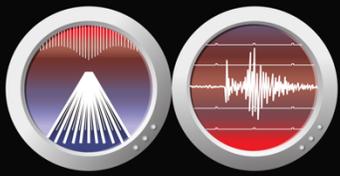


# Sismotectónica en Costa Rica Boletín anual



OVSICORI-UNA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN OBSERVATORIO  
VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE COSTA RICA

Universidad Nacional  
Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica



[WWW.OVSICORI.UNA.AC.CR](http://WWW.OVSICORI.UNA.AC.CR)

**Un total de 10,154 sismos fueron generados en el territorio costarricense durante el 2019**

**Junio es el mes sísmicamente más activo con 1286 eventos**

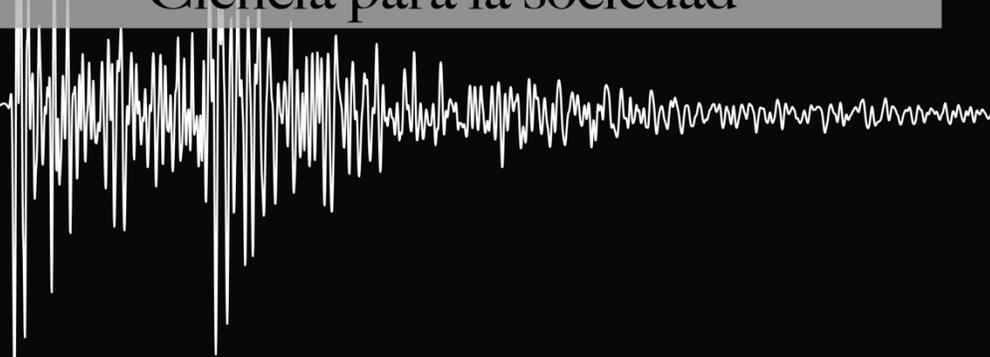
**El taller sobre Inteligencia Artificial y métodos de inversión aplicado a las ciencias de la Tierra.**

OVSICORI-UNA

Sismología | Tectónica | Vulcanología

Ciencia para la sociedad

Año 2019



# Contenido

<b>1. RESUMEN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>MATH + X SYMPOSIUM ON INVERSE PROBLEMS AND DEEP LEARNING, MITIGATING NATURAL HAZARDS</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ACTIVIDAD SÍSMICA EN COSTA RICA</b> .....	<b>4</b>
2.1. SISMICIDAD EN EL VALLE CENTRAL DE COSTA RICA.....	6
2.1.1. <i>El sismo de Desamparados de San José</i> .....	7
2.1.2. <i>El sismo de Santo Domingo de Heredia</i> .....	9
2.2. SISMICIDAD EN EL GOLFO DE NICOYA Y EL PACÍFICO CENTRAL.....	10
2.3. SISMICIDAD EN LA CORDILLERA DE TALAMANCA.....	11
2.4. SISMICIDAD EN EL PACÍFICO SUR Y PENÍNSULA DE BURICA.....	12
2.4.1. <i>Pacífico Sur</i> .....	12
2.4.2. <i>Península de Burica</i> .....	13
2.4.2.1. <i>El sismo del 12 de mayo, Mw=6.0, y su secuencia sísmica</i> .....	13
2.4.2.2. <i>El sismo del 26 de junio, Mw=6.3, y su secuencia sísmica</i> .....	13
2.5. SISMICIDAD EN EL CARIBE SUR.....	15

# Figuras

<b>FIGURA 1. RED SÍSMICA DE BANDA ANCHA (TRIÁNGULOS) Y MOVIMIENTO FUERTE (CÍRCULOS) DEL OVSICORI-UNA.</b> .....	<b>1</b>
<b>FIGURA 2. HISTOGRAMA MOSTRANDO LA CANTIDAD DE SISMOS LOCALIZADOS MENSUALMENTE POR LA RED SISMOGRÁFICA DEL OVSICORI-UNA DURANTE EL 2019. EL COLOR DE LAS BARRAS INDICA EL RANGO DE MAGNITUD DE LOS SISMOS LOCALIZADOS. EL NÚMERO TOTAL DE SISMOS LOCALIZADOS POR MES TAMBIÉN SE MUESTRA SOBRE CADA UNA DE LAS BARRAS.</b> .....	<b>2</b>
<b>FIGURA 3. MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA (CÍRCULOS) EN COSTA RICA DURANTE EL 2019. EL TAMAÑO Y EL COLOR DE LOS CÍRCULOS REPRESENTA LA MAGNITUD Y LA PROFUNDIDAD DEL EVENTO SÍSMICO, RESPECTIVAMENTE.</b> .....	<b>4</b>
<b>FIGURA 4. MOMENTO SÍSMICO ACUMULADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. EN LA FIGURA, LOS CÍRCULOS OSCUROS (EN COLOR AZUL) REPRESENTAN LA OCURRENCIA DE 18 SISMOS CON MAGNITUDES ENTRE 5.0 Y 5.9, MIENTRAS QUE LOS CÍRCULOS CLAROS (EN COLOR ROJO), INDICAN LA OCURRENCIA DE 2 EVENTOS CON MAGNITUDES IGUALES O MAYORES A 6.0, AMBOS UBICADOS EN LAS CERCANÍAS DE CORREDORES DE PUNTARENAS, EN LA PENÍNSULA DE BURICA. NÓTESE COMO LA MAYOR CONTRIBUCIÓN AL MOMENTO SÍSMICO GENERADO EN EL PAÍS DURANTE EL 2019, CORRESPONDE CON EL EVENTO DE CORREDORES Y SU SECUENCIA DE RÉPLICAS, QUE INICIÓ EL 26 DE JUNIO.</b> .....	<b>6</b>
<b>FIGURA 5. MAPA MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA SISMICIDAD EN EL VALLE CENTRAL DE COSTA RICA DURANTE EL 2019. DURANTE ESTE AÑO, LA ACTIVIDAD SÍSMICA ESTUVO CONCENTRADA PRINCIPALMENTE EN LOS CANTONES DE SANTO DOMINGO DE HEREDIA, MORA (EN CIUDAD COLÓN) Y DESAMPARADOS DE SAN JOSÉ Y HACIA EL OESTE DEL CANTÓN DE PARAÍSO DE CARTAGO.</b> .....	<b>7</b>
<b>FIGURA 6. EPICENTRO (PIN DE COLOR AMARILLO) DEL SISMO DE DESAMPARADOS DE SAN JOSÉ, ML=3.2, DEL 25 DE AGOSTO DEL 2019 A LAS 01:37:38, HORA UTC.</b> .....	<b>8</b>
<b>FIGURA 7. FUENTE SÍSMICA Y CAÍDA DE ESFUERZOS (11 MPA) CALCULADA PARA EL SISMO DE DESAMPARADOS DE SAN JOSÉ, ML=3.2, DEL 25 DE AGOSTO DEL 2019 A LAS 01:37:38, HORA UTC.</b> .....	<b>8</b>
<b>FIGURA 8. EPICENTRO (PIN DE COLOR AMARILLO) DEL SISMO DE SANTO DOMINGO DE HEREDIA, ML=3.2, DEL 15 DE SETIEMBRE DEL 2019 A LAS 23:22:16, HORA UTC.</b> .....	<b>9</b>
<b>FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN HIPOCENTRAL DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA (RELOCALIZADA) GENERADA EN EL GOLFO DE NICOYA Y FRENTE A LAS COSTAS DEL PACÍFICO CENTRAL DE COSTA RICA EN EL 2019. SE PRESENTA ADEMÁS SECCIONES TRANSVERSALES DE SISMICIDAD A LO LARGO DE LAS LÍNEAS O-O', S-S', C-C', D-D'. LA ORIENTACIÓN DE LOS DOS GRANDES CÚMULOS DE SISMICIDAD ES CONSISTENTE CON LA ORIENTACIÓN DE SUBDUCCIÓN DE MONTAÑAS SUBMARINAS. LOS POLÍGONOS COLOREADOS REPRESENTAN LAS REGIONES DONDE OCURRE LA MAYOR CANTIDAD DE DESLIZAMIENTO ASÍSMICO ACUMULADO POR TERREMOTOS LENTOS, LOS CUALES SON GENERADOS CADA 2 AÑOS O MENOS.</b> .....	<b>11</b>
<b>FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS FAMILIAS DE SISMOS REPETIDOS CONTINUAMENTE GENERADAS A LO LARGO DE LA ENTRADA AL GOLFO DE NICOYA Y EL PACÍFICO CENTRAL DE COSTA RICA DESDE EL 2010 Y QUE EVIDENCIAN UNA ALTA HETEROGENEIDAD EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MEDIO.</b> ...	<b>11</b>



**FIGURA 11.** TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO DE LOS EVENTOS DE MAYOR MAGNITUD OCURRIDOS EN TELIRE DE TALAMANCA DESDE EL 2010 HASTA FINALES DEL 2019. .... 12

