

En camino al centenario del terremoto del 1918



Informe Anual 2016

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Red Sísmica de Puerto Rico

Departamento de Geología, Facultad de Artes y Ciencias
redsismica.uprm.edu





TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|--------------|
| Mensaje del Director | 2 |
| Operaciones | 3—13 |
| Sismicidad durante el 2016 | 3 |
| Sismos Sentidos | 6 |
| Enjambres Sísmicos | 8 |
| Energía Liberada | 10 |
| Sistemas de Monitoreo Sísmico y Mareográfico | 12 |
| Estaciones Mareográficas | 12 |
| Investigaciones y Desarrollo | 14—23 |
| Sismología | 14 |
| Geodesia | 15 |
| Tsunamis | 16 |
| Climatología | 16 |
| Desarrollo | 17 |
| Proyectos Operacionales | 18 |
| Sistemas de Detección Automática y Desarrollo Profesional | 18 |
| Catálogo Histórico, Entrenamiento y “Train the Trainers” | 18 |
| Herramientas para procesamiento de datos geofísicos | 19 |
| Broadcast Server y Shakemaps | 19 |
| Nivelación de estaciones mareográficas | 20 |
| Respuestas Operacionales y Bases de Datos | 21 |
| Proyecto EMWIN | 21 |
| Operaciones, Preparación y Continuidad | 21 |
| CARIBEWAVE 2016 | 22 |
| Programa Educativo | 24—27 |
| Programa TsunamiReady | 25 |
| Cómputos y Sistemas de Información | 28 |
| Colaboración y Financiamiento | 29 |
| Redes Contribuyentes | 30 |
| Personal RSPR | 32 |

BREVE HISTORIA DE LA RED SÍSMICA DE PUERTO RICO

La Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) es parte del Departamento de Geología, Facultad de Artes y Ciencias del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. En 1974 fue instalada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (PREPA). El objetivo principal de la RSPR consistía en evaluar la sismicidad local con miras a la construcción de las plantas de energía nuclear de Aguirre e Islote. Estas metas fueron realizadas en 1979; entre 1982 y 1987 la RSPR fue operada por el Centro para la Investigación de Energía y Ambiente de la UPR. Para ese mismo año fue transferida al Departamento de Geología de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Durante el 2015 las facilidades de la RSPR se reubicaron en el Edificio D (remodelado para este fin) del Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. La RSPR es responsable del monitoreo, detección e información de la actividad sísmica y de tsunamis en los archipiélagos de Puerto Rico e Islas Vírgenes (Americanas y Británicas).

VISIÓN

Ser el centro líder de monitoreo, alerta e información, investigación y educación de terremotos y tsunamis en el Caribe.

MISIÓN

Informar de manera confiable y oportuna la generación y efectos de terremotos y tsunamis para Puerto Rico e Islas Vírgenes.

MENSAJE DEL DIRECTOR

2

Este año 2016, la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) cumplió 30 años bajo la administración del Departamento de Geología de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Durante este tiempo, tanto estudiantes como profesionales han pasado por nuestras facilidades, hoy día quienes fueron nuestros estudiantes, son ya distinguidos profesionales, ya sea laborando en la academia, en la industria o como empresarios independientes. Igualmente, personal que ha laborado en la Red han dejado su huella en otras instituciones ya sea a nivel federal o inclusive a nivel internacional. La RSPR como institución acreditada por la *Advance National Seismic System (ANSS)* y reconocida como un punto alterno de información de Tsunamis para Puerto Rico e Islas Vírgenes por parte de la UNESCO, también deja su huella a nivel regional, en donde nuestros programas e iniciativas han impactado instituciones hermanas y han seguido los pasos de la RSPR como modelo. Como parte de nuestras iniciativas, y con la colaboración de las agencias de manejo de emergencias: *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, Agencia Estatal de Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (AEMEAD) y las Oficinas Municipales de Manejo de Emergencias (OMMES), la RSPR está dedicando un gran esfuerzo en desarrollar e implementar estrategias de educación para nuestra población, con miras a elevar nuestra resiliencia en caso de terremotos o tsunamis. Esto se ve reflejado en los éxitos alcanzados en los ejercicios de preparación ante tsunamis CaribeWave y terremoto ShakeOut, con una participación mayor a 150,000 el primero y más medio millón el segundo. Este año (2016) también nos unimos a la campaña mundial de las Naciones Unidas de celebrar el día internacional de la concientización de tsunamis, el 5 de noviembre.

Nuestro programa educativo impactó miles de personas en toda la Isla mediante la participación en foros, campamentos, conferencias, seminarios y en charlas dirigidas a nuestra población. Seguimos desarrollando materiales que sean de fácil acceso y fáciles de entender, donde pretendemos orientar a la población a seguir instrucciones básicas para prepararnos en caso de algún evento natural (terremotos o tsunamis), así como preparar nuestros alrededores para sobrevivir alguna adversidad de la naturaleza. Con el objetivo de reducir pérdidas de vida y propiedad, la RSPR administra el programa de tsunamis de PR, mediante el cual se ha ayudado a que PR fuese reconocido como la primera jurisdicción completa de los Estados Unidos en cumplir las guías federales de *TsunamiReady*, siendo así establecido por el NWS "Puerto Rico reconocido como *TsunamiReady*", y nueve de nuestros especialistas fueron reconocidos como "*TsunamiReady Champions*". Como parte de este proyecto ayudamos a las OMMES a desarrollar estrategias de educación, capacitación de su personal y actualización de sus equipos para recibir y diseminar los mensajes de tsunamis emitidos por el centro de tsunamis.

Al ser parte de la Universidad de Puerto Rico (UPR), esto nos provee la gran oportunidad de desarrollar nuestro programa académico y de investigación, siendo así que muchos de nuestros sistemas y métodos de trabajo han sido desarrollados por nuestros estudiantes, con la guía de destacados académicos del Recinto Universitario de Mayagüez (UPRM). Los resultados de las investigaciones de la RSPR han sido presentados en foros locales, nacionales, regionales e internacionales. Igualmente, nuestros resultados han sido base de publicaciones científicas y tesis de maestría y doctorados. A manera de ejemplo, puedo mencionar nuestro sistema de detección a tiempo real, donde hemos desarrollado un método para integrar de manera homogénea los datos sísmicos, mareográficos y de GPS. Esto con el único fin de mejorar el sistema de respuesta y así poder alertar a las autoridades de cualquier novedad. Otro ejemplo, es la implementación de modelos numéricos de tsunamis y métodos científicos de desalojo, con el cual apoyamos a los manejadores de emergencia en su encomienda de desarrollar planes de respuesta acorde a las necesidades de la población. Cumpliendo con nuestra misión primordial que es la de monitorear la actividad sísmica y de tsunamis en nuestra Isla del Encanto, así como en las Islas Vírgenes, informar de manera confiable y oportuna a nuestras autoridades, a los medios de comunicación y por su puesto al público en general. Durante este año mantuvimos nuestras capacidades operativas, esto es personal dedicado y especializado laborando las 24 horas del día, los siete días a la semana, así como la tecnología necesaria para llevar a cabo nuestra misión. Para garantizar las operaciones contamos con protocolos y procedimientos que nos permiten continuar trabajando bajo diferentes condiciones adversas, como por ejemplo durante el apagón del mes de septiembre. Esto se ve reflejado en este reporte, donde informamos la localización de 3,948 eventos en nuestra área de responsabilidad, así como una explicación de lo que significa esta actividad.

