRs). SSRs at sites near the Himalayan foothills, where the sediment thickness exceeds 4 km, reveal a broadband amplification with a dominant frequency of 0.14 Hz. The amplification at this frequency varies between 20 and 60. The dominant frequency increases to the south as the thickness of the sediments decreases, becoming 0.8 Hz at the southern-most site where the depth to basement is probably ~100m. The amplification at the dominant frequencies exceeds 10 at all 8 soft sites. Calculations based on reasonable earthquake source and attenuation models and application of random vibration suggest that PGA and PGV at soft sites near the foothills, located 100 km from the epicenter, would be amplified by 2-4 and 6-12, respectively. All our results assume linear behavior of the sediments. While this assumption would not be valid during intense motions caused by large/great earthquakes, our results provide basic building block for incorporating nonlinear behavior.

SIS-28

#### MEDICIÓN DE MICROTREMORES PARA IDENTIFICAR ZONAS POTENCIALES DE AGRIETAMIENTO, IZTAPALAPA, D.F., MÉXICO

Espinosa Villalpando Luis Angel, Lermo Samaniego Javier,

Ovando Shelley Efrain y Martínez González José Antonio

Instituto de Ingeniería, UNAM

lespinosav@iingen.unam.mx

Recientemente el número de fisuras y grietas ha aumentado en las masas arcillosas de la cuenca de México, produciendo daños de consideración a viviendas populares, como en San Lorenzo, una colonia en la zona montañosa de Iztapalapa en la Ciudad de México. Las grietas en este caso son difíciles de controlar y son causadas por hundimientos regionales que, a su vez, se originan por la extracción de agua de capas profundas. Las grietas y fisuras por lo general aparecen en zonas de transición abrupta en las que el espesor de las capas de arcilla compresible cambia considerablemente en distancias cortas y en lugares, dentro de la cuenca, donde se encuentran enterradas estructuras geológicas en la cuenca. Incluso muchas de estas grietas y fisuras han sido localizadas y mapeadas, pero hay amplias zonas de la cuenca donde posibles agrietamientos faltan por ser definidos. El presente trabajo muestra el análisis



de registros de microtemores para estudiar la causa directa de las grietas en Iztapalapa. Los resultados muestran que el método de vibración ambiental Nakamura se puede utilizar para estudiar tanto grietas existentes como posibles fisuras, incluyendo algunas de sus características: longitud, profundidad, etc. También se puede utilizar para generar hipótesis sobre el posible origen del fenómeno de agrietamiento y definir zonas potenciales de agrietamiento en determinadas zonas de la cuenca. Los resultados de sondeos de exploración geotécnica se utilizan para validar este método. Los resultados de periodo dominante, obtenidos mediciones de ruido ambiental, muestran que la mayoría de los agrietamientos y fisuras en Iztapalapa, se presentan donde hay un cambio brusco de los depósitos arcillosos. Con el patrón de los periodos dominantes, se puede inferir la morfología del manto rocoso y por consiguiente señalar posibles apariciones de nuevas grietas o el crecimiento de las ya existentes.

SIS-29

### RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE AMORTIGUAMIENTO INTRÍNSECO DE LOS MATERIALES DO Y EL DECAIMIENTO ESPECTRAL $Ko(z)$ PARA LAS ESTACIONES DE LA RED RESNES DE SONORA, MÉXICO

Fernández Heredia Avelina Idalmis, Huerta López Carlos  
Isidro, Castro Escamilla Raúl y Romo Jones José Manuel

CICESE

idalmis@cicese.mx

La Red Sísmica del Noreste de Sonora, México (RESNES), se instaló en 2002, con el objetivo de monitorear la actividad sísmica regional asociada al sistema de fallas tectónicas que originó el terremoto de 1887 de magnitud 7.5. Esta red consta de nueve estaciones digitales con registros de tres componentes de aceleración (NS, EW y Vertical) y una componente vertical de velocidad.

De acuerdo a las características litológicas de los sitios, las estaciones se pueden clasificar en tres grupos. Las estaciones OJO, ELO y NAC, del grupo I, están ubicadas sobre rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario. Las estaciones del grupo II: OAX, MOR, VHI, MOC y BAC se encuentran sobre depósitos continentales (conglomerados de edad Terciario); y la estación DIV (grupo III) esta sobre rocas ígneas extrusivas ácidas de edad Cretácico. El amortiguamiento intrínseco de los materiales Do y el decaimiento espectral  $Ko(z)$  son dos parámetros que permiten la caracterización del sitio, sin embargo siempre han sido estudiados de manera independiente. En este trabajo estudiamos la probable relación entre ambos parámetros con el fin de determinar una ecuación que cuantitativamente los relacione.

Los valores de  $Ko(z)$  obtenidos para cada grupo de estaciones son notablemente diferentes: 0.0177 para el grupo I, 0.0842 para el grupo II y 0.0374 para el grupo III. Los valores del amortiguamiento Do también son diferentes entre los grupos de estaciones. Tomando valores promedio de 0.0433 para el grupo I, 0.0418 para el grupo II y 0.057 para el grupo III. Estos resultados corroboran las diferencias previamente establecidas por Fernández et al. (2010) entre los tres grupos de estaciones y permite diferenciar sitios de los grupos I y III, a pesar de estar ubicados en lugares con el mismo tipo litológico. Estos sitios presentan respuestas sísmicas diferentes, debido posiblemente al diferente grado de fracturamiento y erosión de las rocas, como ya hemos sugerido en estudios anteriores.