**FIGURA 12.** DISTRIBUCIÓN HIPOCENTRAL DE LAS SECUENCIAS SÍSMICAS DE MAYO Y JUNIO EN LA PENÍNSULA DE BURICA DE PUNTARENAS. EN EL MAPA SE MUESTRA LA UBICACIÓN Y MECANISMOS FOCALES DE LOS DOS SISMOS DE MAYOR MAGNITUD OCURRIDOS EN COSTA RICA EN EL 2019, ADEMÁS DE SUS CORRESPONDIENTES SECUENCIAS DE RÉPLICAS RELOCALIZADAS MEDIANTE ALGORITMOS DE DOBLE DIFERENCIA. SE DESTACA EL MECANISMO FOCAL CARACTERÍSTICO DE LA SECUENCIA SÍSMICA. EN LA FIGURA SE MUESTRA ADEMÁS SECCIONES TRANSVERSALES O PERFILES DE SISMICIDAD A LO LARGO DE LAS LÍNEAS C-C', D-D', O-O' Y S-S', PERPENDICULARES A LA DIRECCIÓN DE LA TRINCHERA Y LAS LÍNEAS V-V', I-I' Y H-H', PARALELAS A LA DIRECCIÓN DE LA TRINCHERA. .... 14

**FIGURA 13.** DISTRIBUCIÓN EPICENTRAL Y MECANISMOS FOCALES PARA LOS SISMOS DE SIXAOLA Y BOCAS DEL TORO. SE MUESTRA ADEMÁS UN DIAGRAMA CON EL TIPO DE FALLAMIENTO CORRESPONDIENTE A CADA MECANISMO FOCAL. .... 15



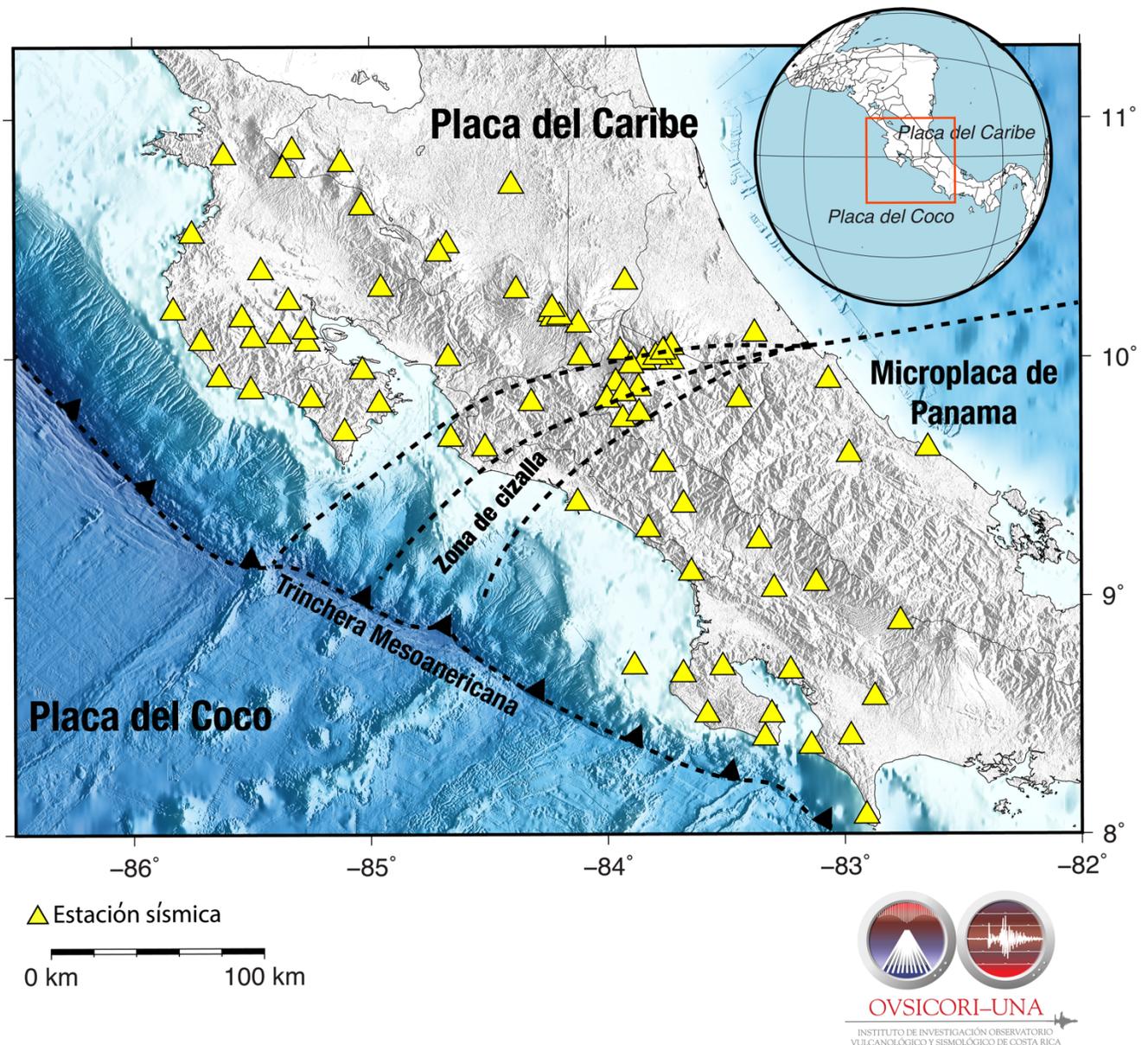


Figura 1. Red sísmica de banda ancha (triángulos) del OVSICORI-UNA.

## 1. Resumen general

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, adscrito a la Universidad Nacional, opera la red de instrumentación sismológica de banda ancha más densa de Latinoamérica con el fin de monitorear la actividad sismotectónica y volcánica del país (Figura 1). Durante el 2019, esta red, compuesta por 80 estaciones “state-of-the-art” localizó un total de 10,154 sismos con magnitudes locales que oscilan entre -1.0 y 6.3 en los límites del territorio costarricense.

De estos, 213 fueron reportados como sentidos por la población nacional a través de la página web y de las distintas redes sociales del Observatorio. Junio destaca como el mes sísmicamente más activo, con un total de 1,286 eventos, seguido por el mes de abril con 1,222 sismos. En enero, se localizaron únicamente 378 eventos, resultando ser este el mes sísmicamente menos activo del

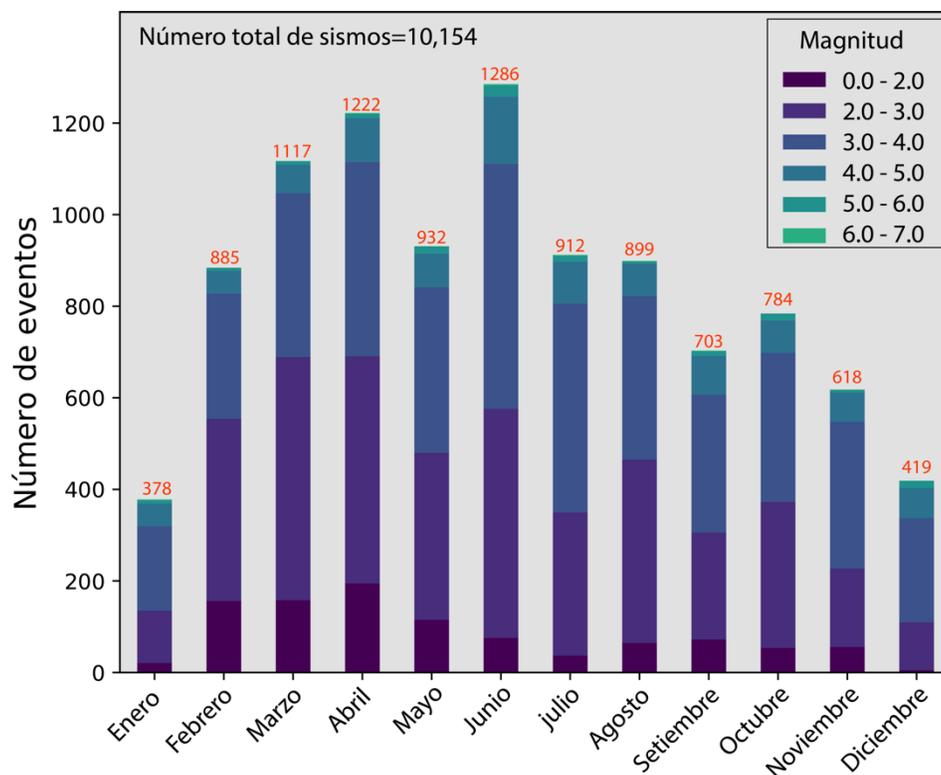
2019 (Figura 2). Aún nos encontramos trabajando en la completitud del catálogo sísmico para el mes de diciembre, por lo que la cantidad total anual de eventos aumentará considerablemente. A pesar de esto, el 2019 ha sido uno de los años más productivos en cuanto a la generación de eventos sísmicos desde la modernización de la red sísmica y sistemas de adquisición y localización del Observatorio. La tabla 1 resume la cantidad anual de eventos localizados y reportados como sentidos al OVSICORI-UNA desde el 2012.