Nada de todo lo anterior sería posible sin la dedicación y entrega de nuestro personal, al cual le estoy muy agradecido. Igualmente mis reconocimientos para quienes nos apoyan técnica y financieramente como son el Gobierno Central del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (ELA), la Universidad de Puerto Rico (UPR) y su Recinto de Mayagüez (UPRM), la Agencia Estatal de Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (AEMEAD), la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA), la Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos (NOAA), el Servicio Geológico Federal (USGS), y el consorcio de geodesia UNAVCO. La RSPR labora para para servicio de nuestra población, para mantenerlos informados y para proveerle a nuestras agencias de emergencia una información confiable, precisa y oportuna.

Sinceramente,

Víctor A. Huérfano Moreno

Víctor A. Huérfano Moreno, PhD



SISMICIDAD DURANTE EL AÑO 2016

Durante el 2016, la RSPR localizó un total de **3,948 sismos** (Figura 1) en el área de responsabilidad (ADR) conocida como la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (latitud 17.00 a 20.00 N y longitud 63.50 a 69.00 O). En comparación con el año 2015 (3,239 sismos), la sismicidad detectada y localizada aumentó en un 16%; éstos son **655 temblores** más que el año anterior. En este año, el mes de mayor sismicidad fue **septiembre** con **566 temblores** y el mes de menor sismicidad fue **marzo** con **169 sismos** (Figura 2). Del total de la sismicidad del 2016, **28 temblores (0.71%)** fueron reportados como sentidos, 27 de los mismos fueron localizados dentro de nuestra ADR y uno en la región de República Dominicana. Las magnitudes de los eventos sísmicos calculadas para este año por la RSPR variaron de **0.76 Md a 4.8 MI (4.7 Mb)**, aunque para los eventos sentidos las mismas variaron de **2.02 Md a 4.8 MI (4.7 Mb)**. Durante el 2016 las profundidades variaron entre **1 km a 177 km**, mientras que para los sismos sentidos fueron desde **4 km a 137.4 km**. Los sismos con profundidades de **0 a 25 km** fueron los más frecuentes con **2,125 temblores**, mientras que aquellos entre los **175 km y 200 km** fueron los de menor ocurrencia este año (Figura 3). La región con mayor sismicidad registrada durante el 2016 fue la **Zona Sísmica de Sombrero** con **973 eventos sísmicos**, seguida por la **Plataforma de Islas Vírgenes** con **497 sismos**. **De los últimos 10 años, el 2016 de mayor número de eventos con 3,949 temblores**, seguido por el 2014 con un total de 3,420 sismos (Figura 4). El año de menor sismicidad es el 2010 con 1,673 temblores.

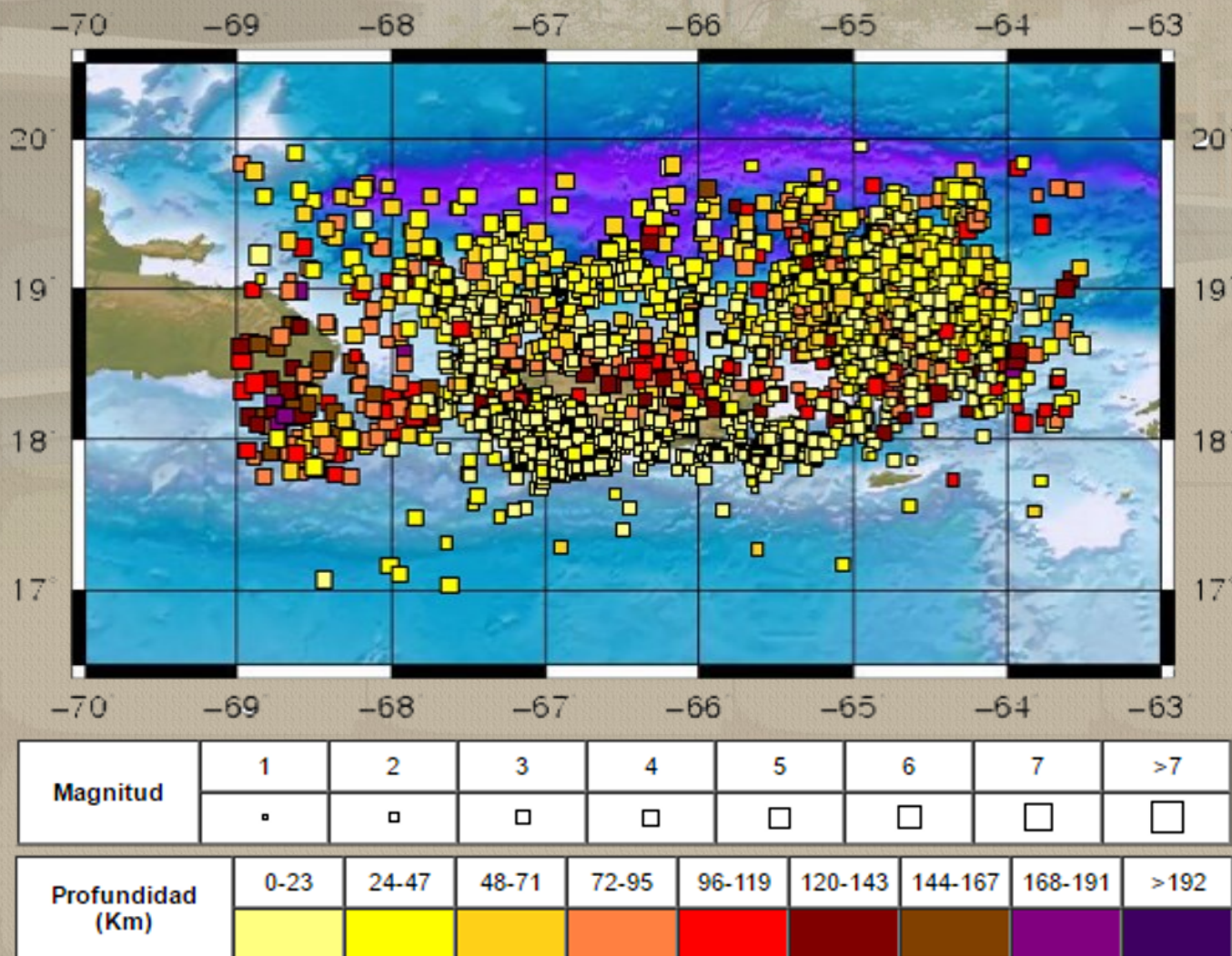


Figura 1. Mapa epicentral de los sismos localizados por la Red Sísmica de Puerto Rico para el año 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

