

Programación del V Curso de Invierno del Observatorio Sismológico de la UnB Espanhol

**Curso 1: Inversión de forma de onda para tensor de momento (ISOLA)**

Prof. Dr. Jiří Zahradník (Universidad Charles de Praga, República Checa), Prof. Dr. Efthimios Sokos (Universidad de Patras, Grecia), Prof. Dr. Ronnie Quintero (Observatorio Sismológico y Vulcanológico de Costa Rica), Prof. Dr. Juan M Gómez (Universidad Autónoma de México), Dra. Patricia Pedraza (Servicio Geológico Colombiano), Prof. Dra. Silvina Nascif Suvire (Universidad de San Juan), Prof. Dra. Silvana Spagnotto (Universidad de San Luis, Argentina), Prof. Dra. Celeste Bollini (Universidad de La Plata, Argentina), Dr. O'Leary Matos - (Centro de Estudios Sismológicos de Cuba), Dr Fabio Luiz Dias (Observatório Nacional), Dr. Juraci Mario de Carvalho (UnB), Prof. Dr. Lucas Vieira Barros (UnB)

16/11 - 20/11, 9:00 - 17:00

**Conferencia 1: Sismología urbana: cómo los sismómetros registran las actividades culturales**

Prof. Dra. Susanne Taina Ramalho Maciel (UnB)

16/11 - 17:00 - 18:00

**Conferencia 2: Gestión de riesgos y seguridad de presas**

Prof. Dr. André Pacheco de Assis (UnB)

17/11 - 17:00 - 18:00

**Conferencia 3: Análisis de datos del terremoto de Cartago, Costa Rica del 4 de mayo de 1910 y su posible relación con la actividad sísmica actual**

Profe. Dr. Ronnie Quintero (UNA - Costa Rica)

18/11 - 17:00 - 18:00

**Conferencia 4: Tomografía de forma de onda de alta resolución de América del Sur**

Msc. Bruna Chagas

19/11 - 17:00 - 18:00

**Conferencia 5: Historia del terremoto de Pacajus, efectos y consecuencias**

Msc. Francisco Brandão (Defensa Civil)

20/11 - 14:00 – 14:15

**Conferencia 6: Comportamiento ante terremotos, experiencia desarrollada en el marco de la aplicación de estándares de seguridad humana en las instituciones**

Ing. Natália Segura, Lobo (UNA, Costa Rica)

20/11 - 14:15 - 15:00

**Conferencia 7: Paleosismicidad y sismicidad histórica en el noreste de Brasil: implicaciones para el riesgo sísmico**

Prof. Hilário Bezerra (UFRN)

20/11 15:00 - 15:45

### **Conferencia 8: Noreste de Brasil: un laboratorio natural para estudios de sismicidad intraplaca**

Prof. Dr. Marcelo Assumpção (USP)

20/11 - 4:00 pm - 4:45 pm

### **Conferencia 9: Lanzamiento del libro: participación brasileña en el sistema de verificación del Tratado de Prohibición Total de Ensayos Nucleares - CTBT**

Prof. Dr. Lucas Vieira Barros

20/11 - 17:00 - 18:00

### **Curso 1: Inversión de forma de onda para el tensor de momento (ISOLA)**

Es la oferta de un curso a nivel de posgrado relacionado con la inversión de formas de onda para la obtención de los parámetros de fuentes de terremotos locales y regionales. Satisfará la demanda de conocimiento de los Geocientíficos de América Latina (LA) y otros lugares del mundo y será impartido por profesores de la UnB y externos. En el curso se utilizará el software ISOLA, desarrollado recientemente y ya con amplia aplicación en la inversión del Tensor de Momento, creado por los profesores que impartirán el curso (Jiří Zahradník & Efthimios Sokos).

### **Conferencia 1: Sismología urbana: cómo los sismómetros registran las actividades culturales**

En los últimos años, el estudio de fuentes urbanas se ha convertido en un campo activo de investigación en sismología, con los más variados objetivos. Es posible, por ejemplo, monitorear el tráfico en las grandes ciudades, registrar los movimientos de un número significativo de personas u obtener mapas de microzonificación. Además, con el avance de las técnicas de generación de imágenes de ruido ambiental, el diseño de fuentes urbanas es de gran interés para la comunidad científica. Los registros de movimientos urbanos son también un fuerte aliado en la divulgación científica, ya que la interpretación de la señal sísmica tiene un significado concreto, y muchas veces afectivo, para las personas. En esta conferencia mostraremos los resultados del análisis del ruido sísmico en Brasilia y los principales avances en esta área.