SIS-30

### UNA TEORÍA PARA EL COCIENTE ESPECTRAL, H/V, DEL RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL: APLICACIÓN PARA UN MEDIO A CAPAS PLANAS

Sánchez Sesma Francisco José<sup>1</sup>, Rodríguez Miguel<sup>1</sup>, Iturrarán Viveros Ursula<sup>2</sup>,  
Luzón Francisco<sup>3</sup>, Campillo Michel<sup>4</sup>, Margerin Ludovic<sup>5</sup>, García Jerez Antonio<sup>3</sup>,  
Suárez Martha<sup>1</sup>, Santoyo Miguel Angel<sup>3</sup> y Rodríguez Castellanos Alejandro<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería, UNAM<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, UNAM<sup>3</sup>Universidad de Almería, Almería, España<sup>4</sup>Université Joseph Fourier, Grenoble, Francia<sup>5</sup>Université Aix, Marseille, Francia<sup>6</sup>Instituto Mexicano del Petróleo

sesma@servidor.unam.mx

El ruido sísmico ambiental lo generan las fuentes sísmicas múltiples y casuales cercanas a la superficie de la Tierra, que incluyen los efectos de esparcimiento múltiple cuyas intensidades se pueden explicar con la teoría de difusión. En estas circunstancias la autocorrelación promedio de los movimientos registrados en un sitio receptor, en el dominio de la frecuencia, mide la densidad de energía la cual es proporcional a la parte imaginaria de la función de Green cuando la fuente y el receptor están en el mismo sitio.

Suponiendo al campo de ondas del ruido sísmico ambiental como un campo difuso, se procedió al cálculo de los cocientes espectrales H/V del movimiento en un receptor superficial, de un modelo a capas planas, y en términos de la parte imaginaria de la función de Green en la fuente. La teoría involucrada une la densidad de energía promedio con la función de Green 3D y permite calcular el

cociente H/V como una propiedad intrínseca del medio. Entonces, la propuesta que se presenta aquí permite invertir el cociente espectral H/V, o bien conocido también como el cociente de Nakamura, sin usar explícitamente la elipticidad de ondas de Rayleigh pero incluyendo la contribución de ondas de Rayleigh, de Love y ondas volumétricas. Los registros de banda ancha obtenidos en el ex lago de Texcoco, un sitio de suelo blando cercano a la ciudad de México, fueron analizados e interpretados usando nuestra teoría.

SIS-31

### ESTUDIO DE LAS RESPUESTA DE SITIO Y ESTRUCTURA DE ONDAS DE CORTE EN LA ZONA PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Reyes Pimentel Thalia A.<sup>1</sup>, Cárdenas Soto Martín<sup>1</sup>,  
Meléndez González Jorge<sup>1</sup> y Alanís Alcantara Alfredo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM<sup>2</sup>Zonas Minadas, Delegación Álvaro Obregón

thaliareyes@gmail.com

El crecimiento poblacional en la ciudad de México ha crecido de manera exponencial en los últimos 50 años. Esto ha provocado un crecimiento descontrolado de la mancha urbana imposibilitando una adecuada planeación de espacios y servicios básicos. Una de estas zonas está ubicada al poniente de la ciudad, donde la población ha ocupado el terreno perteneciente a la zona de piedemonte de la Sierra de las Cruces. La naturaleza geológica de la zona así como la evolución tectónica y estructural de la misma, da lugar a una litología constituida por depósitos aluviales, flujos piroclásticos y material muy trabajado, que a principios del siglo pasado hizo atractiva esta zona para la explotación de material.

En la zona de lago de la ciudad de México, la respuesta sísmica ha sido ampliamente estudiada. Varios estudios de ingeniería sísmica, derivados después de los sismos de Michoacán de 1985, han sido incorporados al código de construcción actual. Sin embargo, la zona poniente de la ciudad aún no cuenta con estos avances debido a que sigue siendo geotécnicamente clasificada como zona de lomas, pese a que presenta una geología y topografía compleja. En esta zona, hemos llevado a cabo una serie de campañas de monitoreo sísmico utilizando arreglos triangulares con estaciones de banda ancha (ocho estaciones con una apertura entre 1 a 5 km). En este trabajo presentamos el análisis de esos datos a fin de proponer una mapa de microzonificación (distribución de eigenfrecuencias y amplificaciones relativas del subsuelo obtenidas a partir de los sismos registrados), y cuyas estimaciones fueron completadas con mediciones de vibración ambiental, registros de aceleración, y el cálculo de la respuesta unidimensional de columnas litológicas. A fin de conocer la estructura intermedia de la zona, empleamos el método SPAC e interferometría sísmica entre pares de estaciones para estimar modelos de velocidad de ondas de corte. Los resultados de este estudio muestra que en la zona se presentan amplificaciones relativas moderadas menores de 3, que ocurren en el rango de 1 a 6 Hz. Los perfiles de ondas de corte proporcionan información del subsuelo entre 50 y 500 m de profundidad, cuyas velocidades están entre 500 y 1500 m/s y que correlacionan con la estructura profunda de la cuenca reportada en el pozo Roma.

SIS-32

### EVALUACIÓN DE LAS GRIETAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO MEDIANTE MEDICIONES DE MICROTREMORS

Martínez González José Antonio y Lermo Samaniego Javier

Instituto de Ingeniería, UNAM

jmartinezgo@iingen.unam.mx

El fenómeno de agrietamiento es un problema que se presenta en diversas zonas de la Ciudad de México, afectando y poniendo en riesgo a sus habitantes. El origen de estas grietas es causado por la sobreexplotación acuífera de las capas profundas, lo que causa hundimientos regionales por efecto de la compactación de la masa arcillosa que está presente en la mayor parte de la Ciudad de México. Actualmente se tienen identificadas las zonas con presencia de grietas, las cuales se localizan, en mayor número, en las orillas del antiguo lago en proximidad con los cuerpos montañosos. El resto se localiza en el interior de dicho lago, en donde los límites de los espesores del acuitado cambian bruscamente. Sin embargo, existen aún amplias zonas que presentan un gran potencial para generar futuros agrietamientos por definir. El presente trabajo muestra la aplicación de los registros de ruido ambiental (microtemores) para definir zonas en donde se pueden generar futuros agrietamientos. Además se plantea una actualización de los límites de las zonas geotécnicas del vigente reglamento de construcción del Distrito Federal.