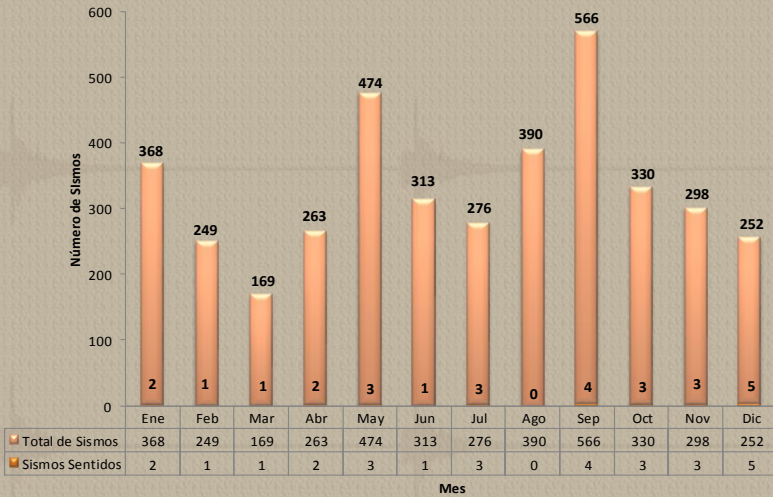


Figura 2: Distribución mensual de sismos localizados y reportados como sentidos durante el 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

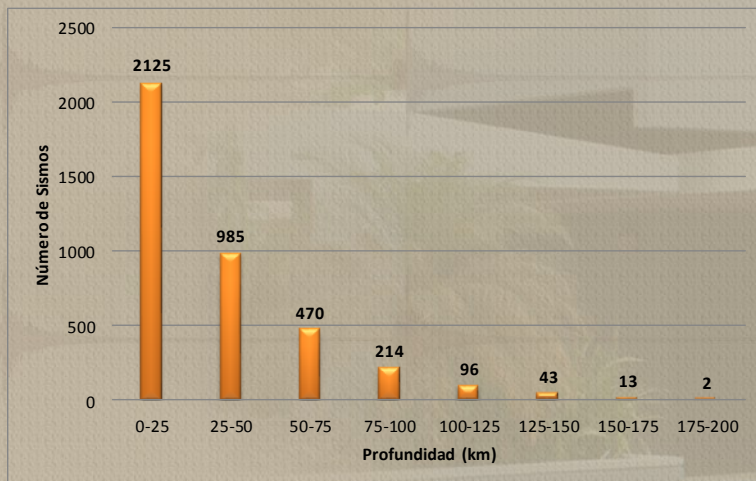
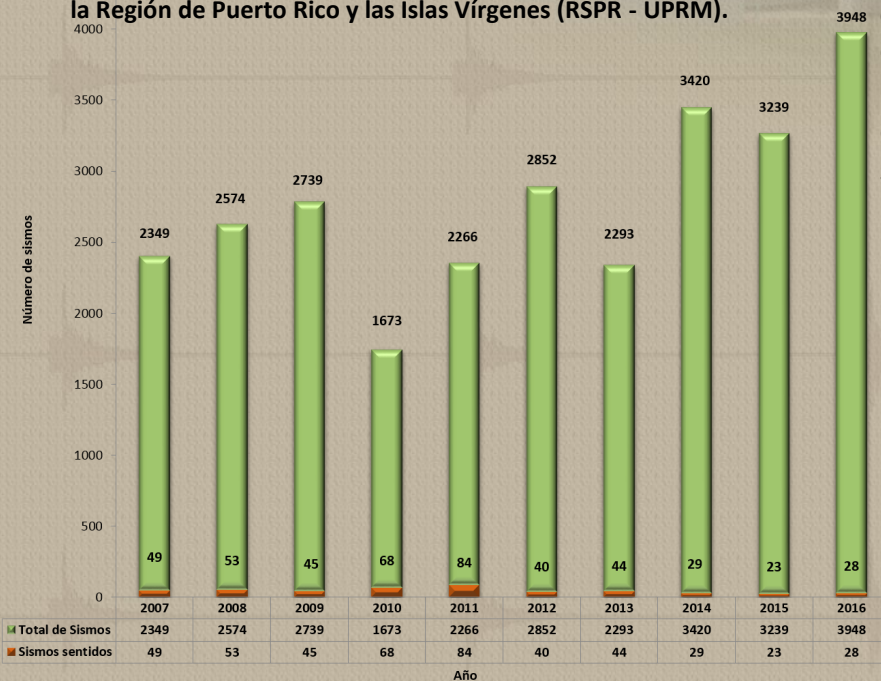


Figura 3: Distribución de sismos por profundidad para el 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).



La distribución sísmica por magnitudes calculadas durante los últimos diez años (del 2007 al 2016), muestra que el rango de magnitudes (Md) con mayor número de sismos es de **2.0 a 3.0 (Md)** con un total de **12,980 temblores (Figura 5)**. Este rango de magnitudes fue seguido por magnitudes de **3.0 a 4.0 (Md)** con **10,228** sismos. Las magnitudes calculadas por la RSPR durante el 2016 variaron de **0.76 (Md) a 4.8 MI (4.7 Mb)** (Figura 6). Para los eventos sentidos las mismas variaron de **2.02 (Md) a 4.8 MI (4.7 Mb)**. En el 2016, el rango de **magnitudes calculadas con mayor número de sismos** se mantuvo igual al del año anterior (2015). El mismo va de **2.0 a 3.0 (Md)** con **2,484** sismos, seguido por magnitudes de **3.0 a 4.0 (Md)** con **844** sismos.

La concentración de sismicidad para el 2016 estuvo ampliamente distribuida en toda la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (Figura 1). Las regiones sísmicas con mayor actividad fueron la **Zona Sísmica de Sombrero** con **973 temblores**, la **Plataforma de las Islas Vírgenes** con **497 temblores** y la **Depresión de Islas Vírgenes** con **359 temblores** (Tabla 1, Figura 7). Las regiones de menor actividad sísmica durante este año fueron: Santa Cruz, la Región Noreste de PR y Región Sureste de Puerto Rico con uno, dos y tres sismos localizados respectivamente en cada una de ellas y la **Plataforma de Santa Cruz** en la cual no se localizó ningún sismo. La región con mayor número de sismos sentidos fue la **Región Central de PR** con **5 sismos** sentidos.

Figura 4: Distribución anual de sismos localizados y reportados como sentidos en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes desde el 2007 hasta el 2016 (RSPR - UPRM).