Un total de  $\sim 7.3e18$  Julios de energía (equivalente a  $\sim 174e7$  toneladas de TNT) fueron generados de manera sísmica durante el 2019. La mayor contribución de energía esta dada por la ocurrencia de 2 sismos con magnitudes momento sísmico,  $M_w$ , mayores o iguales a 6.0, ambos ubicados en la península de Burica en Puntarenas y ocurridos el 12 de mayo ( $M_w=6.0$ ) y el 26 de junio ( $M_w=6.3$ ) respectivamente. La secuencia de réplicas de Corredores de Puntarenas que inició el 26 de junio a las 05:23:48, hora UTC, con la ocurrencia del sismo de Corredores,  $M_w=6.3$ , destaca como una de las secuencias sísmicas más productivas del año con más de 2500 eventos. Además, 18 sismos con magnitudes locales,  $M_l$ , entre 5.0 y 5.9, distribuidos a lo largo de todo el país, contribuyeron significativamente con la generación de momento sísmico.



**Grupo de sismología:**

Esteban J. Chaves, Marino Protti, Floribeth Vega, Christian Garita, Walter Jiménez, Carlos Sanchez, Danny Gutierrez y Hellen Solís.



*Figura 2. Histograma mostrando la cantidad de sismos localizados mensualmente por la red sísmográfica del OVSICORI-UNA durante el 2019. El color de las barras indica el rango de magnitud de los sismos localizados. El número total de sismos localizados por mes también se muestra sobre cada una de las barras.*

En general, Las regiones del **Valle Central**, la **entrada al golfo de Nicoya**, el **Pacífico Central y Sur**, la **cordillera de Talamanca**, la **Península de Burica** y el **Caribe sur** destacan como las regiones sísmicamente más activas del país. A continuación, se ofrece una descripción detallada de las principales fuentes o regiones sísmicamente activas durante este año.

# MATH + X SYMPOSIUM ON INVERSE PROBLEMS AND DEEP LEARNING, MITIGATING NATURAL HAZARDS

## WALLER SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y MÉTODOS DE INVERSIÓN APLICADO A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Las Catalinas, Guanacaste.  
29-31 de enero del 2020

### Resumen

Por primera vez a nivel internacional, El OVSICORI de la Universidad Nacional (UNA), en conjunto con la Universidad de Rice, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el Laboratorio Nacional de los Alamos (LANL), la Universidad de New York y la Universidad de Washington, se unen para crear un taller en Costa Rica, dedicado a la aplicación de la inteligencia artificial y los métodos de inversión para el mejoramiento de la comprensión de procesos naturales como terremotos, tsunamis, huracanes, cambio climático, entre otros.

Este evento único, reunirá por 3 días a los mejores científicos en el área de AI, métodos de inversión y procesos naturales, para la discusión del estado del arte y futuras aplicaciones de estos métodos de computación moderna en los procesos naturales que ocurren en la Tierra sólida y en la atmósfera.

Dada la coyuntura actual del país en términos del desarrollo de energías renovables, la descarbonización y el cambio climático, el taller viene a confirmar el liderazgo del país en estos temas en toda la región latinoamericana y nos coloca como uno de los primeros países a nivel mundial en fomentar este tipo de conversaciones científicas, así como la búsqueda de metodologías científicas para tratar de resolver problemas relevantes que tienen un impacto directo en la sociedad civil.

Para más información, los invitamos a visitar la página web del taller:

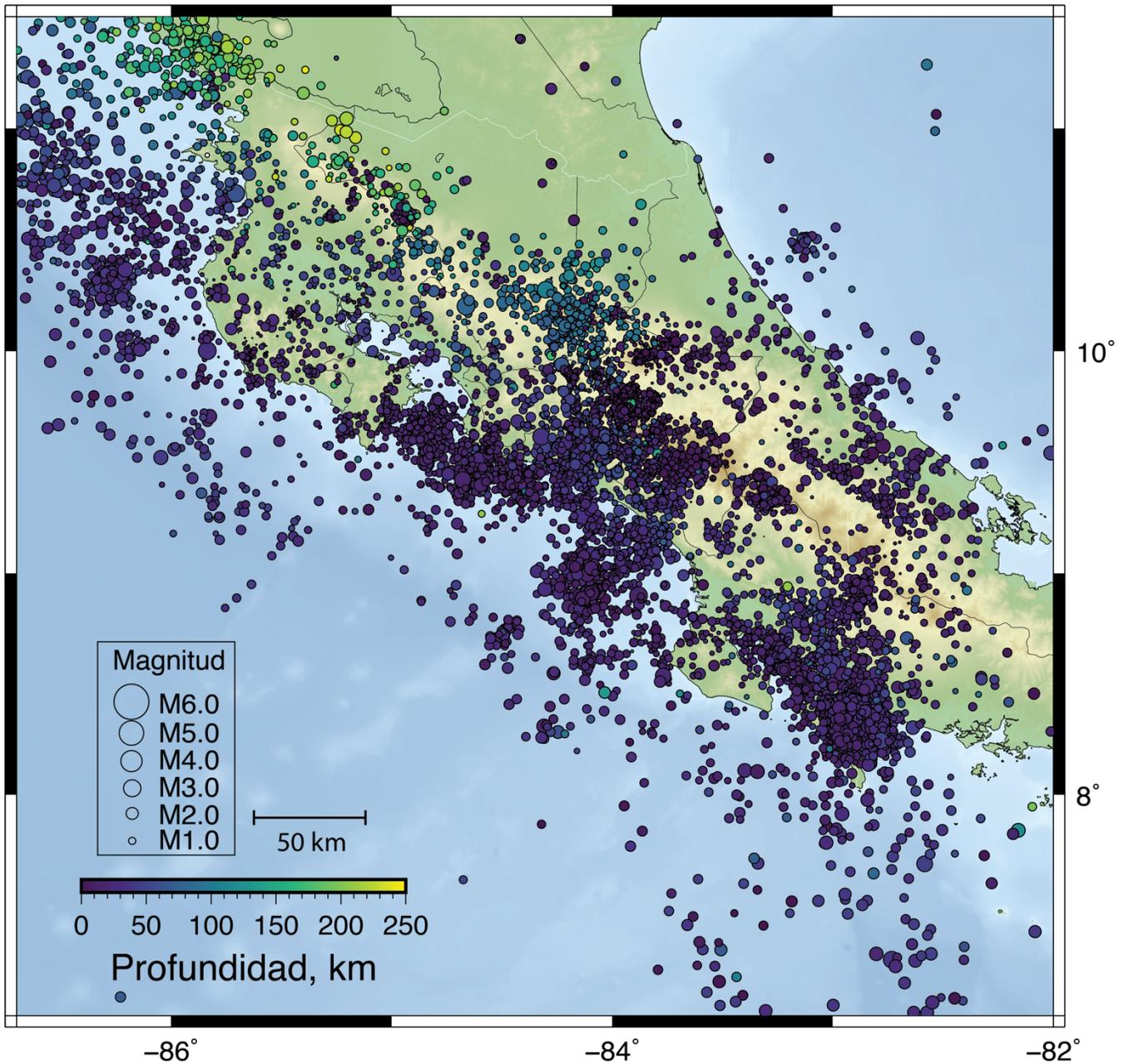
<https://earthscience.rice.edu/mathx2020/#>

### Abstract

Natural hazards, such as earthquakes, volcanoes, tsunamis, hurricanes, and results of climate change are of great scientific and societal interest. The Symposium focuses on deep learning and inverse problems, including monitoring, enabling the study of the processes associated with natural hazards, forecasting, natural disaster mitigation and early warning, exploiting the latest developments in data acquisition, inference, and modeling.

The challenge in modeling accurately the mentioned processes is not only one of computational power. Indeed, one needs to develop new approaches to describe the complexities of these natural systems and to understand the robustness and predictive capabilities of models that operate within complete information on the contributing processes. Often a cascade of events drives their behavior. While supervised learning assumes a fixed data distribution and task to be performed (that is, the same during training and testing), a growing problem of interest is the case of non-stationary environments, whereby both data and the tasks to be performed are no longer assumed fixed. Under such changing conditions, effective learning strategies must therefore be able to extract structural regularities across different data distributions and tasks – possibly thanks to physics-aware machine learning models. Causal inference is quickly becoming a major area of deep learning research, highlighting the need to go beyond passive observational models.

In the context of the Symposium, the interest is in exploring the role of causal inference in improving models for critical geoscience phenomena. Moreover, deep learning algorithms may advance ways to prepare relief efforts ahead of projected disasters. Complementary to early warning, deep-learning-based methodologies for planning processes, with different lead time scales for different types of disasters, could save lives and property.



*Figura 3. Mapa con la distribución espacial de la actividad sísmica (círculos) en Costa Rica durante el 2019. El tamaño y el color de los círculos representa la magnitud y la profundidad del evento sísmico, respectivamente.*

## 2. Actividad sísmica en Costa Rica

La distribución espacial de la actividad sísmica en Costa Rica durante el año 2019 se observa en la figura 3, donde cada círculo sobre el mapa representa un sismo cuyo tamaño y color indican su magnitud y profundidad, respectivamente. El 2019 ha sido uno de los años más productivos en cuanto a la generación de eventos sísmicos desde el 2012. El detalle anual de eventos localizados y reportados como sentidos al OVSICORI-UNA desde el 2012 se muestra en la tabla 1.