### **Conferencia 2: Gestión de riesgos y seguridad de presas**

La conferencia se centrará en las principales formas de ruptura y seguridad de las presas, introduciendo los conceptos de riesgos de ingeniería, tanto desde una perspectiva cualitativa como cuantitativa. Por lo tanto, se discutirá la métrica de riesgo, así como el concepto de costo general de la estructura. Finalmente, se discutirán aspectos de abordaje probabilístico, cuantificación de la probabilidad de fallos para los diferentes modos de ruptura de las presas, y monetización de la consecuencia de una posible ruptura y del propio riesgo, en un contexto de gestión del riesgo como toma de decisiones para la seguridad de la presa.

### **Conferencia 3: Análisis de datos del terremoto de Cartago, Costa Rica del 4 de mayo de 1910 y su posible relación con la actividad sísmica actual**

Históricamente la ciudad de Cartago y su vecindad, ha sido afectada severamente por eventos sísmicos superficiales de magnitud moderada a fuerte ( $5.0 \leq m_b \leq 6.2$ ), los cuales han provocado severos muertos y daños en la población y obras de infraestructura en esa zona. En el recuento realizado de esos sismos históricos, se encuentra el de Santa Mónica del 4 de mayo de 1910, registrado en la estación sísmica

ubicada en el Instituto Nacional en San José al ser las 18 horas con 47 minutos y 35 segundos (hora local).

La falla de Agua Caliente, ubicada a unos 10 km sur-suroeste de la Ciudad de Cartago ha sido considerada por algunos autores como la causante del terremoto de Santa Mónica de 1910; pero, la sismicidad actual registrada por la red sísmica del OVSICORI-UNA evidencia actividad sísmica en la parte oeste y central de la ciudad; por lo que otra fuente generadora del terremoto de 1910 y más cercana a la ciudad no puede ser descartada como posible fuente sismogeneradora del sismo de 1910.

Los datos registrados por la Red Sismográfica del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI-UNA) y las ubicaciones epicentrales de sismos corticales ubicados al este del Valle Central, evidencian actividad sísmica por debajo de la ciudad de Cartago, como por ejemplo el evento sísmico presentado el día 26/07/2014, registrado a las 05:49:50 (UTC), MI 4.4, ubicado en Taras de Cartago y que de acuerdo al análisis de modelaje de formas de onda para el tensor de momento, muestra como posible origen del sismo, una falla de corrimiento lateral izquierdo, vertical y rumbo SW, con parámetros rumbo/buzamiento/deslizamiento de  $230^{\circ}/85^{\circ}/-8^{\circ}$  y la cual se ubicaría unos dos km al oeste del centro de la ciudad o una falla de corrimiento lateral derecho con dirección NW, vertical y que cortaría la ciudad de NW a SE y con parámetros de rumbo/buzamiento/deslizamiento de  $321^{\circ}/82^{\circ}/-175^{\circ}$ .

El sismo indicado anteriormente, ha sido el de mayor magnitud registrado por el OVSICORI-UNA en el centro de la ciudad de Cartago, durante el período de registro de la Red y su localización concuerda con una de las direcciones principales señaladas por Pedro Nolasco Gutiérrez en el sismograma del sismo del 4 de mayo de 1910, al coincidir con el arribo de la onda primaria registrada en la estación sísmica ubicada en el Instituto Nacional en San José.

El epicentro del sismo del 26/07/2014 de las 05:49:50 (UTC), MI 4.4, que indica la presencia de fallas activas verticales y de corrimiento lateral con dirección NW o SW y la ubicación de sismicidad cortical al oeste y en el centro de la ciudad de Cartago, no pueden descartar una falla ubicada en ese lugar como la sismogeneradora del Terremoto de Santa Mónica del 4 de mayo de 1910, que destruyó Cartago, capital del país en aquel entonces.

Conociendo que con el terremoto de 1910 se alcanzaron intensidades en la Escala de Mercalli Modificada de IX en Cartago y que muchas condiciones físicas en la zona central del país se conservan, como lo evidenció el Terremoto de Cinchona del 8 de enero 2009 (Mw 6.1), ubicado a unos ~55 km de la ciudad de Cartago y que produjo similares efectos e intensidades de sismos históricos en aquella zona epicentral; ubican la ciudad con un alto grado de amenaza sísmica.

#### **Conferencia 4: Tomografía de forma de onda de alta resolución de América del Sur**

El continente suramericano está compuesto por varias unidades geológicas, desde su antigua plataforma precámbrica hasta la actual franja orogénica de los Andes. Sin embargo, la estructura de su litósfera y su dinámica de interacción con el manto son ampliamente debatidos y aún no

se comprenden completamente. El método de tomografía de forma de onda tiene el poder de resolver la distribución 3D de velocidades de la onda S, que son sensibles a la temperatura y composición de la corteza y el manto superior. Sin embargo, hasta hace poco, la distribución de los datos sísmicos era escasa y desigual.