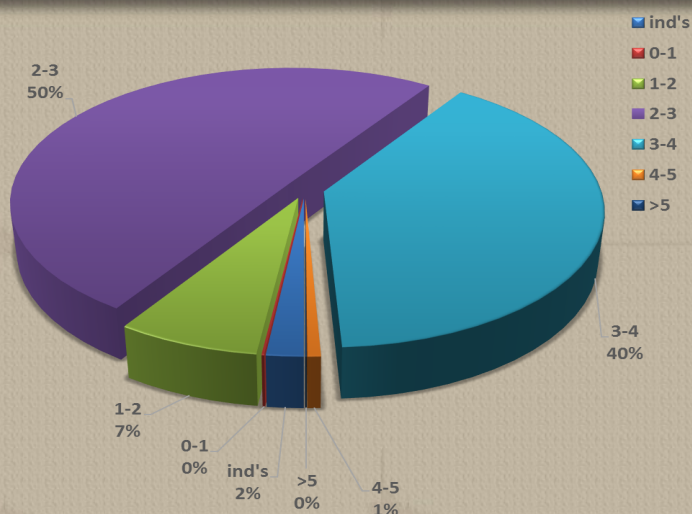


Figura 5: Distribución de magnitudes de los sismos localizados entre el 2007 y 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR- UPRM).

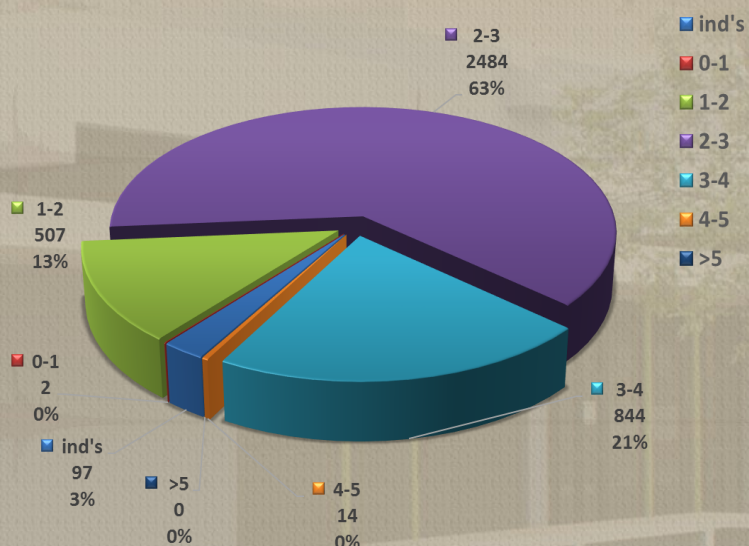


Figura 6: Distribución de magnitudes de los sismos localizados durante el 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR- UPRM).

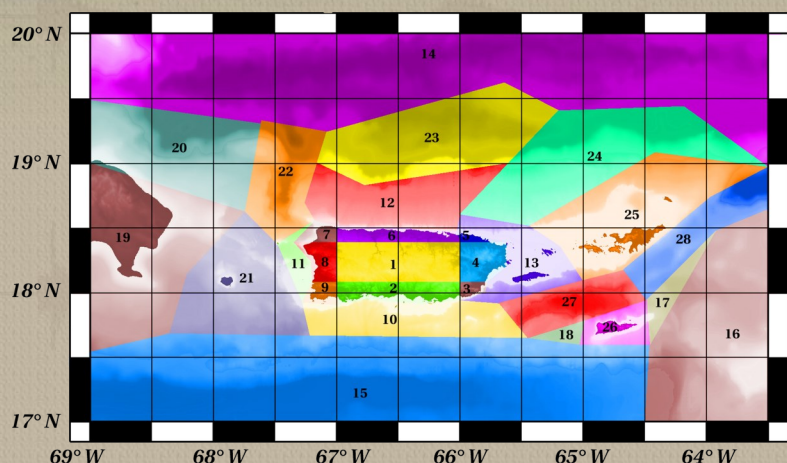


Figura 7: Mapa de las zonas sísmicas de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Cada una corresponde al número en la región sísmica de la tabla 1 (RSPR-UPRM).

Tabla 1: Distribución de sismicidad por regiones en el 2016 dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR—UPRM).

| Región Sísmica | Sismicidad Total | Sismos Sentidos |
|------------------------------------|------------------|-----------------|
| 1-Región Central de PR | 106 | 1 |
| 2-Región Sur de PR | 113 | 1 |
| 3-Región Sureste de PR | 3 | 0 |
| 4-Región Este de PR | 19 | 0 |
| 5-Región Noreste de PR | 2 | 0 |
| 6-Región Norte de PR | 25 | 0 |
| 7-Región Noroeste de PR | 8 | 0 |
| 8-Región Oeste de PR | 104 | 3 |
| 9-Región Suroeste de PR | 106 | 1 |
| 10-Región AL Sur de PR | 318 | 3 |
| 11-Región AL Oeste de PR | 76 | 1 |
| 12-Región AL Norte de PR | 161 | 2 |
| 13-Región AL Este de PR | 81 | 1 |
| 14-Trinchera de PR | 145 | 0 |
| 15-Trinchera de Muertos | 27 | 0 |
| 16-Islas de Sotavento | 23 | 0 |
| 17-Plataforma de Santa Cruz | 0 | 0 |
| 18-Dorsal de Santa Cruz | 5 | 0 |
| 19-Región Oriental de la RD | 87 | 1 |
| 20-Zona de la Falla Septentrional | 63 | 2 |
| 21-Pasaje de la Mona | 78 | 0 |
| 22-Cañón de la Mona | 200 | 1 |
| 23-Zona de la Falla de los 19°N | 298 | 2 |
| 24-Zona Sísmica del Sombrero | 973 | 1 |
| 25-Plataforma de Islas Vírgenes | 497 | 2 |
| 26-Santa Cruz | 1 | 0 |
| 27-Depresión de las Islas Vírgenes | 359 | 5 |
| 28-Pasaje de Anegada | 70 | 0 |
| Regionales | n/a | 1 |
| Total | 3,948 | 28 |