SIS-33

### CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE SITIO EN LA ESTACIÓN LNIG (SSN) Y SISMICIDAD RECIENTE EN EL NORESTE DE MÉXICO

Ramos Zuñiga Luis Gerardo<sup>1</sup>, Montalvo Arrieta Juan Carlos<sup>1</sup>, Pérez Campos Xyoli<sup>2</sup> y Valdés González Carlos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León

<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM  
gerardoh2003@yahoo.com.mx

En este trabajo se presenta: (a) la caracterización de la respuesta sísmica de sitio en la estación sísmológica LNIG, ubicada en la Facultad de Ciencias de la Tierra en Linares, Nuevo León, y (b) el estado actual de la sismicidad en el noreste de México y su relación con el marco geológico regional. La estación LNIG forma parte del Servicio Sísmológico Nacional (SSN); y fue instalada en enero de 2006 con el objetivo de monitorear la actividad sísmica local y regional generada en el noreste de México. Desde un punto de vista geológico, la estación LNIG se ubica en la zona de transición entre las provincias geológicas Sierra Madre Oriental y Planicie Costera del Golfo Norte (en particular sur de la sub-provincia Cuenca de Burgos). La estación se encuentra asentada sobre lutitas de la Formación Méndez. La caracterización sísmica de sitio se hizo a través la determinación de la estructura de velocidades (VS30), de acuerdo con la clasificación de sitio propuesta por la NEHRP, a partir de refracción sísmica, cocientes espectrales H/V de registros de microtemblores y de sismos locales registrados en la estación LNIG, además de correlacionar dicha información con las condiciones litológicas del subsuelo. El estudio de la sismicidad histórica muestra que en esta región existe evidencia de actividad sísmica desde 1847, la cual se encuentra distribuida en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y sur de Texas. Desde su puesta en operación en 2006, en la estación LNIG se han documentado 12 eventos sísmicos locales con magnitudes que varían entre 3.1 a 4.5, ubicados en los estados de Coahuila y Nuevo León; para algunos de ellos hay evidencia de daños estructurales en algunas localidades como Galeana y Montemorelos, N. L. Finalmente, se presenta el primer análisis para determinar el marco sismotectónico con el cual pudiera estar relacionada la actividad sísmica registrada, a través de correlacionar las localizaciones epicentrales con rasgos geológicos cartografiados. Este análisis indica que la sismicidad generada en esta porción del país puede estar relacionada con la reactivación de fallas presentes en la Sierra Madre Oriental.

SIS-34 CARTEL

### UNA APLICACIÓN DE LA CORRELACIÓN CRUZADA DE CAMPOS DIFUSOS AL VOLCÁN DE COLIMA, MÉXICO. DETERMINACION DE LA ESTRUCTURA SOMERA DE VELOCIDADES DE CORTANTE

Domínguez Reyes Tonatiuh<sup>1</sup>, Rodríguez Miguel<sup>2</sup> y West Michael<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Colima

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>3</sup>Universidad de Alaska, Fairbanks  
tonatiuh@uclm.mx

Se presentan resultados de un ejemplo de correlación cruzada de ruido sísmico para producir mapas de velocidades de grupo de ondas de Rayleigh para la región del Volcán de Colima.

Si consideramos que el campo de ruido sísmico consiste primordialmente de ondas superficiales, la señal que obtenemos de la función de correlación del ruido sísmico entre dos estaciones permitirá estimar la función de Green del medio entre ellas.

Los datos usados pertenecen a una red de 20 estaciones de banda ancha instaladas alrededor del volcán de Colima que estuvieron registrando de manera continua durante dos años. El experimento fue una colaboración entre las universidades de Fairbanks en Alaska y La Universidad de Colima.

Las funciones de correlación promedio de los registros de ruido fueron utilizadas para calcular las curvas de dispersión de velocidad de grupo del modo fundamental de onda de Rayleigh que permitieron estimar los tiempos de recorrido entre las estaciones. Los tiempos de viaje calculados para diferentes periodos se invirtieron para obtener mapas de velocidad de grupo para periodos entre 1 y 9 segundos. A su vez, esta distribución horizontal de velocidades de grupo se utilizó para localizar y representar gráficamente la distribución de las velocidades de cortante en profundidad

La distribución de las velocidades de grupo que estimadas para la parte superficial (para periodos de hasta 4 segundos), parece razonable. Podemos observar por ejemplo, un mínimo de Vg en la zona de la cuenca al noreste del volcán.

SIS-35 CARTEL

### APLICACIÓN DEL GPS : ANÁLISIS TEÓRICO DE LA DEFORMACIÓN CORTICAL COSÍSMICA DE LA ZONA DE SUBDUCCIÓN COLOMBIA-ECUADOR

Ramos Barreto Ana Lucía, Franco Sánchez Sara Ivonne y Iglesias Mendoza Arturo  
Instituto de Geofísica, UNAM  
anlramos@hotmail.com

La trinchera Colombo-Ecuatoriana está localizada en la esquina noroeste del continente de Sur América, donde tiene lugar la subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana. La zona es considerada tectónicamente compleja y es continuamente sometida a una intensa deformación cortical. La rápida convergencia en la zona (58mm/año) dió como resultado una serie de 4 grandes terremotos en el siglo XX: 1906 (Mw=8.8), 1942 (Mw=7.6), 1958 (Mw=7.7) y 1979 (Mw=8.2), tres de ellos con carácter tsunamigénico, afectaron las regiones costeras de Colombia y Ecuador. Desde el último evento en 1979, no se ha registrado en el área eventos de magnitud similar por lo que es considerada una zona con un riesgo sísmico potencialmente alto.

Mediciones de deformación cosísmica de la superficie de la tierra, obtenidas del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) puede proveer información crítica para conocer las áreas más sensibles a ésta y limitar la distribución geográfica de grandes desplazamientos en el plano de falla.

Considerando un mallado uniforme sobre las áreas de ruptura de los eventos y zonas adyacentes, realizamos un análisis teórico de la deformación cosísmica para dos escenarios de ruptura, usando un modelo simple de dislocación de Okada, implementado en el programa Dis3D. En base a las deformaciones cosísmicas máximas obtenidas, se propone una distribución de estaciones de una red GPS permanente que sea confiable y sensible a la deformación cortical asociada a los terremotos de la zona de subducción Colombo-Ecuatoriana.