Durante el año que finaliza, la red sismográfica del OVSICORI-UNA localizó un total de 10,154 sismos, lo cual es equivalente a  $\sim 7.3 \times 10^{18}$  Julios de energía ( $\sim 174 \times 10^7$  toneladas de TNT). Dicha energía fue necesaria para poder lograr la dislocación en las fallas causantes, responsables de la sismogeneración de cada uno de los eventos mostrados en la figura 3.

Tabla 1. Cantidad de eventos localizados y reportados como sentidos al OVSICORI-UNA desde el 2012 hasta el 2019.

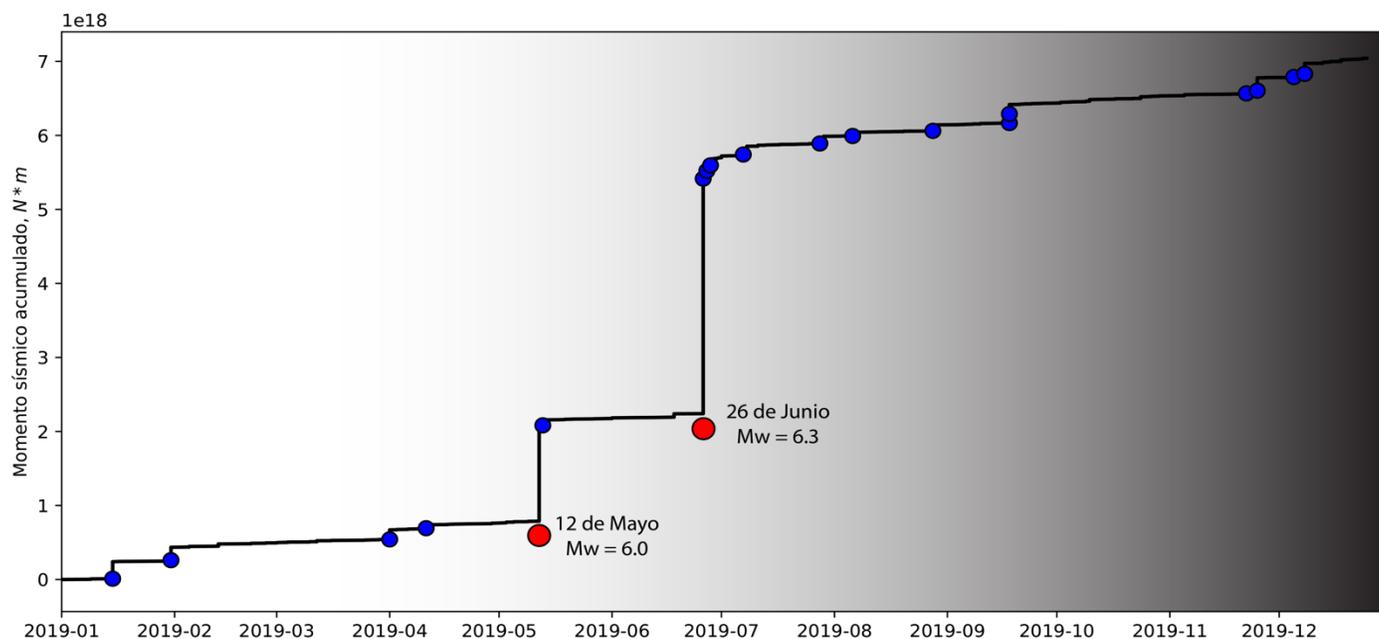
Año	Sismos localizados	Sismos sentidos
2012	7,665	116
2013	6,728	155
2014	7,429	122
2015	5,315	164
2016	5,495	169
2017	11,010	141
2018	9,892	175
2019	10,154	213

La distribución del momento sísmico acumulado en función del tiempo se muestra en la figura 4. El momento sísmico ( $M_0$ ) es una escala de medida que cuantifica el tamaño de un terremoto en términos del trabajo necesario para poder romper o desplazar una falla y es proporcional al área de ruptura del terremoto y el deslizamiento promedio de la falla:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot \bar{D} \quad (1)$$

Donde  $\mu$  representa el módulo de corte del material ( $\sim 30$  GPa),  $A$  es el área de ruptura de la falla y  $\bar{D}$  es el deslizamiento promedio de la falla generado con el sismo. Tal y como puede observarse en la figura 4, los círculos oscuros (en color azul) muestran la ocurrencia de 18 sismos con magnitudes entre 5.0 y 5.9, mientras que los círculos claros (en color rojo) resaltan la ocurrencia de los 2 temblores con magnitudes iguales o mayores a 6.0. Nótese que la mayor contribución al momento sísmico liberado durante el año se da con la ocurrencia del sismo de Corredores de Puntarenas,  $M_w=6.3$ , del 26 de junio a las 05:23:48, hora UTC, y su correspondiente secuencia de réplicas, de más de 2500 eventos, activa hasta el día de hoy.

En general, Las regiones del **Valle Central**, **la entrada al golfo de Nicoya**, **el Pacífico Central y Sur**, **la cordillera de Talamanca**, **la Península de Burica** y **el Caribe sur** destacan como las regiones sísmicamente más activas del país.



**Figura 4.** Momento sísmico acumulado en función del tiempo. En la figura, los círculos oscuros (en color azul) representan la ocurrencia de 18 sismos con magnitudes entre 5.0 y 5.9, mientras que los círculos claros (en color rojo), indican la ocurrencia de 2 eventos con magnitudes iguales o mayores a 6.0, ambos ubicados en las cercanías de Corredores de Puntarenas, en la península de Burica. Nótese como la mayor contribución al momento sísmico generado en el país durante el 2019, corresponde con el evento de Corredores y su secuencia de réplicas, que inició el 26 de junio.

### 2.1. Sismicidad en el Valle Central de Costa Rica

Durante este año, un total de 589 sismos con magnitudes locales,  $M_l$ , entre -2.0 y 4.3 (microsismicidad), ocurrieron sólo en el Valle Central de Costa Rica. La actividad sísmica estuvo concentrada principalmente en los cantones de Santo Domingo de Heredia, Mora (en ciudad Colón) y Desamparados de San José y hacia el Oeste del cantón de Paraíso de Cartago (Figura 5).

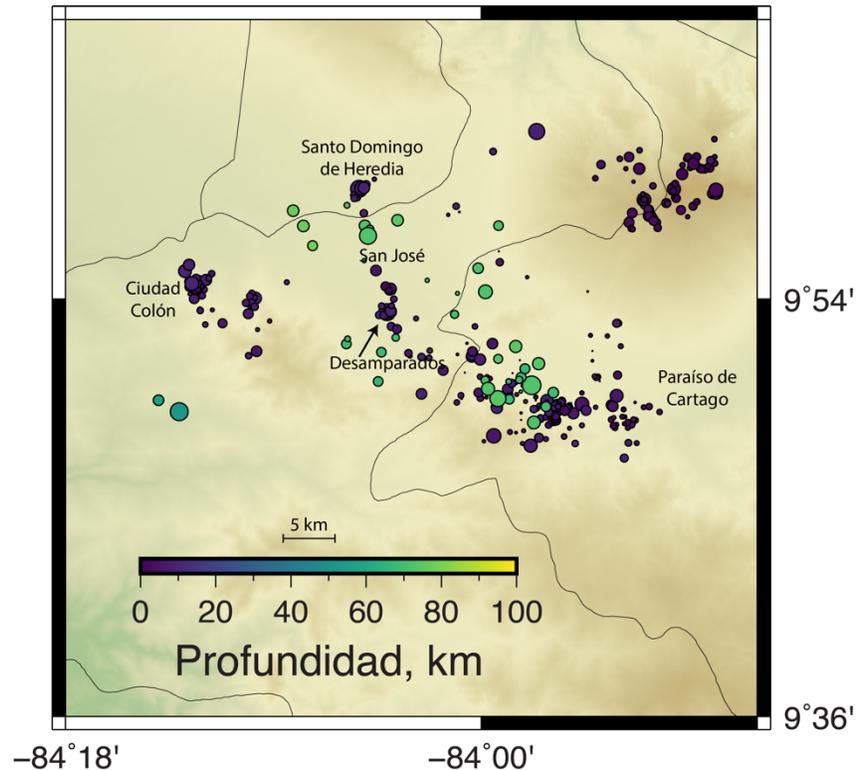
Sismos de baja magnitud ubicados en el Valle Central (por ejemplo,  $M_l < 3.5$ ) pueden ser percibidos por la población cuando su profundidad es somera y la liberación de esfuerzos es considerable. Generalmente, este tipo de sismos no ocasionan algún tipo de daño (material y/o humano), pero pueden alarmar y generar preocupación, principalmente entre la población más cercana a las regiones epicentrales.

La respuesta de las edificaciones en el Valle Central ante la ocurrencia de un sismo depende, además de la geología del medio, de la aceleración del suelo. La aceleración de la corteza es excitada principalmente por la radiación de alta frecuencia que es emitida por la fuente sísmica, las cuales, a su vez, dependen de la energía potencial elástica almacenada y eventualmente liberada con la ocurrencia del terremoto.

Actualmente, el OVSICORI-UNA se encuentra trabajando en la caracterización del potencial sísmico de las fallas activas distribuidas a lo largo del Valle Central de Costa Rica, el cual alberga alrededor del 70% de la población costarricense. El Gran Área Metropolitana (~2044 km<sup>2</sup>) por ejemplo, es la región más urbanizada y económicamente activa del país, donde convergen diversas instituciones públicas y privadas, entre las cuales se encuentran hospitales, escuelas y edificios empresariales, además de abundantes complejos residenciales.