SISMOS SENTIDOS

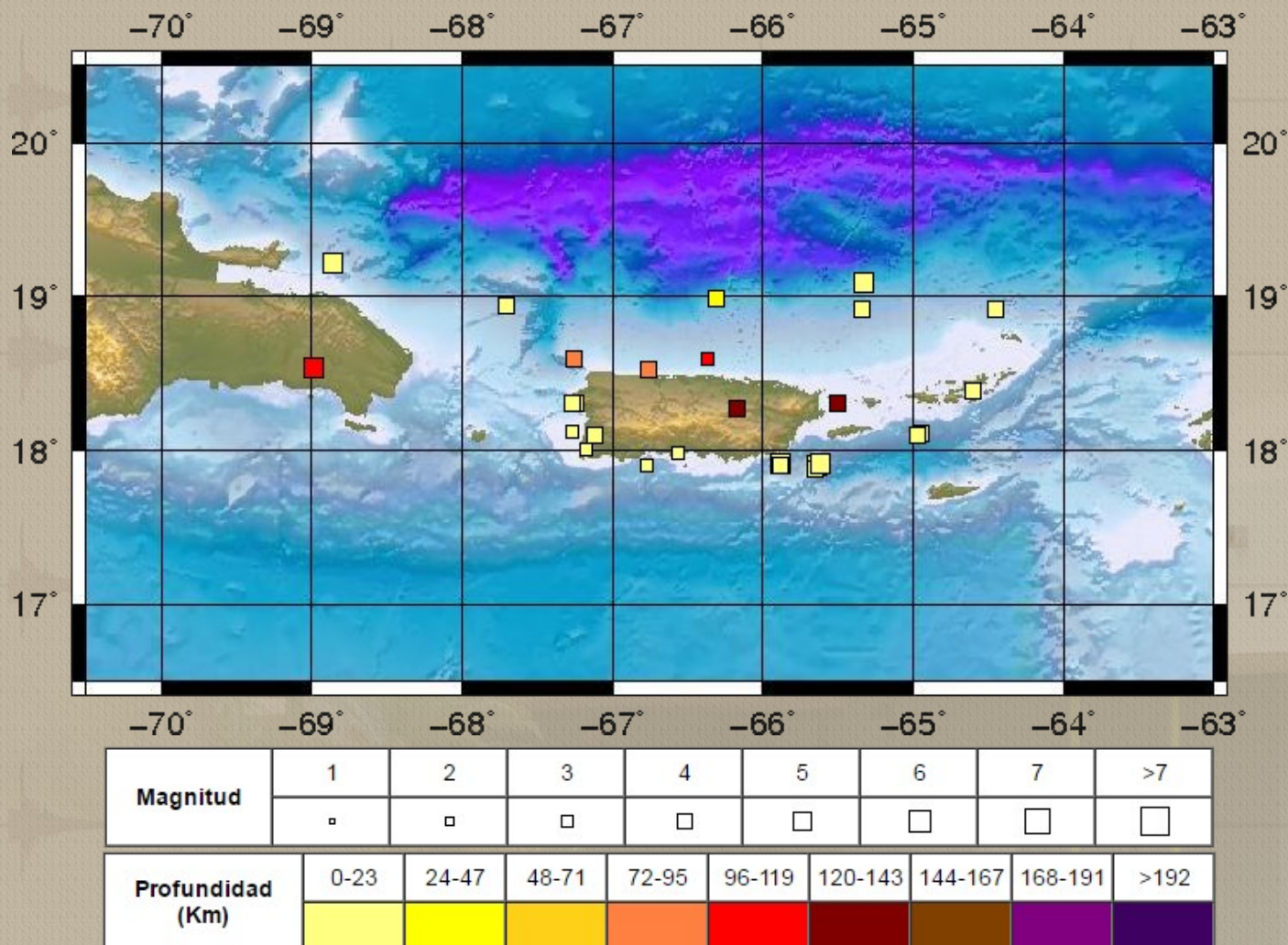


Figura 8: Mapa epicentral de los sismos sentidos en Puerto Rico e Islas Vírgenes durante el año 2016 en nuestra área de responsabilidad (latitud 17.00°a 20.00° y longitud -63.50°a -69.00°) (RSPR-UPRM).

Durante el 2016, **28** temblores fueron reportados como sentidos a la RSPR (Figura 8). El **sismo sentido de mayor magnitud** localizado dentro de nuestra AOR para el año 2016 ocurrió el **13 de noviembre de 2016 a las 06:09:42** (hora local de Puerto Rico). Este sismo local de magnitud **4.8 MI (4.7 Mb)** fue localizado en la Falla de la Zona Septentrional a unos 223.28 Km al Noroeste de Mayagüez, Puerto Rico (Latitud: 19.223°N; Longitud: -68.860°O), a una profundidad de 10 km. Este **sismo**

leve fue sentido ampliamente en todo Puerto Rico e Islas Vírgenes, con intensidad máxima de II (Escala Mercalli Modificada) en Ponce, Puerto Rico (Figuras 9a y 9b).

Por otro lado, el **sismo sentido de mayor intensidad** (intensidad máxima V Escala Mercalli Modificada) **del año 2016** se localizó en la Zona al Sur de Puerto Rico dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (ADR).

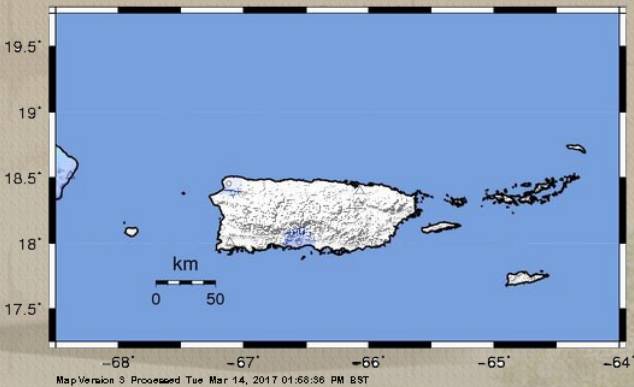
Para más información sobre sismos sentidos en nuestra Área de Responsabilidad (ADR), favor refiérase al Catálogo General en nuestra página de Internet: <http://redsismica.uprm.edu/Spanishcatalogue/index.php>

Este sismo ocurrió el **5 de diciembre de 2016** a las **06:29:54** (hora local de Puerto Rico).

El mismo fue localizado a 12.2 Km al Sur-Sureste de Maunabo, Puerto Rico (Latitud: 17.919° N; Longitud: -65.8795°O), a una profundidad de 4 km.

Este **sismo leve** fue sentido ampliamente en todo Puerto Rico, con intensidades que variaron de II a V en la Isla Grande. La intensidad máxima (V) en la Escala Mercalli Modificada se reportó en Fajardo, Puerto Rico (Figuras 10a y 10b).

PRSN/PRSPM ShakeMap : 52.84 km al Este de Samana, DR
 NOV 13 2016 02:09:42 AM GMT M 4.7 N19.22 W68.86 Depth: 10.0km ID: 20161113020943



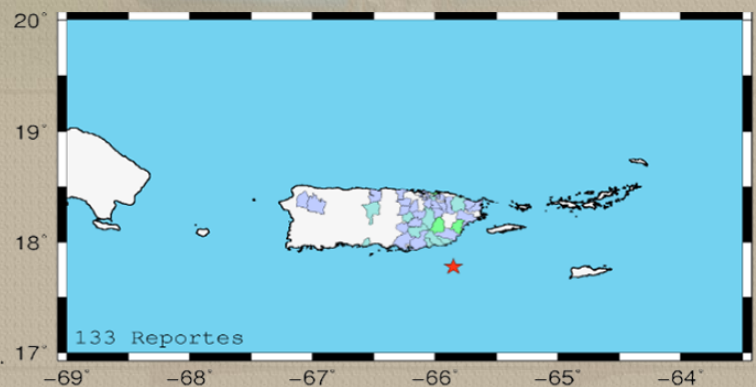
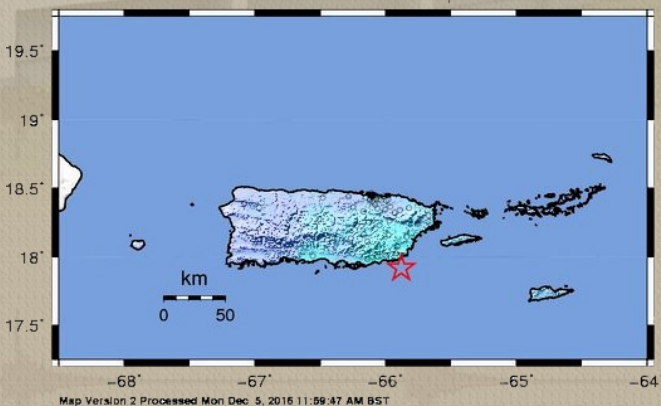
| PERCEIVED SHAKING | Not felt | Weak | Light | Moderate | Strong | Very strong | Severe | Violent | Extreme |
|------------------------|----------|--------|------------|----------|----------|-------------|--------|------------|---------|
| POTENTIAL DAMAGE | none | none | Very light | Light | Moderate | Mod./Heavy | Heavy | Very Heavy | |
| PEAK ACC.(%) | <0.05 | 0.3 | 2.8 | 6.2 | 12 | 22 | 40 | 75 | >139 |
| PEAK VEL.(cm/s) | <0.02 | 0.1 | 1.4 | 4.7 | 9.6 | 20 | 41 | 86 | >178 |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I | II-III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