SIS-36 CARTEL

### MÉTODO DE LOCALIZACIÓN MONO-ESTACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ¿SISMOS PEQUEÑOS DE COBERTURA LIMITADA?

Rojas Ledezma Armando, Gómez González Juan Martín y León Loya Rodrigo Alejandro  
Centro de Geociencias, UNAM  
arojas@geociencias.unam.mx

La forma tradicional de localización de sismicidad (método multi-estación), requiere que el evento sea registrado por al menos 3 estaciones con una buena cobertura azimutal y de distancia, para lo cual mientras más estaciones se tengan la precisión de la localización es mayor. Sin embargo, hay múltiples escenarios en los que esta condición no siempre se cumple, por ejemplo, debido a la magnitud mínima de detección de los instrumentos. De hecho, es común que en el caso de eventos locales de magnitud pequeña, no se tenga la energía necesaria para que el sismo sea registrado simultáneamente por varias estaciones. Otro caso es cuando se tiene una red sísmica pequeña o ésta se encuentra en una etapa temprana de instalación, por lo que generalmente se cuenta con pocas estaciones, y los eventos no son registrados en todas las estaciones disponibles. También se pueden mencionar las causas meteorológicas, antropogénicas y técnicas, entre otras. Frente a estas dificultades hay dos opciones, desechar los pocos datos registrados o tratar de "exprimirlos" al máximo, pese a las incertidumbres que ello implica y a los cuestionamientos que despierta. Frente a la decisión de analizar los pocos datos disponibles una alternativa es recurrir a la localización mono-estación. Este método aprovecha las 3 componentes de cada estación y utiliza los primeros arribos de las ondas P, así como la diferencia de tiempo de fase S-P. Ello permite estimar el azimut y la distancia fuente-estación, con ello se consigue una localización "relativa" que en muchos casos tiene una alta certidumbre. Con este método se puede aprovechar la cantidad limitada de datos. En otros casos, cuando se dispone de más datos, el mismo método se puede utilizar como multi-estación, ello permite analizar la resolución del método y ampliar el conocimiento sísmico sobre el área de estudio. Se aplicó el método mono-estación en algunas zonas intraplaca de México (Durango, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo), donde ha sido reportada sismicidad de baja magnitud, y existen varias de las dificultades mencionadas. Dicho método ha permitido localizar una importante cantidad de sismicidad, lo cual no se habría logrado con el método tradicional. Ello permitió ampliar el conocimiento sobre sismicidad en dichas regiones de tal manera que se pueden asociar algunas concentraciones de sismicidad con algunas estructuras geológicas cartografiadas o analizadas recientemente. Para que las localizaciones obtenidas con el método mono-estación sean confiables es recomendable contar con algunos epicentros obtenidos con el método tradicional, o bien tener conocimiento de alguna estructura sismogénica, para usarlos como referencia. Contar con algún parámetro de referencia permite "calibrar" el método e incrementa la certidumbre cuando se trabaja con datos de baja relación señal-ruido, pues ello dificulta marcar adecuadamente las fases primarias, lo que a su vez dificulta la determinación del azimut. Conociendo y acotando las dificultades el método mono-estación puede ser confiable y permitir una buena estimación de los epicentros.

SIS-37 CARTEL

### PANEL DE VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE UN EDIFICIO INSTRUMENTADO PARA EL MONITOREO DE SU SALUD ESTRUCTURAL

Núñez Leal Alejandra, Reyes Zamora Alfonso y Sánchez Rodríguez Julia  
CICESE  
anunez@cicese.mx

En este trabajo se presenta el estado actual del desarrollo de una interfaz de usuario, que permite el monitoreo sísmico en tiempo real, del edificio del puesto central de control del metro de la ciudad de México. La instrumentación del edificio consta de una red de 9 acelerómetros triaxiales instalados en tres de las cuatro columnas principales del edificio (sexto nivel, tercer nivel, planta baja) y tres instalados en una red vertical en el subsuelo: en superficie, a 20 y 40 metros de profundidad. El sistema de adquisición de datos tiene la capacidad para registrar con 24 bits de resolución, bajo una base común de tiempo (GPS) y en modo síncrono las 36 componentes de aceleración resultantes: 12 en la dirección del eje longitudinal, 12 en la dirección transversal y 12 en la dirección vertical, correspondientes a los tres ejes principales de rigidez de la estructura. El sistema esta interconectado a una PC, que almacena continuamente datos en formato grf y además funciona como un servidor de datos en tiempo real a clientes locales o remotos vía Internet

El Panel de Visualización es un cliente al cual el servidor le suministra archivos que contienen los 36 canales de registro de la vibración sísmica ambiental con una duración de dos minutos. Los registros se procesan en línea (tiempo semi-real): se convierten a formato ASCII en unidades de aceleración (gals); se remueve la componente DC para corregir por línea base; se aplica un filtro pasabajos a una frecuencia de corte de 20 Hz (o valores seleccionables por el usuario) para eliminar las altas frecuencias inducidas en los registros; se calcula su espectro de magnitud de Fourier sobre una longitud de 120 segundos. Las series de tiempo procesadas y sus espectros de Fourier se presentan en una Interfaz Grafica de Usuario (GUI), en la cual el usuario dispone de tres opciones para su presentación, esto es: Visualización de las tres componentes de aceleración por sitio de registro; por columna y componente de aceleración, y por nivel y componente de aceleración. El Panel además analiza continuamente los registros para "detectar eventos sísmicos", bajo un criterio simple de declaración de ocurrencia, cuando la aceleración rms de los registros excede valores preestablecidos esto es; si la aceleración en cualquiera de las tres componentes se excede simultáneamente en tres sitios elegidos por el usuario. En resumen el Panel de Visualización nos permite:

- Visualizar en tiempo semi-real la respuesta de la estructura ante la vibración ambiental o sismos de baja intensidad ( $> 1$  gal rms) en frecuencia y periodo
- Observar el comportamiento de la estructura antes, durante y después de la ocurrencia de un "evento sísmico".