Debido a la alta densidad urbanística, es prácticamente imposible poder reconocer visualmente, a partir de imágenes aéreas o bien en el campo, la traza y/o geometría de la mayoría de las

fallas activas que se ubican a lo largo de esta región. La microsismicidad y el estudio de su fuente sísmica, es entonces, fundamental para poder caracterizar la complejidad sismo-tectónica del Valle Central (la distribución y extensión de las fallas sísmicas) y hacer una mejor evaluación del potencial y riesgo sísmico con el propósito de crear ciudades más seguras.

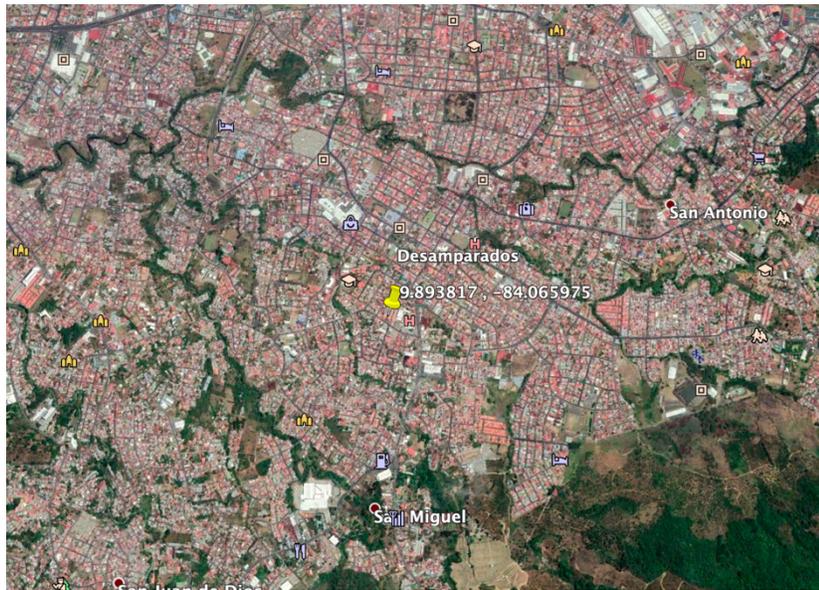


**Figura 5.** Mapa mostrando la distribución espacial de la sismicidad en el Valle Central de Costa Rica durante el 2019. Durante este año, la actividad sísmica estuvo concentrada principalmente en los cantones de Santo Domingo de Heredia, Mora (en ciudad Colón) y Desamparados de San José y hacia el Oeste del cantón de Paraíso de Cartago.

El sismo de Desamparados de San José del 25 de agosto y el sismo de Santo Domingo de Heredia, ocurrido el 15 de setiembre, son un ejemplo claro de dos temblores de baja magnitud ocurridos en cantones densamente poblados del Valle Central de Costa Rica. Ambos sismos fueron reportados como sentidos al OVSICORI-UNA por una gran cantidad de población ubicada en las provincias de Heredia, Alajuela y San José.

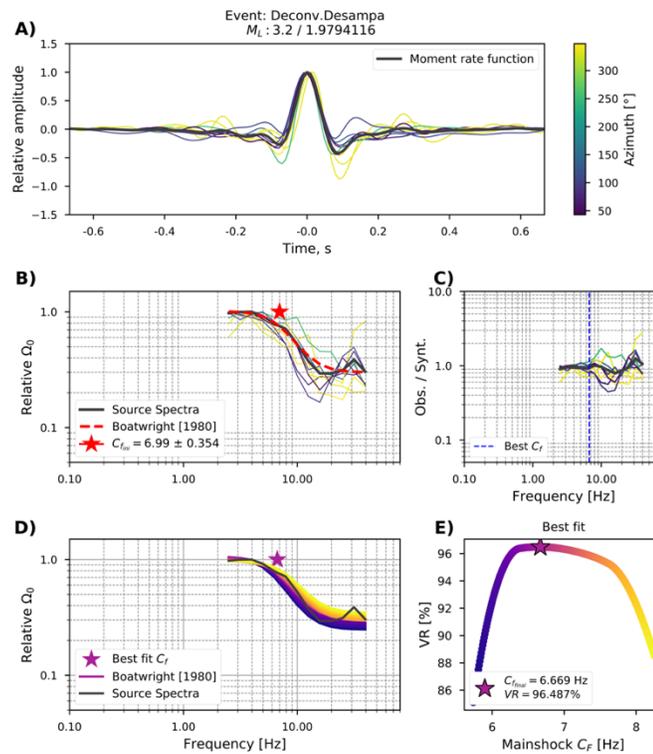
### 2.1.1. El sismo de Desamparados de San José

El sismo de magnitud  $M_I=3.2$ , del 25 de agosto a las 01:37:38, hora UTC, ubicado en Desamparados de San José, es un ejemplo claro de la importancia de la microsismicidad para la caracterización de los parámetros de fuente sísmica con el propósito de mejorar el entendimiento de los procesos tectónicos en una región tan compleja y densamente urbanizada y poblada, que de otra forma no podría ser evaluada en el campo.



**Figura 6.** Epicentro (pin de color amarillo) del sismo de Desamparados de San José,  $M_l=3.2$ , del 25 de agosto del 2019 a las 01:37:38, hora UTC.

Este evento tuvo una profundidad de 9.2 km, ocurrió en uno de los cantones más poblados de la provincia de San José (Figura 6) y fue ampliamente percibido por la población del Valle Central. A pesar de ser un evento de baja magnitud generó una caída de esfuerzos de 11 MPa, tal y como lo muestra el análisis de la fuente sísmica en la figura 7, una caída de esfuerzos lo suficientemente grande como para generar sacudidas moderadas en superficie.



**Figura 7.** Fuente sísmica y caída de esfuerzos (11 MPa) calculada para el sismo de Desamparados de San José,  $M_l=3.2$ , del 25 de agosto del 2019 a las 01:37:38, hora UTC.

### 2.1.2. El sismo de Santo Domingo de Heredia

El 15 de setiembre a las 23:22:16, hora UTC, ocurrió un sismo con una magnitud local de 3.20 a 7.5 km de profundidad. El epicentro de este sismo se ubicó en Santo Domingo en la provincia de Heredia, justo por debajo de una zona densamente poblada y urbanizada, en donde es prácticamente imposible identificar mediante imágenes aéreas o trabajo de campo, algún tipo de evidencia que permita caracterizar la traza de una falla activa (Figura 8).

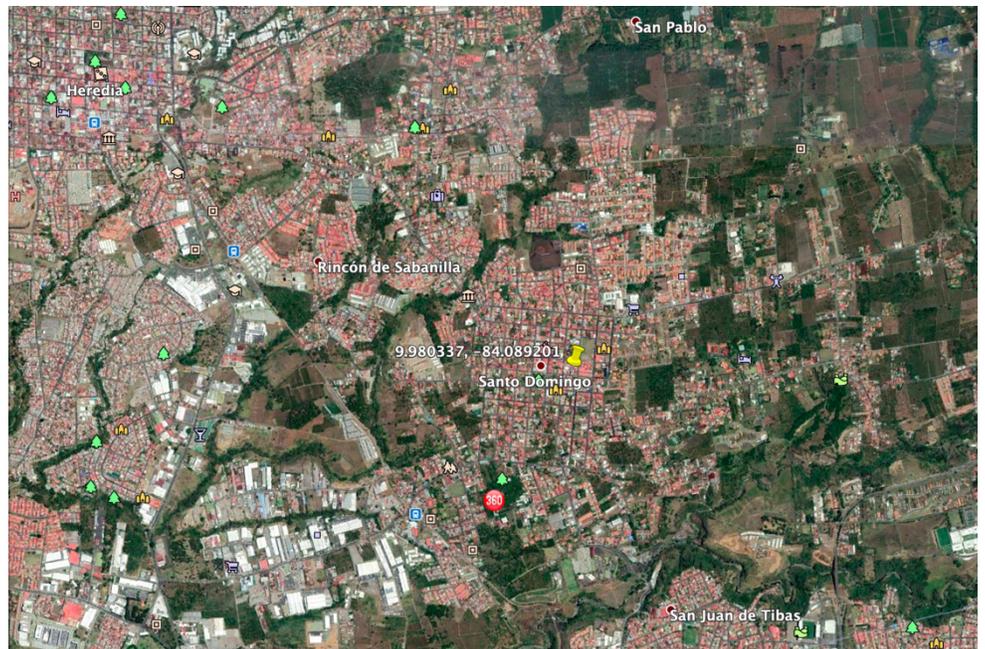
Este sismo fue ampliamente reportado como sentido al OVSICORI-UNA por la población del cantón de Santo Domingo y central de Heredia. A las 23:07:39, hora UTC, 15 minutos antes del evento principal, un sismo con magnitud  $M_l=1.6$  ocurrió en esta misma zona, a una profundidad similar. Este microsismo es un antecesor del evento principal. Un total de 4 réplicas fueron localizadas por la red sismográfica del OVSICORI-UNA posterior a la ocurrencia del sismo de Santo Domingo,  $M_l=3.20$ . El cálculo del mecanismo focal (strike=220; dip=85; rake=6) para este evento muestra que se trata de una falla con corrimiento de rumbo, una cinemática de deslizamiento consiste con el régimen de esfuerzos en el Valle Central del país, tal y como se mencionó anteriormente.