| RED SISMICA DE PUERTO RICO - ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA | | | | | | | | | |
|--|---------|----------|---------|----------|---------|-------------|----------------|----------|-------------|
| MOVIMIENTO PERCIBIDO | Ninguno | Debil | Ligero | Moderado | Fuerte | Muy Fuerte | Severo | Violento | Extremo |
| EFFECTOS ASOCIADOS | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Minimos | Ligeros | Apreciables | Significativos | Mayores | Muy Fuertes |
| INTENSIDAD | I | II - III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

Figura 9-a: *ShakeMap* para el sismo sentido el 13 de noviembre de 2016 (RSPR-UPRM).

Figura 9-b: Mapa de intensidades reportadas por la población (CIIM, *Community Internet Intensity Maps*) para el sismo sentido el de noviembre de 2016 (RSPR-UPRM).

PRSN/PRSPM ShakeMap : 12.20 Km SE of Maunabo, PR
 DEC 5 2016 02:29:54 PM GMT M 4.6 N17.92 W65.88 Depth: 4.0km ID:20161205142952



| PERCEIVED SHAKING | Not felt | Weak | Light | Moderate | Strong | Very strong | Severe | Violent | Extreme |
|------------------------|----------|--------|------------|----------|----------|-------------|--------|------------|---------|
| POTENTIAL DAMAGE | none | none | Very light | Light | Moderate | Mod./Heavy | Heavy | Very Heavy | |
| PEAK ACC.(%) | <0.05 | 0.3 | 2.8 | 6.2 | 12 | 22 | 40 | 75 | >139 |
| PEAK VEL.(cm/s) | <0.02 | 0.1 | 1.4 | 4.7 | 9.6 | 20 | 41 | 86 | >178 |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I | II-III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

| RED SISMICA DE PUERTO RICO - ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA | | | | | | | | | |
|--|---------|----------|---------|----------|---------|-------------|----------------|----------|-------------|
| MOVIMIENTO PERCIBIDO | Ninguno | Debil | Ligero | Moderado | Fuerte | Muy Fuerte | Severo | Violento | Extremo |
| EFFECTOS ASOCIADOS | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Minimos | Ligeros | Apreciables | Significativos | Mayores | Muy Fuertes |
| INTENSIDAD | I | II - III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

Figura 10-a: *ShakeMap* para el sismo sentido el 5 de diciembre de 2016 (RSPR-UPRM).

Figura 10-b: Mapa de intensidades reportadas por la población (CIIM, *Community Internet Intensity Maps*) para el sismo sentido el 5 de diciembre de 2016 (RSPR-UPRM).

ENJAMBRE SÍSMICOS

Un **enjambre sísmico (ES)** o **secuencia sísmica (SS)** ocurre cuando hay una generación de temblores dentro de la misma región, con las mismas características (magnitud o profundidad, entre otras), en un lapso de pocas horas o días. Generalmente nos referimos a un enjambre sísmico cuando no hay un evento principal y utilizamos el concepto secuencia sísmica cuando los eventos han sido precedidos por un sismo principal (de mayor magnitud que sus réplicas). En el 2016, se generaron **37 enjambres** de sismos en nuestra ADR. De estos enjambres, 18 ocurrieron en la **Zona Sísmica del Sombrero**, 6 en la **Depresión de Islas Vírgenes** y 6 en la **Zona de Falla de los 19°N**. El enjambre sísmico de mayor cantidad de eventos ocurrió del **8 al 30 de mayo** de 2016 en la **Zona Sísmica de Sombrero y la Plataforma de Islas Vírgenes** (Tabla 2, Figura 11), con un total de **252 sismos** localizados en un periodo de **23 días**. Ninguno de estos eventos fue reportado como sentido. El segundo enjambre de mayor cantidad de eventos ocurrió del 6 al 7 de enero de 2016 con un total de **111 sismos** localizados en un periodo de **45 horas** (Tabla 2, Figura 12). Durante el 2016 un enjambre y 6 secuencias sísmicas tuvieron sismos sentidos reportados. La secuencia sísmica con mayor actividad ocurrió del 2 al 10 de septiembre en la Depresión de Islas Vírgenes y la Región Al Sur de Puerto Rico con 110 eventos sísmicos localizados en un periodo de **24 horas**. Es importante señalar la secuencia sísmica que se registró a partir del **5 de diciembre** en las regiones **al Sur y al Este de Puerto Rico** con **65 temblores** en **25 días**, dos eventos sentidos y un sismo principal de magnitud 4.6 Ml con intensidad V en Fajardo.