La documentación de las propiedades dinámicas del edificio bajo vibración ambiental y de su respuesta ante sismos nos permitirá realizar un análisis detallado de la evolución de su comportamiento sísmico a través del tiempo y evaluar si existe la necesidad de efectuar obras de reforzamiento.

SIS-38 CARTEL

### ESTUDIO DE LA ATENUACIÓN SÍSMICA EN EL BLOQUE DE JALISCO, USANDO REGISTROS DE LA RED MARS

Mercado Martínez Sandra Inés<sup>1</sup>, Castro Escamilla Raúl<sup>2</sup>, Gómez González Juan Martín<sup>3</sup>, Montalvo Arrieta Juan Carlos<sup>3</sup>, Guzmán Speziale Marco<sup>3</sup> y Grand Stephen P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León

<sup>2</sup>Departamento de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

<sup>3</sup>Centro de Geociencias, UNAM

<sup>4</sup>The University of Texas at Austin, USA

simm.seni@gmail.com

Analizamos la atenuación del Bloque de Jalisco con registros de la red MARS (Mapping the Rivera Subduction Zone). En ésta región se instalaron 50 sismógrafos digitales de banda muy ancha en el período de enero de 2006 a junio de 2007. La distribución de las estaciones sísmicas permitió una buena cobertura azimutal en el área de estudio. La base de datos inicial para este estudio esta formada por 114 eventos en su mayoría corticales, con magnitudes que varían entre 2.8 y 5.4, y distancias hipocentrales entre 20 y 450 km. Como primer paso calculamos el espectro de amplitud suavizado para una ventana que contiene el 80% de la energía total de la onda S, junto con una discretización de frecuencias en el rango de 0.1 a 15.85 Hz. Para la estimación del factor Q y el análisis de las posibles fuentes de atenuación, fue necesario parametrizar las funciones de atenuación encontradas considerando formas analíticas de la dispersión geométrica, y la atenuación anelástica de las ondas S. Las funciones de atenuación fueron modeladas empíricamente usando la expresión:  $A(f, r) = G(r) \cdot e^{-\#fr/Q}$ , donde  $f$ ,  $r$ ,  $\#$  y  $G(r)$  son frecuencia, distancia hipocentral, promedio de velocidad de la onda S y la función de dispersión geométrica, respectivamente. Asumiendo que  $G(r) = 20/rb$ , encontramos que los coeficientes  $b$  y  $Q$  dependen de la frecuencia. Una vez estimado el factor Q,

éste fue depurado por áreas, en función de las características particulares de la sismicidad, lo cual ayudo a establecer una regionalización detallada de Q en esta parte del país. Los resultados preliminares muestran valores del factor Q regional que varían con la frecuencia entre 20 y 1500. También observamos variación de Q con respecto a la distancia de la trinchera Mesoamericana. Este estudio de Q complementará los estudios previos de sismicidad realizados en la región y servirá de base para estimaciones más precisas de efectos de sitio, así como para el análisis del efecto de amplificación local.

SIS-39 CARTEL

### ECUACIONES EMPÍRICAS PARA ESTIMAR LAS ACELERACIONES MÁXIMAS DEL TERRENO REGISTRADAS POR LA RED ACELEROGRÁFICA DE MEDELLÍN (RAM), COLOMBIA

Villalobos Escobar Gina y Castro Escamilla Raúl  
CICESE  
gvillalo@cicese.mx

La Red Acelerográfica de la ciudad de Medellín (RAM) se instaló como parte del proyecto de Instrumentación y Microzonificación Sísmica de la ciudad, ejecutado entre 1996 y 1999. Esta red está conformada por 21 estaciones en superficie y 1 estación profunda. De las 21 estaciones en superficie, 20 están equipadas con acelerógrafos modelo ETNA y una con un acelerógrafo modelo K2 de 6 canales, de Kinematics. Este último equipo tiene conectado un acelerómetro profundo FBA-23DH de Kinematics, instalado en un pozo que alcanza el basamento rocoso del valle donde se encuentra la ciudad de Medellín. La población de Medellín y su área metropolitana supera los tres millones cuatrocientos mil habitantes. En el pasado han ocurrido sismos de magnitud importante en regiones cercanas a la ciudad que han generado daños en estructuras, por lo que es evidente reconocer la importancia de estudiar las características de los movimientos del terreno generados en los diferentes suelos ya caracterizados en la ciudad.

En este estudio comparamos diferentes ecuaciones propuestas en la literatura para estimar la aceleración máxima del terreno (PGA). Encontramos que las relaciones propuestas por Joyner y Boore (1981) para el sur de California subestiman las aceleraciones registradas por RAM. Las relaciones de Akkar y Boomer (2010), obtenidas para la región del Mediterráneo y el Medio Oriente, y las de Bindi et al. (2006) para la región central de Italia, ajustan razonablemente bien las aceleraciones máximas para distancias epicentrales menores de 200 km, pero no para distancias mayores.

En este estudio analizamos más de 40 eventos, con magnitudes (MI) comprendidas entre 2.0 y 5.9, registrados por RAM entre enero de 2004 y julio de 2009 con el objeto de desarrollar, por primera vez, una relación para estimar PGA en Medellín. La ecuación empírica encontrada es consistente con las relaciones propuestas por Bindi et al. (2006) y Akkar y Boomer (2010), y ajusta mejor los datos a distancias mayores de 200 km.

Con el fin de analizar el efecto de sitio en las predicciones de PGA calculamos los cocientes entre las componentes horizontales y la vertical. Comparando los valores de PGA corregidos por este efecto encontramos que los valores de PGA disminuyen pero que la dispersión general de los datos aumenta.