El reciente crecimiento en la distribución de estaciones sísmicas de banda ancha en todo el continente, nos permite resolver desde estructuras de gran escala hasta estructuras de escala regional, como la subducción de la placa de Nazca y los límites entre cratones cercanos. Recolectamos todos los datos disponibles del continente de la base de datos abierta de IRIS, e incluimos estaciones de la Red Sismológica Brasileña y estaciones de las cuencas del Pantanal y Paraná-Chaco que forman parte del "Proyecto Temático 3 Cuencas" de la FAPESP. Complementamos estos datos con nuestro conjunto de datos de forma de onda global, que maximiza el muestreo de datos en una amplia gama de frecuencias y hace posible obtener información estructural detallada desde la corteza hasta la zona de transición.

El modelo de tomografía de velocidad S utilizado se resuelve con la información de ajuste de la componente vertical de la onda, calculada mediante el método de "Inversión Multimodo Automatizada" (AMI) de ondas superficiales, S- y múltiple S. Cada ajuste de onda proporciona un conjunto de ecuaciones lineales que describen el promedio 1D de las perturbaciones de velocidad en relación con un modelo 3D de velocidades de referencia dentro del volumen de sensibilidad del trayecto fuente-receptor. Luego, todas las ecuaciones se combinan en un gran sistema de ecuaciones lineales y se invierten juntas para obtener un modelo de ondas S y P isotrópicas y anisotropía azimutal. En este trabajo, combinamos los mapas de velocidad de la onda S con información geológica, ubicación de kimberlita, espesor de la zona de transición de la función del receptor y sismicidad. De esta manera obtenemos nueva información sobre la estructura y evolución de la litosfera, incluyendo cratones, cuencas intracrátónicas y la región de los Andes y su dinámica con la astenosfera.

### **Conferencia 5: Historia del terremoto de Pacajus, efectos y consecuencias**

El Estado de Ceará cuenta hoy con 62 (sesenta y dos) municipios afectados por terremotos, de diferentes magnitudes e intensidades. El "Terremoto de Pacajus", del 20/11/1980, catalogado como el mayor terremoto en el noreste de Brasil desde hace 40 años. Desde entonces se ha estudiado y aprendido mucho, son varias las formas en las que convivimos con este fenómeno, ya que no es posible pronosticar estos eventos. De una forma u otra, hay una preparación para vivir con ellos. ¿Es común que la tierra tiemble en Ceará? Manteniendo las proporciones adecuadas y haciendo una comparación con lo que sucede en Japón o Chile por ejemplo, hay una gran diferencia. Pero, aun así, no debemos dejar de tener cuidado al enfrentar este desastre. La magnitud de este terremoto fue de 5,2 en la escala de Richter y la intensidad alcanzó la VII en la escala de Mercalli modificada, que va de I a XII. Varias fueron las víctimas y daños materiales, solo que no hubo muerte. En la región epicentral se reconstruyeron 488 viviendas. Existe preocupación por el crecimiento de la población, ya que durante ese tiempo el número de habitantes se ha duplicado. En estos 40 (cuarenta) años, también siguiendo esta evolución, tuvimos la construcción en la zona epicentral de este evento habitacional sin obedecer ninguna norma de resistencia sísmica. Otro aspecto importante es que este evento tuvo lugar en la gran Fortaleza, ya que la región metropolitana de la capital de Ceará está compuesta por 19 (diecinueve) municipios, entre ellos Pacajus, donde, según el IBGE, viven aproximadamente 4,5 millones de habitantes.

### **Conferencia 6: Comportamiento ante terremotos, experiencia desarrollada en el marco de la aplicación de estándares de seguridad humana en las instituciones**

La Universidad Nacional de Costa Rica ha realizado en los últimos 10 años esfuerzos de capacitación para que sus colaboradores sean actores activos en las acciones de preparativos y respuesta ante los desastres, es por esta razón, que podemos en este 2020 presentar parte de los avances que se han obtenido en esta gestión. En esta presentación se mostrarán las prácticas implementadas en los componentes estructurales, no estructurales y funcionales en aras de avanzar en la resiliencia institucional.

Mostraremos las practicas más recomendadas a seguir por el colectivo ante los eventos sísmicos de diferentes magnitudes y lo estaremos relacionando con la importancia de la participación de todos los colaboradores, nuestros protocolos y la incorporación al quehacer ordinario de la Universidad.

Una sociedad preparada y con conocimiento, es un eslabón vital para la reducción de riesgos de los desastres; una sociedad más activa en el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres favorece la resiliencia social y a eso le apuesta la Universidad Nacional en el abordaje de la Gestión del Riesgo de Desastres desde el ámbito de preparativos y respuesta.