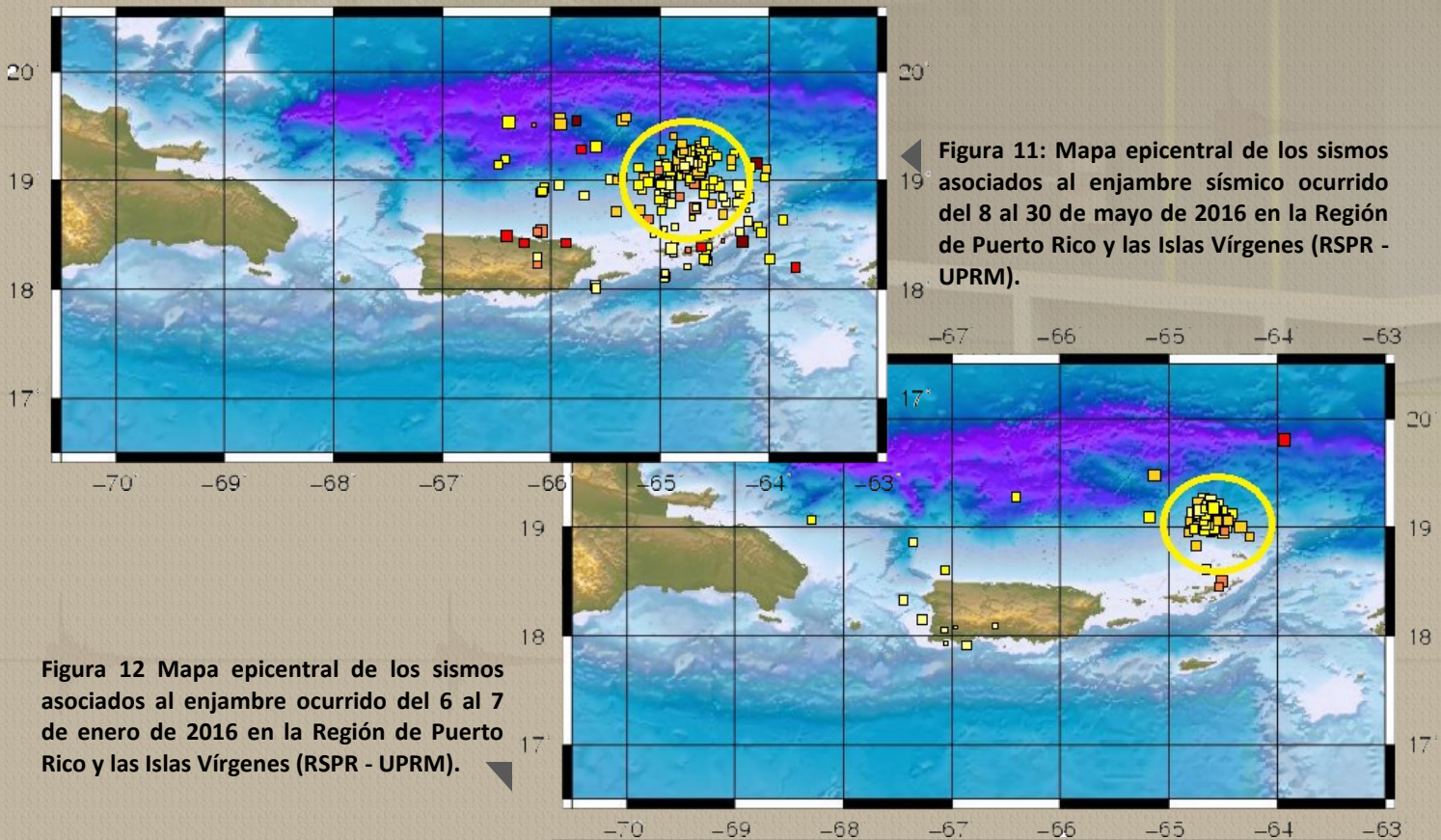


Figura 12 Mapa epicentral de los sismos asociados al enjambre ocurrido del 6 al 7 de enero de 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

Figura 11: Mapa epicentral de los sismos asociados al enjambre sísmico ocurrido del 8 al 30 de mayo de 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

| | | | | | | | | | |
|------------------|--------|--------------|--------|-------|----------|---------|---------|-------------|------|
| Magnitud | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | >7 | |
| | • | ◦ | ◻ | ◻ | ◻ | ◻ | ◻ | ◻ | |
| Profundidad (Km) | 0-23 | 24-47 | 48-71 | 72-95 | 96-119 | 120-143 | 144-167 | 168-191 | >192 |
| | Yellow | Light Yellow | Orange | Red | Dark Red | Brown | Purple | Dark Purple | |

Tabla 2: Descripción de los enjambres sísmicos ocurridos durante el 2016 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

| Periodo (Fecha) | Localización del Enjambre | Núm. Sismos | Duración | Sismos Sentidos |
|----------------------------------|--|-------------|--------------------------|-----------------|
| 6 al 7 de enero de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de Islas Vírgenes (ES) | 111 | 45 horas | 0 |
| 14 de enero de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 6 | 3 horas | 0 |
| 3 de febrero de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 8 | 1 hry 32 min. | 0 |
| 19 de febrero de 2016 | Zona de la Falla de los 19°N y Norte de Puerto Rico (ES) | 5 | 37 minutos | 0 |
| 27 de febrero de 2016 | Región Sur de Puerto Rico (ES) | 6 | 40 minutos | 0 |
| 28 de febrero de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 7 | 33 minutos | 0 |
| 27 de marzo de 2016 | Zona de la Falla de los 19°N (ES) | 4 | 5 minutos | 0 |
| 9 de abril de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 6 | 1 hora | 0 |
| 14 de abril de 2016 | Depresión de Islas Vírgenes (ES) | 40 | 10 horas | 2 |
| 5 de mayo de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 6 | 2 horas | 0 |
| 7 de mayo de 2016 | Oeste de Puerto Rico (SS) | 4 | 10 horas | 1 |
| 8 al 30 de mayo de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de Islas Vírgenes (ES) | 252 | 23 días y 7 horas | 0 |
| 1 de junio de 2016 | Depresión de Islas Vírgenes (ES) | 17 | 24 horas | 0 |
| 2 de junio de 2016 | Cañón de Mona (ES) | 24 | 6 horas | 0 |
| 4 de junio de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 6 | 3 horas | 0 |
| 26 de junio de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 5 | 5 horas | 0 |
| 29 al 30 de junio de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 28 | 12 horas | 0 |
| 2 de julio de 2016 | Zona de la Falla de los 19°N (ES) | 26 | 12 horas | 0 |
| 16 de julio de 2016 | Zona de la Falla de los 19°N (ES) | 3 | 40 minuto | 0 |
| 8 de agosto de 2016 | Cañón de Mona (ES) | 17 | 7 horas | 0 |
| 16 de agosto de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 12 | 10 hrs y 30 min. | 0 |
| 25-29 de agosto de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 69 | 4 días | 0 |
| 2-3 de septiembre de 2016 | Depresión de Islas Vírgenes y Sur de PR (SS) | 110 | 24 horas | 1 |
| 4-6 de septiembre de 2016 | Zona Sísmica de Sombrero y Zona de la Falla de los 19°N (SS) | 67 | 52 horas | 1 |
| 5 de septiembre de 2016 | Depresión de Islas Vírgenes y Sur de PR (SS) | 50 | 32 horas | 1 |
| 11 de octubre de 2016 | Sur de Puerto Rico (ES) | 5 | 3.5 horas | 0 |
| 15 de octubre de 2016 | Sur de Puerto Rico y Al Sur de Puerto Rico (ES) | 6 | 6 horas | 0 |
| 19-20 de octubre de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de Islas Vírgenes (ES) | 11 | 17 horas | 0 |
| 29 de octubre de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero y Zona de la Falla de los 19°N (ES) | 6 | 30 minutos | 0 |
| 9 de noviembre de 2017 | Zona Sísmica del Sombrero (ES) | 5 | 11 minutos | 0 |
| 11-12 de noviembre de 2016 | Depresión de Islas Vírgenes (SS) | 25 | 14.5 horas | 1 |
| 15 de noviembre de 2016 | Depresión de Islas Vírgenes (ES) | 4 | 5 horas | 0 |
| 17-18 de noviembre de 2016 | Plataforma de Islas Vírgenes y Trinchera de Puerto Rico (ES) | 15 | 10 horas | 0 |
| 21 de noviembre de 2016 | Sur de Puerto Rico (ES) | 4 | 1 hora | 0 |
| 29 de noviembre de 2016 | Zona Sísmica de Sombrero (ES) | 8 | 6 horas | 0 |
| 5-29 de diciembre de 2016 | Al Sur de Puerto Rico y Al Este de Puerto Rico (SS) | 65 | 25 días | 2 |
| 5 de diciembre de 2016 | Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de Islas Vírgenes (ES) | 7 | 7 horas | 0 |