#### **Mecanismos focales (MFs) o bolas de playa:**

El MF, permite hacer una evaluación de primer orden sobre la geometría y cinemática de ruptura de una falla, además permite estudiar el estado o distribución de esfuerzos local y regional en la corteza.

El cálculo de MFs es esencial para poder hacer una caracterización completa de la fuente sísmica y generar más y mejores protocolos de riesgo y amenaza sísmica.



**Figura 8.** Epicentro (pin de color amarillo) del sismo de Santo Domingo de Heredia,  $M_l=3.2$ , del 15 de setiembre del 2019 a las 23:22:16, hora UTC.

En el OVSICORI-UNA enfatizamos en que la caracterización sismo-tectónica de la microsismicidad que ocurre en esta zona, al igual que en el resto de la GAM es crucial para el desarrollo de edificaciones y en general, ciudades más seguras.



## 2.2. Sismicidad en el golfo de Nicoya y el Pacífico Central

La entrada al golfo de Nicoya destaca como una de las regiones sismotectónicas más activas del país durante el 2019 (Figura 3). Generalmente, en esta región la actividad sísmica tiene un comportamiento de tipo enjambre (donde *no* hay un sismo principal claro que haya desencadenado una secuencia sísmica en cascada) dominado por micro-sismicidad, eventos con magnitudes locales entre  $M_l=0$  y  $M_l=3.5$ , localizados tanto a lo largo de la interfaz, donde la placa del Coco se subduce por debajo de la placa del Caribe y la microplaca de Panamá, como a lo largo de múltiples fallas activas localizadas en el interior de las montañas submarinas que se distribuyen en el canal de subducción, a profundidades de entre 17 a 35 km.

El proceso de subducción en esta zona es dominado por la inmersión de dichas montañas submarinas y rugosidades en la placa del Coco, las cuales contribuyen con la variabilidad en las propiedades mecánicas de la zona sismogénica y la distribución de las áreas efectivas de contacto elástico, donde los terremotos son generados. La figura 9 muestra la distribución hipocentral de la sismicidad en esta zona durante el año que recién finalizó. Puede verse como la sismicidad está muy bien separada en dos grandes cúmulos, uno justo en la entrada al golfo de Nicoya (CGN) y el otro hacia el Sureste, frente a las costas de Esterillos y Jacó de Puntarenas (CEJ).

Ambos grupos presentan una alineación aparente NE-SW, consistente con la dirección de subducción de los montes submarinos en la región. En la figura se destaca, además, secciones transversales o perfiles de sismicidad a lo largo de las líneas O-O', S-S', C-C' y D-D'. Los perfiles muestran la distribución de la sismicidad en profundidad para ambos cúmulos. Por ejemplo, el cúmulo CGN presenta sismicidad más profunda (15-28 km) con respecto al cúmulo CEJ (0-20 km). La distribución de la sismicidad en profundidad es importante porque permite caracterizar variaciones laterales y en profundidad de la geometría y propiedades mecánicas de la zona de subducción, donde además de generarse abundante microsismicidad (Figura 9), sismos de magnitud intermedia y terremotos lentos ocurren frecuentemente.



### ***Sismos repetidos o gemelos:***

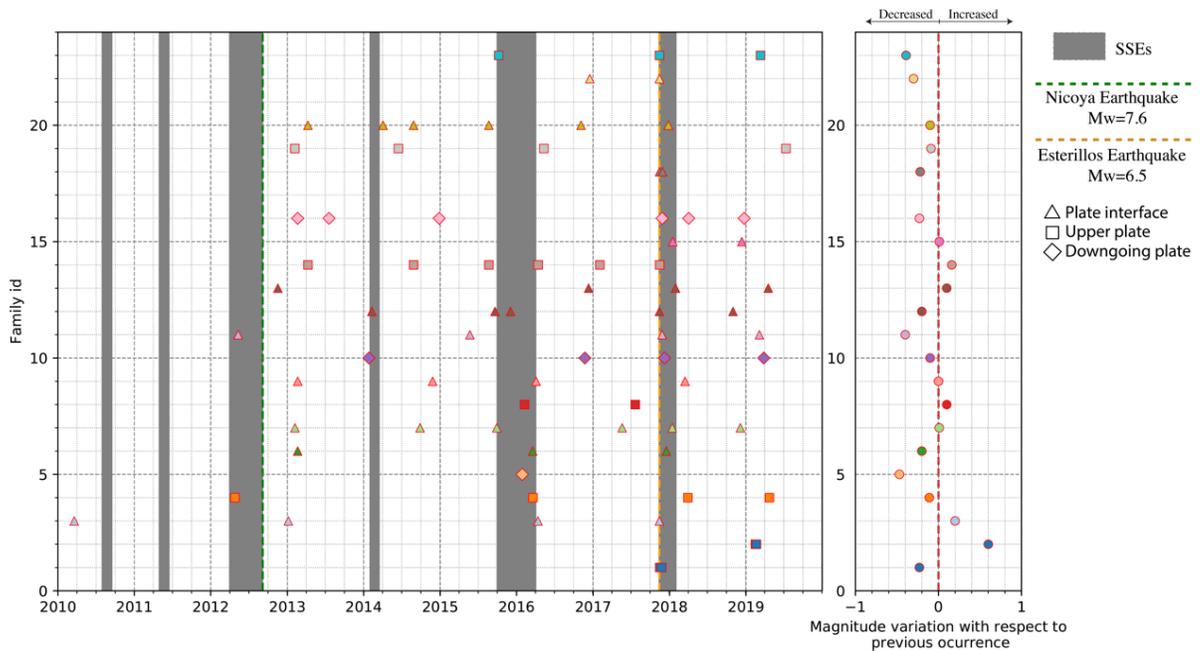
Eventos repetidos son sismos con formas de onda idéntica que ocurren en tiempos distintos. Una alta similitud en las formas de onda es indicativo de que los eventos son generados en el mismo parche o sección de falla la cual está siendo cargada elásticamente por deslizamiento asísmico

---

Investigaciones previas, utilizando instrumentación para el estudio geodinámico de la zona de subducción, han permitido observar una alta variabilidad en las propiedades de fricción a lo largo de la interfaz justo por debajo de la península de Nicoya, incluyendo el golfo de Nicoya, albergando por ejemplo no sólo actividad sísmica de magnitud intermedia y abundante microsismicidad, sino también terremotos lentos (sismos que tienen una duración de horas, días o meses y no generan radiación sísmica), y deslizamiento asísmico constante.

A pesar de que la zona sismogénica por debajo del golfo de Nicoya no tiene la capacidad para generar sismos con magnitudes ( $M_w$ , magnitud momento sísmico) mayores a 6.9, debido a la presencia de montañas submarinas que se subducen y la heterogeneidad mecánica (en sus propiedades de fricción, reología y heterogeneidades geométricas, etc.) del medio, observaciones recientes evidencian que es justo en esta zona, junto con el área que comprende Esterillos y Jacó, donde ocurre la mayor cantidad de deslizamiento asísmico generado por sismos lentos, los cuales ocurren con una frecuencia de dos años o menos, aproximadamente.

Un total de 23 familias de sismos repetidos (descubiertas recientemente por el OVSICORI-UNA) con un periodo de retorno de aproximadamente un año o menos (figura 10), son evidencia de los cambios en las propiedades mecánicas del material a lo largo del canal de subducción y de fallas localizadas en las montañas submarinas que se subducen en esta zona.

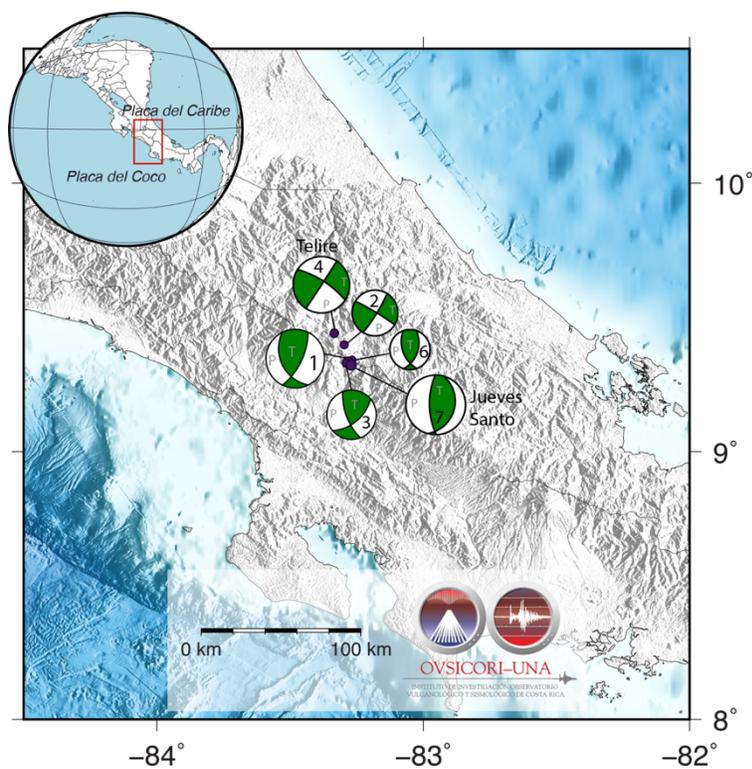


**Figura 9.** Distribución temporal de las familias de sismos repetidos continuamente generados a lo largo de la entrada al golfo de Nicoya y el Pacífico central de Costa Rica desde el 2010 y que evidencian una alta heterogeneidad en las propiedades mecánicas del medio.