SIS-40 CARTEL

### SISMICIDAD Y PARÁMETROS FOCALES DE LA ZONA COSTERA GUERRERO-OAXACA Y SU RELACIÓN CON EL CICLO SÍSMICO

Zavaleta Ramos Ana Belem y Quintanar Robles Luis  
Instituto de Geofísica, UNAM  
grifo@ciencias.unam.mx

En este trabajo se analiza la sismicidad con magnitudes  $M < 6$  en la zona costera de Guerrero-Oaxaca ocurrida en el período de 1998-2009. Para el período de 20/11/2008 a 31/12/2009, se utilizó una red sísmica temporal ubicada en las comunidades de Camotinchán, Jolotichán y Tlacoachistlahuaca, apoyándonos asimismo con las estaciones permanentes del Servicio Sismológico Nacional como las de Pinotepa Nacional, Oaxaca y Huatulco.

Se pretende con este análisis tener un mejor entendimiento de la micro sismicidad de la zona y, establecer una relación (si existe) con el ciclo sísmico mediante la determinación del Tensor de Momento Sísmico y la transferencia de esfuerzos en la etapa cosísmica. La región de estudio comprende la zona limitada por los 16° y 18° latitud Norte y 99° y 97° longitud Oeste. Durante el período diciembre 2008 a junio 2009 se han localizado en total 373 eventos cuyas magnitudes oscilan dentro del rango de  $M > 1.4$  a  $M < 6.0$ . La distribución epicentral muestra hasta el momento una acumulación de eventos en 2 zonas bien definidas, lo cual sugiere la existencia de sendas zonas de debilitamiento o "asperezas", las cuales ya habían sido reportadas por otros autores durante el llamado "doblete" de Ometepec de 2002 por Jaime Yamamoto, Luis Quintanar, Zenón Jiménez.

Los mecanismos focales determinados para los eventos con magnitudes  $M > 4$  muestran un fallamiento de tipo inverso en su mayoría, también hay fallamiento

normal. Los perfiles hipocentrales de la microsismicidad permiten delinear un ángulo de subducción de la placa de Cocos de aproximadamente 12° en la zona.

SIS-41 CARTEL

### INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO CORTICAL DE VELOCIDADES PARA LA PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS EN LA PARTE CENTRAL DE MÉXICO

Rocher Maliachi Ana<sup>1</sup>, Cruz Atienza Víctor M.<sup>1</sup> y Rivet Diane<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Université Joseph Fourier, France  
ana\_rocher@yahoo.com.mx

En los últimos tres años la aplicación de modelos de ruptura dinámica para la evaluación del peligro sísmico ha demostrado ser una herramienta muy poderosa. Predicciones hechas con este tipo de modelos explican mejor los movimientos fuertes observados que aquéllas obtenidas a partir de modelos de fuente cinemática. El modelado sísmico determinista sólo es posible si se cuenta con un modelo de velocidades del medio de propagación lo suficientemente detallado y validado. Asimismo, otras tareas de interés científico como la inversión del Tensor de Momentos Sísmicos (CMT) o la localización de eventos de subducción se verían beneficiadas si se contara con dicho modelo estructural. Con este trabajo se pretende integrar y validar un primer Modelo de Velocidad Comunitario (MVC) en la parte central de México.

A partir de estudios anteriores (e.g. Iglesias et al., JGR, 2010) hemos integrado un modelo cortical de velocidades en el estado de Guerrero desde la costa del Pacífico hasta el Valle de México. Para validar dicho modelo y determinar su frecuencia máxima de predicción hemos comparado sismogramas sintetizados y sismogramas reales en dicha provincia. Empleamos dos diferentes tipos de observaciones: 1) registros de eventos de subducción moderados cuya localización y solución del CMT son conocidas (Pacheco y Singh, JGR, 2010), y 2) funciones de Green reconstruidas a partir de la correlación cruzada de ruido sísmico ambiental (Rivet et al., EGS, 2010). Los sismogramas sintetizados fueron calculados utilizando un modelo numérico en diferencias finitas (FD) para la propagación de ondas visco-elásticas (Olsen et al., GRL, 2010).

Nuestra implementación de la fuente de dislocación puntual en el código en FD ha sido verificada comparando sismogramas con soluciones arrojadas por el método del número de onda discreto (DWN) (Bouchon, BSSA, 1981). Se presentarán comparaciones para diferentes mecanismos focales y medios de propagación canónicos. Asimismo, realizamos la implementación de la fuente puntual para una fuerza de cuerpo en la superficie libre con la que generamos las funciones de Green teóricas. Los sismogramas observados que empleamos para la validación del MVC y la determinación de su máxima frecuencia de predicción provienen de estaciones pertenecientes al Servicio Sismológico Nacional (SSN) y a un perfil de estaciones sísmicas distanciadas 5 km entre sí desde la costa de Guerrero hasta el Valle de México (i.e. experimento MASE, Pérez-Campos et al., GRL, 2008).

SIS-42 CARTEL

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL PARA CORRELACIONAR DATOS DEL VALOR B MEDIANTE LOS MÉTODOS EMR Y BC

López Briceño Ernesto<sup>1</sup>, Zúñiga Dávila Madrid F. Ramón<sup>2</sup>, Montalvo Arrieta Juan Carlos<sup>1</sup>, Velasco Tapia Fernando<sup>1</sup> y Soto Roberto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UANL

<sup>2</sup>UNAM

elopez@geociencias.unam.mx

La estadística tiene un papel muy importante dentro de muchas ciencias, y la sismología no queda exenta de la misma. El interés de los investigadores sobre la posibilidad de pronosticar efectos de eventos sísmicos ha ido aumentando debido a los graves daños que estos fenómenos pueden causar, como lo evidencian los casos recientes en Haití y Chile. Para la Sismología Estadística son objetivos primordiales lo relacionado con el peligro y el riesgo sísmico. Dentro de este tema, un parámetro muy importante es el conocido como "valor b", que está definido por la relación Gutenberg-Richter. Dicha relación representa el número de eventos acumulados (N) con respecto a las magnitudes (M). Cabe mencionar que la distribución de sismos representada por ésta relación es indicativa de un comportamiento autosimilar, lo cual es una propiedad de los fractales. Este es un parámetro básico en cualquier cálculo de probabilidad de ocurrencia de un sismo de cierta magnitud, pero su cálculo esta sujeto a incertidumbre ocasionada por varios factores (estaciones sísmicas antiguas y falta de datos), por lo cual los cálculos para diseñar estructuras sismorresistentes se pueden ver seriamente afectados.