### **Conferencia 7: Paleosismicidad y sismicidad histórica en el noreste de Brasil: implicaciones para el riesgo sísmico**

En regiones intraplaca, la recurrencia de fallas tiende a ser mayor que el período monitoreado de manera instrumental. En esta conferencia se presentarán evidencias geológicas e históricas sobre la sismicidad en el noreste de Brasil. Inicialmente se mostrarán ejemplos de reportes científicos y fuentes periodísticas sobre sismicidad en la región desde 1808. Luego, se abordará la evidencia geológica. El mapa de fallas peligrosas de América del Sur, publicado recientemente en la revista *Journal of South American Earth Sciences* (doi: 10.1016 / j.jsames.2020.102837) se discutirá con énfasis en la metodología de mapeo de fallas para propósitos de riesgo sísmico, incluyendo ejemplos de fallas sin tasa de deslizamiento. También se discutirá la correlación entre sismicidad y fallas geológicas. Finalmente, se presentará evidencia de licuefacción. La conferencia concluirá con un análisis del riesgo sísmico en la región y sus implicaciones para Brasil.

### **Conferencia 8: Noreste de Brasil: un laboratorio natural para estudios de sismicidad intraplaca**

El Nordeste de Brasil, una de las regiones más activas sísmicamente, ha sido estudiada durante más de 40 años y tiene el mejor registro de las características de los terremotos brasileños: ocurren en los primeros 10 km de la corteza superior, generalmente bajo un régimen de tensiones transitorias de origen regional, y las áreas más activas se encuentran alrededor de la Cuenca Potiguar. Es la única región de Brasil donde algunas zonas de fallas antiguas están claramente en reactivación, como el Lineamiento de Pernambuco. A pesar de los grandes avances en la observación de los terremotos y en la descripción de sus características, se ha

avanzado poco en el conocimiento de las causas fundamentales de la sismicidad intraplaca, que es un desafío mundial y no solo en Brasil. La hipótesis explicativa más común implica algún tipo de concentración de esfuerzos en la corteza superior debido a la variación de la estructura lateral (adelgazamiento de la litosfera, esfuerzos de flexión, etc.). Pero son solo hipótesis generales aún por confirmar y que no pueden usarse en las proyecciones de amenaza sísmica.

Estos temas serán discutidos para la elaboración de mapas de amenazas sísmicas del Nordeste.

### **Conferencia 9: Lanzamiento del libro: participación brasileña en el sistema de verificación del Tratado de Prohibición Total de Ensayos Nucleares - CTBT**

El Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (TPCEN, CTBT por siglas en inglés) prohíbe la realización de explosiones nucleares a nivel mundial. El CTBT, aunque aún no está en vigor, cuenta con un Sistema de Monitoreo Internacional (IMS) basado en sensores geofísicos, capaz de detectar globalmente cualquier ensayo nuclear con una potencia igual o superior a 1 kt (kilotón) de TNT. Los sensores de la red mundial IMS utilizan cuatro tecnologías: sísmica, Infrasonido, Hidroacústica y Radionúclidos. Los datos de la red IMS se transmiten al Centro Internacional de Datos (International Data Center - IDC), ubicado en la ONU en Viena - Austria, donde son procesados, analizados e interpretados para identificar posibles señales relacionadas con explosiones nucleares clandestinas, así como para la emisión de boletines e informes sobre los hechos de interés para el cumplimiento del Tratado. Brasil, que ya firmó y ratificó el TPCEN, aporta datos de tres tecnologías: Sísmica, Infrasonido y Radionúclidos. El Observatorio Sismológico (SIS) de la Universidad de Brasilia (UnB) aporta datos de dos estaciones, una sísmica primaria y una infrasonica, ambas instaladas dentro del Parque Nacional de Brasilia (PNB). Los datos de estas estaciones se transmiten al SIS - UnB, donde se registran, analizan y retransmiten al IDC en Viena. Las otras estaciones IMS en Brasil son: dos estaciones sísmicas auxiliares, ubicadas en los estados de Rio Grande do Norte y Amazonas; dos estaciones de radionúclidos, ubicadas en Río de Janeiro y Recife (planificado), y un laboratorio de radionúclidos, ubicado en el Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD), también en la ciudad de Río de Janeiro. En este texto, presentamos brevemente el tratado CTBT, su sistema de verificación y la participación brasileña en su cumplimiento y vigilancia. Y, para apoyar las discusiones que se han llevado a cabo sobre la implementación del Centro Nacional de Datos (NDC por siglas en inglés) brasileña, también presentamos una descripción de una NDC, con definición, atribuciones y requisitos para el montaje y operación. Finalmente, se presentan los resultados del análisis de señales sísmicas e infrasonicas de la última explosión nuclear realizada por Corea del Norte, el 3 de septiembre de 2017, y la explosión accidental ocurrida en Beirut, el 4 de agosto de 2020.