### 2.3. Sismicidad en la cordillera de Talamanca

El 29 de marzo a las 8:52, hora local de Costa Rica, se generó un sismo de magnitud local,  $M_l=4.30$  ( $M_w=3.70$ ) en el cantón de Telire de Talamanca que generó una secuencia de réplicas de decenas de sismos. El evento principal fue generado en una falla local de rumbo (strike=33; 303, dip=89; 73, rake=17; 179), a 5 km de profundidad y fue precedido por un sismo de magnitud  $M_l=3.03$  y ampliamente sentido en el Valle Central debido que el desplazamiento de la falla causante generó una caída de esfuerzos de 25 Mpa (254.93 kg/cm<sup>2</sup>).

Por ejemplo, en Alajuela fue reportado como sentido en los cantones de Naranjo, Grecia, Poás, el Coyól y Zetillal. En San José, los vecinos de San Pedro, Escazú, Coronado y Guadalupe también reportaron el evento. En Heredia fue reportado en los cantones de El roble y Santa Bárbara. De igual manera, fue reportado en Taras de Cartago, Palmar Norte, Perez Zeledón y Coto Brus. Tanto la distribución hipocentral de estos eventos como la inversión completa de formas de onda, sugiere la existencia de una alta heterogeneidad en el régimen de esfuerzos local. Múltiples fallas locales con profundidades que van desde los 5 hasta los 13 km y con geometrías de ruptura variables, son la fuente generadora de esta secuencia sísmica (Figura 11).



**Parámetros de sismo**

1.	2010-08-27T14:52:22,	Mw= 3.72,	Z=11.00 km
2.	2011-10-10T00:16:08,	Mw=3.51,	Z=5.00 km
3.	2017-12-31T13:38:14,	Mw=3.68,	Z=11.00 km
4.	2019-03-29T14:54:11,	Mw=3.70,	Z=5.00 km
5.	2019-04-01T13:44:00,	Mw=4.65,	Z=17.00 km
6.	2019-04-03T05:28:39,	Mw=3.48,	Z=10.00 km
7.	2019-04-18T07:25:37,	Mw=3.79,	Z=6.00 km

**Figura 10.** Tensor de momento sísmico de los eventos de mayor magnitud ocurridos en Telire de Talamanca desde el 2010 hasta finales del 2019.

## 2.4. Sismicidad en el Pacífico Sur y Península de Burica

### 2.4.1. Pacífico Sur

La actividad sísmica a lo largo del Pacífico sur del país, principalmente frente a las costas de Quepos y Uvita de Puntarenas (Figura 3), se caracterizó por tener magnitudes locales (MI) que oscilan entre -1 y 5.0, y cuya profundidad no supera los 35 km. En su mayoría, esta sismicidad se da a lo largo de la interfaz donde la placa oceánica del Coco se subduce por debajo de la microplaca de Panamá en una zona muy particular, donde existe una alta complejidad geométrica debido a la subducción de montañas submarinas y rugosidades de la placa oceánica del Coco. A lo largo de esta región sur del país, las fuentes sísmicas se encuentran localizadas en asperezas relativamente débiles que descargan esfuerzos de manera muy frecuente y de forma muy compleja debido a la heterogeneidad intrínseca del medio.

Destacó además la ocurrencia de un evento con magnitud momento sísmico (Mw) igual a 4.4, el día 12 de mayo a las 19:01 pm (hora local) y con una profundidad del centroide de 30 km, generado por un fallamiento interno en la microplaca de Panamá de tipo transcurrente, con movimiento de rumbo dextral, tal y como lo indicó el mecanismo focal generado mediante la inversión regional de tensor de momento sísmico (RCMT). La solución RCMT es consistente con el régimen de esfuerzos local generado por la deformación impuesta por el proceso de subducción de la placa del Coco por debajo de la microplaca de Panamá. El epicentro de este

sismo se ubicó 11 km al norte de Parrita y fue ampliamente sentido por la población del Pacífico Central, el Valle Central y San Carlos.

#### 2.4.2. Península de Burica

##### 2.4.2.1. El sismo del 12 de mayo, $M_w=6.0$ , y su secuencia sísmica

El día 12 de Mayo a la 1:24 de la mañana (hora de Costa Rica) ocurrió un sismo con magnitud  $M_w=6.0$ , ubicado 3 km al Oeste de Paso Canoas de Corredores de Puntarenas y con una profundidad de 17 km (Figura 12). El deslizamiento generado por este sismo tuvo una duración de 5 s y la fuente generadora correspondió con la parte subducida de la zona de fracturas de Panamá, un sistema de fallas transcurrentes con rumbo dextral que se sumerge por debajo de Costa Rica (microplaca de Panamá), justo en el borde fronterizo con Panamá. Esta zona de fracturas representa el límite o frontera entre las placas del Coco (al Oeste) y la placa de Nazca (al Este).

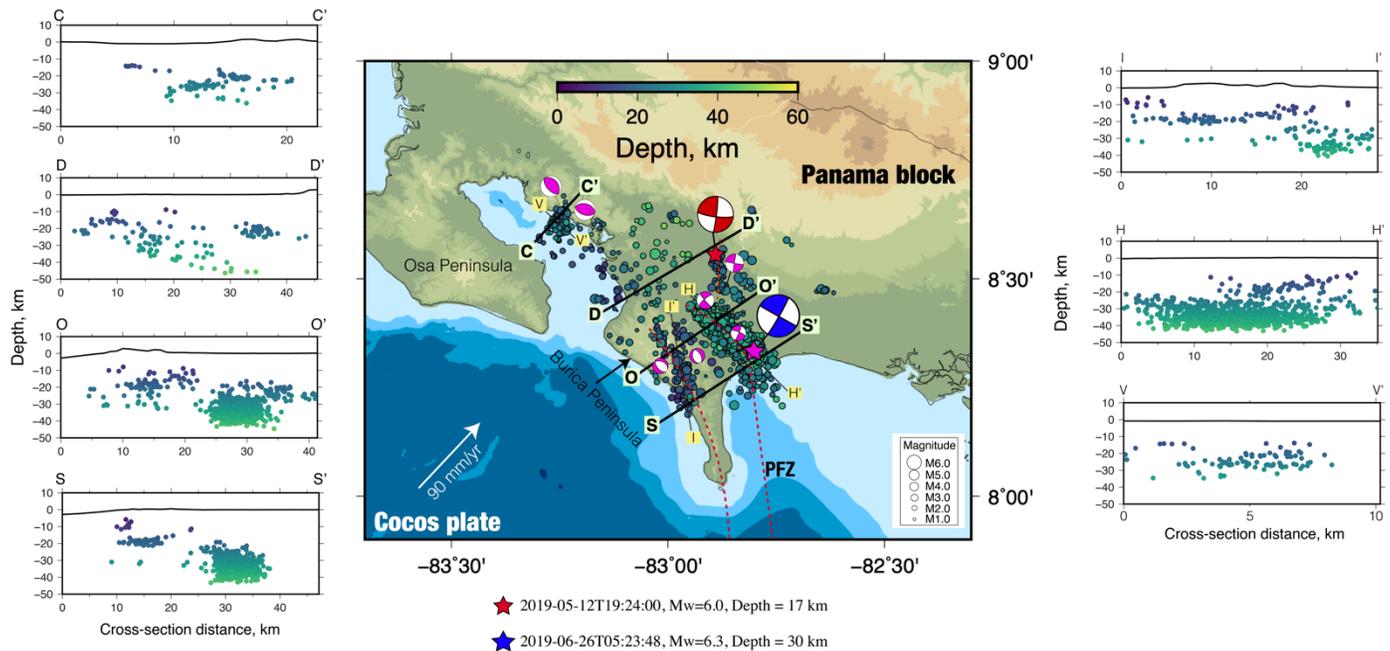
Se reportó la afectación de casas y estructuras eléctricas en Puerto Armuelles, San Bartolo, Agua Buena, Rio Mar y San Vicente de Panamá, debido a las altas aceleraciones experimentadas en superficie debido a la ocurrencia del terremoto<sup>1</sup>. También, este sismo fue sentido fuertemente en Costa Rica por los pobladores de Paso Canoas, Ciudad Neily, Golfito y Río Claro. Los pobladores de Pérez Zeledón, Limón, Cóbano y el Valle Central reportaron al OVSICORI-UNA haber percibido el evento con una intensidad moderada.

##### 2.4.2.2. El sismo del 26 de junio, $M_w=6.3$ , y su secuencia sísmica

La actividad sísmica en Costa Rica desde finales del mes de junio se encontró mayormente concentrada a lo largo del área de ruptura del sismo de Corredores de Puntarenas, que ocurrió el 26 de junio a las 05:23:47 hora UTC (Figura 12).