Un parámetro crucial en el cálculo del valor b es la magnitud mínima de completitud. Existen varios métodos para el cálculo de dicho parámetro, entre los más robustos se encuentran el "Método de rango total de magnitudes (EMR)" y el "Método de mejor combinación (BC)", los que son abordados en el presente trabajo. En este estudio se muestran resultados de un análisis de regresión lineal

simple con el objeto de evaluar el comportamiento de los dos métodos. Debido a que el método EMR requiere de un mayor tiempo de cómputo, se espera encontrar una relación lineal que explique su variabilidad en función del regresor aleatorio que en este caso será el resultado del método BC. Se pretende mostrar las ventajas y posibles causas de error sistemático si se emplea el método BC en sustitución del EMR.

SIS-43 CARTEL

### ESTRATIGRAFÍA COSÍMICA EN SECUENCIAS LACUSTRES DEL GRABEN DE ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO

Velázquez Bucio Magdalena<sup>1</sup> y Garduño Monroy Víctor H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacan de San Nicolás de Hidalgo  
magda\_vb@yahoo.com.mx

Estudios realizados por diferentes investigadores a lo largo de todo el mundo demuestran que en los sedimentos acumulados en cuerpos de agua pueden registrarse todos los eventos de la evolución climática y geológica de las cuencas. Los depósitos lacustres son expuestos a deformación por efecto de los sismos, por lo que son excelentes registros de éstos. En áreas tectónicamente activas el efecto de los choques sísmicos relacionados a los movimientos de falla (rupturas cosísmicas) pueden ser impresos como estructuras deformadas en los sedimentos lacustres, cuando los eventos sísmicos exceden una cierta magnitud (>5) y si el estado litológico y composicional de los sedimentos lo permite, se da paso a la licuefacción. Los efectos sísmicos en un lago modifican su evolución, sobre todo cuando éstos forman parte del contexto tectónico activo de la zona.

Actualmente se introduce esta nueva metodología consistente en la interpretación de sismitas en los registros estratigráficos, la distribución espacial de éstas exhibe un gradiente de la perturbación definido por la intensidad de la deformación con lo que se deduce el grado de actividad sísmica y la proximidad de la fuente. Considerando que el Graben de Acambay ha registrado sismos de varios segmentos, es posible encontrar las características de sismos ocurridos a lo largo del tiempo, por lo que en el presente trabajo se tiene por objeto definir la evolución geológica y biológica del Graben de Acambay, situado en la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano. Este trabajo se basará en el estudio detallado de la estratigrafía de la zona y la identificación de paleosismos.

Además con la ayuda de las diatomeas fósiles, de la granulometría, estudio de facies, indicar las condiciones naturales y las relaciones espacio-temporales bajo las que ocurrieron los eventos sísmicos, así como las fluctuaciones en el nivel del lago, para ofrecer guías que ayuden a entender los factores ambientales ligados con rupturas cosísmicas (estratigrafía cosísmica), ocurridos durante el Mioceno-Actual.

SIS-44 CARTEL

### PERSPECTIVAS DE LA RED SISMOLÓGICA LANDA, EN QUERÉTARO: UNA NECESIDAD DE LA SISMICIDAD REGIONAL EN EL NE DE MÉXICO

León Loya Rodrigo Alejandro<sup>1</sup>, Rojas Ledezma Armando<sup>1</sup>, Gómez González Juan Martín<sup>1</sup> y Montalvo Arrieta Juan Carlos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL

rleonloya@geociencias.unam.mx

La red sismológica temporal Landa opera en el noreste de Querétaro desde noviembre de 2007. Actualmente consta de 7 estaciones dotadas con sismógrafos de velocidad triaxiales de periodo corto, con geófonos de 4.5 Hz, seis de ellos modelo GBV-316 y un instrumento SARA SL-06, de 16 y 24 bits respectivamente. Los principales objetivos de esta red, operada por el Centro de Geociencias de la UNAM, son: (a) monitorear la sismicidad intraplaca presente en la Sierra Gorda Queretana, relacionada a la reactivación de fallas pre-existentes contenidas en el deformado paquete sedimentario marino mesozoico (b) entender el estado de los esfuerzos que interactúan en esta parte del país. Para esto, se contempla a corto plazo ampliar la cobertura actual de la red. Las estaciones temporales se sustituirán por estaciones permanentes, cuyos instrumentos serán de mayor resolución y tendrán comunicación en tiempo real (c) aumentar la certidumbre en localizaciones, mejorar el modelo de corteza utilizado y calibrar las soluciones hipocentrales y magnitudes, comparando nuestras soluciones con los resultados reportados por otras redes. El estado actual de la cobertura en el monitoreo del NE de México es escaso, esto crea la necesidad de una o varias redes que colaboren en proyectos similares en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí e Hidalgo con ayuda de los gobiernos estatales y de protección civil. El panorama a mediano plazo, es contar con datos que permitan una mejor interpretación de la sismicidad en esta parte del país.

SIS-45 CARTEL

### ESTIMACIÓN DE LA DEFORMACIÓN COSÍSMICA E ANTROPOGÉNICA EN EL VALLE DE MEXICALI EN EL PERIODO 2006-2009, USANDO DATOS DE NIVELACIÓN Y IMÁGENES DE INSAR

Glowacka Ewa<sup>1</sup>, Sarychikhina Olga<sup>1</sup>, Robles Braulio<sup>2</sup>, Hernández Gutiérrez Carlos Iván<sup>3</sup>, Guzmán Miguel<sup>4</sup> y Mellors Robert<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CICESE

<sup>2</sup>IMTA

<sup>3</sup>UAS

<sup>4</sup>UABC

<sup>5</sup>SDSU

glowacka@cicese.mx

El Valle de Mexicali está ubicado en la frontera entre las placas América del Norte y Pacífico, y se caracteriza por alto nivel de sismicidad, actividad geotérmica y deformación tectónica. La subsidencia que ha sido monitoreada en el valle desde los años 70's, alcanza últimamente una tasa de 15cm/año y afecta la infraestructura de carreteras, vía de tren, canales de irrigación y terrenos de los poblados y campos agrícolas. Analizando los datos de subsidencia y información acerca la extracción de fluido en la zona de campo geotérmico Cerro Prieto, Glowacka (et al., 1999, 2005, 2010), concluyó que la alta magnitud del hundimiento está relacionada con el volumen de fluido extraído, mientras que la forma de la zona de hundimiento está controlada por la estructura tectónica del centro de dispersión Cerro Prieto. Desde 2006 se está observando aumento de sismicidad en la zona de estudio.

En el presente trabajo analizamos la sismicidad de la zona usando los catálogos de RESNOM, SCSN y Global CMT Catalog para obtener la información acerca la localización y el mecanismo focal de los sismos con magnitud mayor que 5.

Para evaluar la deformación vertical en el área de estudio usamos los datos de nivelación de primer orden, segunda clase, realizada en los años 2006 y 2009/2010. También usamos los resultados de observaciones de InSAR (Interferometry Synthetic Aperture Radar) realizadas con el satélite Envisat de ESA (European Space Agency) en diferentes periodos entre 2006 y 2009. Para obtener los datos de hundimiento total en la temporada 2006-2009 se calculó restante entre nivelación de 2010 y 2006, y eliminando datos de mojoneras reubicadas, se normalizó el hundimiento, para cada mojonera por separado, por diferencia en tiempo transcurrido entre ambas nivelaciones. Para obtener datos de hundimiento antropogénico se proyectaron los datos de imágenes de InSAR, tomados en el periodo sin ocurrencia de los sismos, a cada mojonera, y se normalizó el valor para temporada 2006-2009. Para el sismo de 2006 (Sarychikhina et al., 2009), el hundimiento modelado se proyectó también sobre las mojoneras.

Restando datos de hundimiento antropogénico y cosísmico conocido, se recibió el mapa de hundimiento cosísmico desconocido. El hundimiento restante comparamos con imágenes de InSAR de temporada equivalente. El hundimiento recibido puede ser causado por el movimiento relacionado con el mecanismo de los sismos mencionados, o, más bien, por la compactación de los sedimentos expuestos al sacudimiento por las ondas sísmicas.

SIS-46 CARTEL

### ESTUDIO DE LA DIFRACCIÓN DE ONDAS MEDIANTE LA DECONVOLUCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS EN POZOS

Cortés Ortiz Eduardo, Jiménez González Carlos y Pech Pérez Andrés  
Instituto Politécnico Nacional  
eduardo@hotmail.com

Las ondas difractadas generadas por las fronteras de valles aluviales contienen información relevante que puede contribuir de manera significativa en los procesos de inversión de parámetros, asociados al estudio del efecto de sitio. Cabe resaltar que la identificación de estas ondas puede resultar una tarea complicada debido a la naturaleza de las mismas, la distribución de receptores y al tipo de sismo.

En este trabajo, se simula la difracción de ondas mediante la solución al problema de la respuesta sísmica de un valle semicircular inmerso en un semi-espacio bajo la incidencia de ondas SH generadas por una fuente lineal. La formulación del problema es bidimensional, y la solución está expresada en términos de funciones de Bessel y Hankel.

La deconvolución de datos sintéticos, nos permitió identificar claramente en las trazas deconvolucionadas a los arribos difractados, y las funciones de transferencia correspondientes a estos arribos, nos permitieron establecer que las amplitudes de estos están expresadas en función de parámetros físicos.

Debido a que la deconvolución es un proceso que nos permite separar arribos, así como efectos, la deconvolución de eventos sísmicos registrados en pozos puede facilitarnos la identificación de ondas difractadas.

SIS-47 CARTEL

### EXPERIMENTOS DE SEÑALES ACÚSTICAS PRODUCIDAS POR UNA HIDROFRACTURA EN GELATINA A UNA PRESIÓN CONSTANTE

Mendoza Ponce Avith<sup>1</sup>, Rojas Ledezma Armando<sup>1</sup>, Cerca Martínez Mariano<sup>2</sup> y Zúñiga Dávila Madrid F. Ramón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias, UNAM

<sup>2</sup>Centro de Geociencias, UNAM

avith3@geociencias.unam.mx

El estudio del comportamiento de las fracturas es importante en muchas disciplinas, siendo un ejemplo el almacenamiento y transporte de hidrocarburos, agua, minerales, etc., así como los efectos en estructuras y obras civiles. Por otro lado, los procesos geodinámicos que moldean la Tierra en mucho tienen que ver con fracturas, sean estos eventos sísmicos, volcánicos o de deformación.

Para ahondar en el conocimiento de los procesos que gobiernan la generación y crecimiento de las fracturas, se diseñó un experimento controlado. El diseño experimental consistió en confinar gelatina (material análogo elástico homogéneo e isotrópico) en recipientes cilíndricos. Se colocó el recipiente sobre una base donde una aguja penetra la gelatina con el propósito de inyectar un líquido (se utilizó catsup debido a sus propiedades). La inyección se realizó a presión constante por medio de un servomecanismo. La fractura fue captada en imágenes fotográficas. El proceso de registro de las señales acústicas se efectuó colocando un micrófono en un extremo del recipiente conectado a una computadora con el fin de grabar dichas señales acústicas que se producían durante la ruptura.

En este trabajo se presentan resultados de la amplitud máxima y la duración para el total de los eventos acústicos registrados. Un resultado interesante fue que nuestros datos presentan una estadística frecuencia-magnitud muy similar a la que presentan los eventos sísmicos, es decir, obedecen la Ley de Gutenberg-Richter lo cual también es un probable indicio de comportamiento autosimilar o fractal.