---

<sup>1</sup> <https://cnnespanol.cnn.com/2019/05/12/panama-terremoto-sismo-cost-rica-frontera/>.



**Figura 11.** Distribución hipocentral de las secuencias sísmicas de mayo y junio en la Península de Burica de Puntarenas. En el mapa se muestra la ubicación y mecanismos focales de los dos sismos de mayor magnitud ocurridos en Costa Rica en el 2019, además de sus correspondientes secuencias de réplicas relocalizadas mediante algoritmos de doble diferencia. Se destaca el mecanismo focal característico de la secuencia sísmica. En la figura se muestra además secciones transversales o perfiles de sismicidad a lo largo de las líneas C-C', D-D', O-O' y S-S', perpendiculares a la dirección de la trinchera y las líneas V-V', I-I' y H-H', paralelas a la dirección de la trinchera.

Este terremoto indujo un cambio en la distribución de esfuerzos estáticos a lo largo de fallas o secciones de falla en la vecindad del área de ruptura del evento principal, provocando el deslizamiento inestable en algunas fallas y generando “réplicas” o bien inhibiendo el deslizamiento en otras secciones de falla. En su mayoría, los eventos mostrados en el mapa de la figura 12, en Corredores de Puntarenas, corresponden con réplicas del sismo del 26 de junio y marcan un plano aparente con orientación NW-SE y delimitan el área de ruptura del sismo principal. Muchos de estos eventos tienen mecanismos (o geometría) de ruptura variables y continuarán ocurriendo durante las siguientes semanas o meses.

La secuencia sísmica que inició con la ocurrencia del terremoto del 26 de junio se caracterizó por ser actividad sísmica más productiva del año, generando miles de réplicas en comparación con el sismo del 12 de mayo que desencadenó pocos cientos de eventos.

La relocalización por doble diferencia de la sismicidad en la Península de Burica desde el 26 de junio hasta la fecha se observa en la figura 12 donde se muestra un mapa y 7 secciones transversales (o perfiles) que destacan la distribución hipocentral de la actividad sísmica. Tal y como puede observarse en la figura, el perfil C-C' muestra un alineamiento principal con eventos que se ubican entre 20 y 30 km de profundidad. Esta sismicidad tiene una geometría de ruptura predominante de tipo inversa según la solución del tensor de momento sísmico para los eventos de mayor magnitud en esta región (Figura 12) y corresponde con sismicidad generada en el interior de la placa del Coco debido al proceso de subducción por debajo de la microplaca de Panamá.

A lo largo del perfil O-O' se distingue dos grupos, uno ubicado a distancias entre los 0 y 20 km, con profundidades que van desde los 10 km hasta los 30 km. Los eventos más superficiales en este grupo corresponden con sismicidad generada en la interfaz debido a la subducción de la placa del Coco por debajo de la microplaca de Panamá. Eventos por debajo de los 10 km son generados por la deformación interna de la Placa del Coco. Por el contrario, eventos ubicados por encima de los

10 km, son sismos generados en la placa cabalgante. En el interior de la microplaca de Panamá (Figura 12). El otro grupo de eventos importante en este perfil se ubica a distancias entre los 23 y 40 km, con profundidades que van desde los 25 hasta los 45 km. En su mayoría, estos eventos presentan mecanismos focales con geometría de tipo corrimiento de rumbo (Figura 12), y son generados en la porción subducida de la zona de fracturas de Panamá por debajo de la Microplaca de Panamá, aunque existen muchos eventos con mecanismos focales que presentan geometría de ruptura distinta.

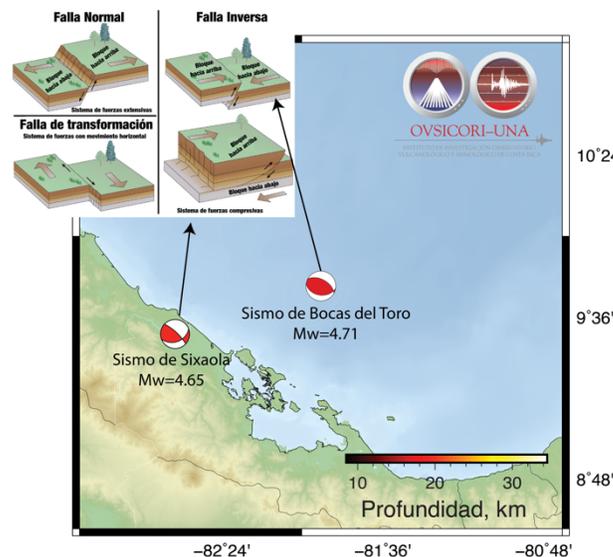
Similarmente, el perfil de eventos a lo largo de la línea S-S' muestra dos grupos muy bien diferenciados, separados en distancia y profundidad. La interpretación física de la fuente sismogénica para ambos grupos de eventos es similar a la descrita en el perfil O-O'. Sin embargo, al comparar los perfiles O-O' y S-S' exhibidos por los eventos ubicados a distancias entre 0 y 20 km puede verse una clara reducción de la profundidad hacia el sur de la Península de Burica. Esta variación en profundidad puede estar relacionada con los cambios en la geometría de subducción y la batimetría de la Placa del Coco.

En el OVSICORI-UNA, aún nos encontramos monitoreando y caracterizando esta secuencia sísmica en términos de su fuente generadora, distribución de réplicas, implicación sismotectónica local y regional, así como su efecto social hacia las comunidades más cercanas.

### 2.5. Sismicidad en el Caribe Sur

Dos secuencias sísmicas importantes igualmente destacan en el Caribe sur de Costa Rica durante el 2019. En el borde entre Costa Rica y Panamá, destaca la secuencia sísmica de Sixaola, generada con la ocurrencia del sismo con magnitud  $M_w=4.65$  ( $M_l=5.3$ ) del 1 de abril a las 7:42 de la mañana, hora local. La subducción de la placa del Caribe por debajo de la microplaca de Panamá es el proceso responsable de la sismogeneración de esta actividad sísmica (Figura 13).

Similarmente, el 29 de julio a las 16:43 pm, hora local de Costa Rica ocurrió un sismo de magnitud,  $M_w=4.71$ , ubicado 58 km hacia el Noroeste de Bocas del Toro, Panamá. La solución del tensor de momento sísmico para este evento (Figura 13) muestra un fallamiento de tipo inverso con una profundidad del centroide (región donde se libera la mayor cantidad de momento sísmico) de 17 km, ubicándose dentro de la placa del Caribe. Dada la geometría de la falla causante y la ubicación del centroide, este evento fue generado en un sistema de falla compresivo debido al doblamiento de la placa del Caribe en su proceso de subducción debajo de la microplaca de Panamá.

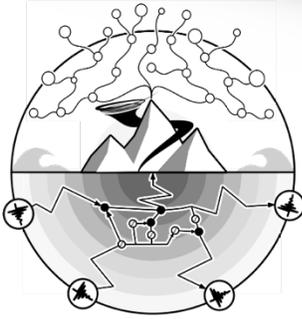


*Figura 12. Distribución epicentral y mecanismos focales para los sismos de Sixaola y Bocas del Toro. Se muestra además un diagrama con el tipo de fallamiento correspondiente a cada mecanismo focal.*

Las Catalinas, Guanacaste,  
Costa Rica;  
January 29-31, 2020

# MATH + X

## SYMPOSIUM ON INVERSE PROBLEMS AND DEEP LEARNING, MITIGATING NATURAL HAZARDS



### Organizing committee:

- Joan Bruna (NYU)
- Chair: Maarten de Hoop (Rice University)
- Paul Johnson (LANL)
- Gunther Uhlmann (University of Washington and HKUST)
- Robert van der Hilst (MIT)

### Mathematics and Inverse Problems

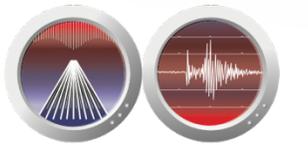
- K. Golden (University of Utah)
- A. Iantchenko (Malmö University)
- J. Ilmavirta (University of Jyväskylä)
- M. Lassas (University of Helsinki)
- L. Oksanen (UCL)
- G. Uhlmann (University of Washington, HKUST)
- A. Vasy (Stanford University)
- R. Vidal (Johns Hopkins University)

### Natural Hazards

- H.S. Bhat (ENS Paris)
- F. Chierici (Università di Bologna)
- E.J. Chaves (Universidad Nacional Costa Rica)
- J.M. Ibanez (Universidad de Granada)
- P.A. Johnson (LANL)
- M. Protti (Universidad Nacional Costa Rica)
- T. Schneider (CalTech)
- N. Shapiro (IPGP, Paris)
- D. Weitz (Harvard University)

### Deep Learning

- T. Broderick (MIT)
- J. Bruna (NYU)
- C Fernandez-Granda (NYU)
- S. Neva (Google AI)
- V. Schmidt (Mila)
- E. Vanden-Eijnden (NYU)



**OVSICORI-UNA**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN OBSERVATORIO  
VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE COSTA RICA

### Funded by:



MORE INFO: <https://earthscience.rice.edu/mathx2020/> [www.ovsicori.una.ac.cr](http://www.ovsicori.una.ac.cr)