ENERGÍA LIBERADA

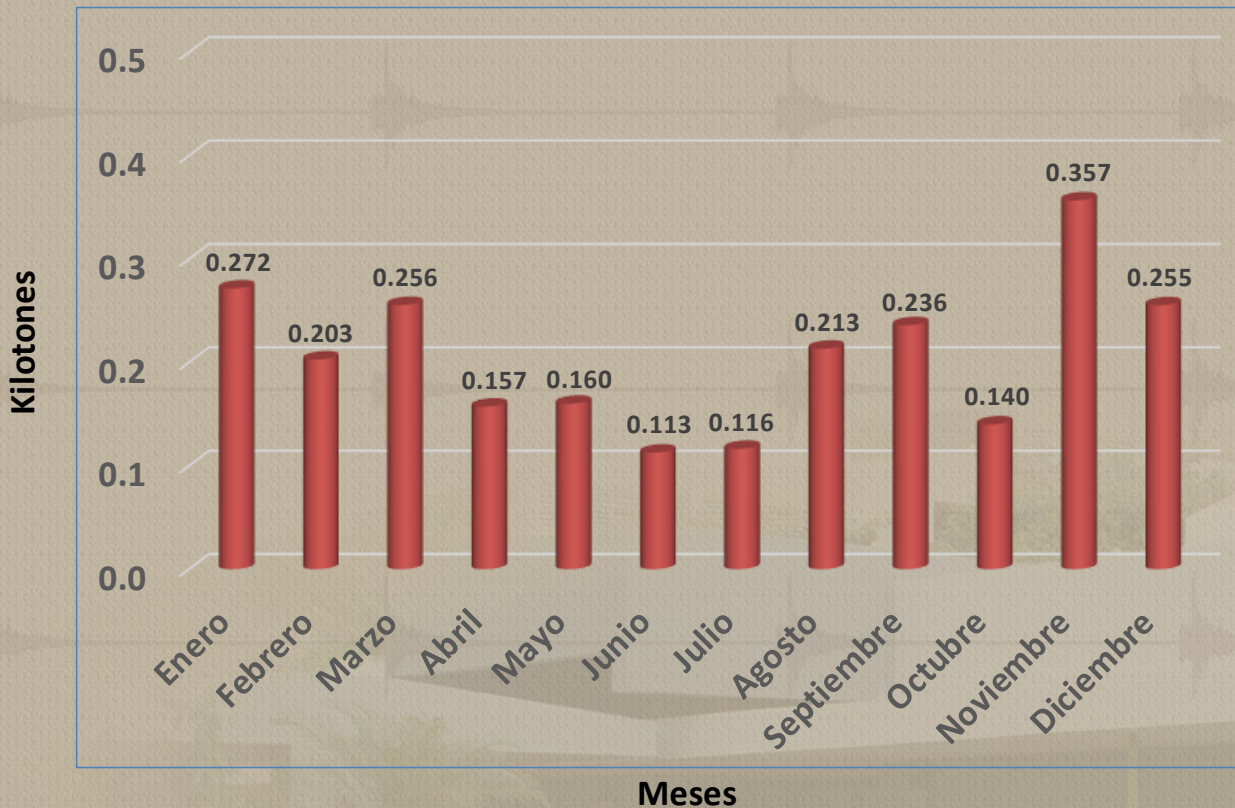


Figura 13: Energía sísmica liberada en la Región de Puerto Rico durante el 2016 (RSPR-UPRM).

Durante el 2016 la mayor liberación de energía ocurrió en el mes de **noviembre** con un equivalente a **0.357** kilotones (Figura 13). Le siguió enero con 0.272 kilotones de energía liberados. La liberación de energía de noviembre esta asociada a la ocurrencia de tres (3) eventos con magnitudes 4.0 MI, 4.7 Mb y 4.29 md y cinco (5) enjambres sísmicos. El evento de magnitud 4.7 Mb (4.8 MI) fue el evento sentido de mayor magnitud durante el 2016. Por otro lado, en el mes de enero ocurrieron 17 eventos de magnitudes 3.5 o mayor, incluyendo un evento de 4.0 MI. El mes de mayor actividad sísmica del año 2016 lo fue septiembre con 566 sismos, sin embargo tuvo una liberación de energía de 0.236 kilotones. En este mes la liberación de energía estuvo dominada por dos (2) eventos entre las magnitud 4.3 MI y tres (3) enjambres sísmicos con una suma total de 227 temblores.

En el año 2016, con 2.5 kilotones, hubo una disminución de la energía liberada de 0.8 kilotones comparada con el año anterior (2015, 3.3 kilotones). La distribución de la energía liberada durante los pasados 10 años muestra que el año con mayor liberación de energía fue el 2014 con 77.3 kilotones (Figura 14). Esto se debe a la generación del sismo de magnitud 6.4 Mwp del mes de enero de ese mismo año, (el sismo de mayor magnitud en los últimos seis años) y el sismo de 5.4 MI del mes de mayo. El total de la energía liberada durante el 2016 es aproximadamente una sexta parte de la energía liberada por la bomba de Hiroshima. Esto sería equivalente al total de la energía liberada por un terremoto de magnitud 5.5, como por ejemplo los terremotos de: Moca (16 de mayo de 2010), Aguas Buenas (24 de diciembre de 2010), Little Skull Mountain (Nevada, USA) de 1992 y Chino Hills (Sur de California, USA) del 2008.

Analizando los datos sísmicos procesados por la RSPR podemos concluir que el aumento de sismicidad en nuestra región durante el 2016 esta directamente relacionado a la cobertura brindada por nuestra red de estaciones (que se encuentra en continuo mejoramiento). Consideramos que desde el 2007 la RSPR posee un sistema de monitoreo homogéneo que nos ha permitido comparar la densidad de actividad sísmica en nuestra región con años anteriores. Este monitoreo uniforme es importante particularmente para los enjambres sísmicos y secuencias sísmicas en función del tiempo. Como se ha mencionado anteriormente los eventos sísmicos ocurridos durante enjambres o

secuencias sísmicas están directamente relacionados a la interacción de las placas de América del Norte y del Caribe y son reflejo del movimiento relativo entre ellas. La zona noreste del Caribe posee una convergencia oblicua entre estas dos placas, donde la placa de América del Norte choca contra la del Caribe y se subducciona por debajo de ésta. El bloque de Puerto Rico y las Islas Vírgenes se encuentra entre estas dos placas. La constante interacción entre las placas va acumulando energía que se libera en forma de terremotos y a su vez va deformando la microplaca de Puerto Rico e Islas Vírgenes como resultado de ese choque.

Durante el 2016, NOVIEMBRE fue el mes de mayor energía liberada con un total de 0.357 kilotones de energía.

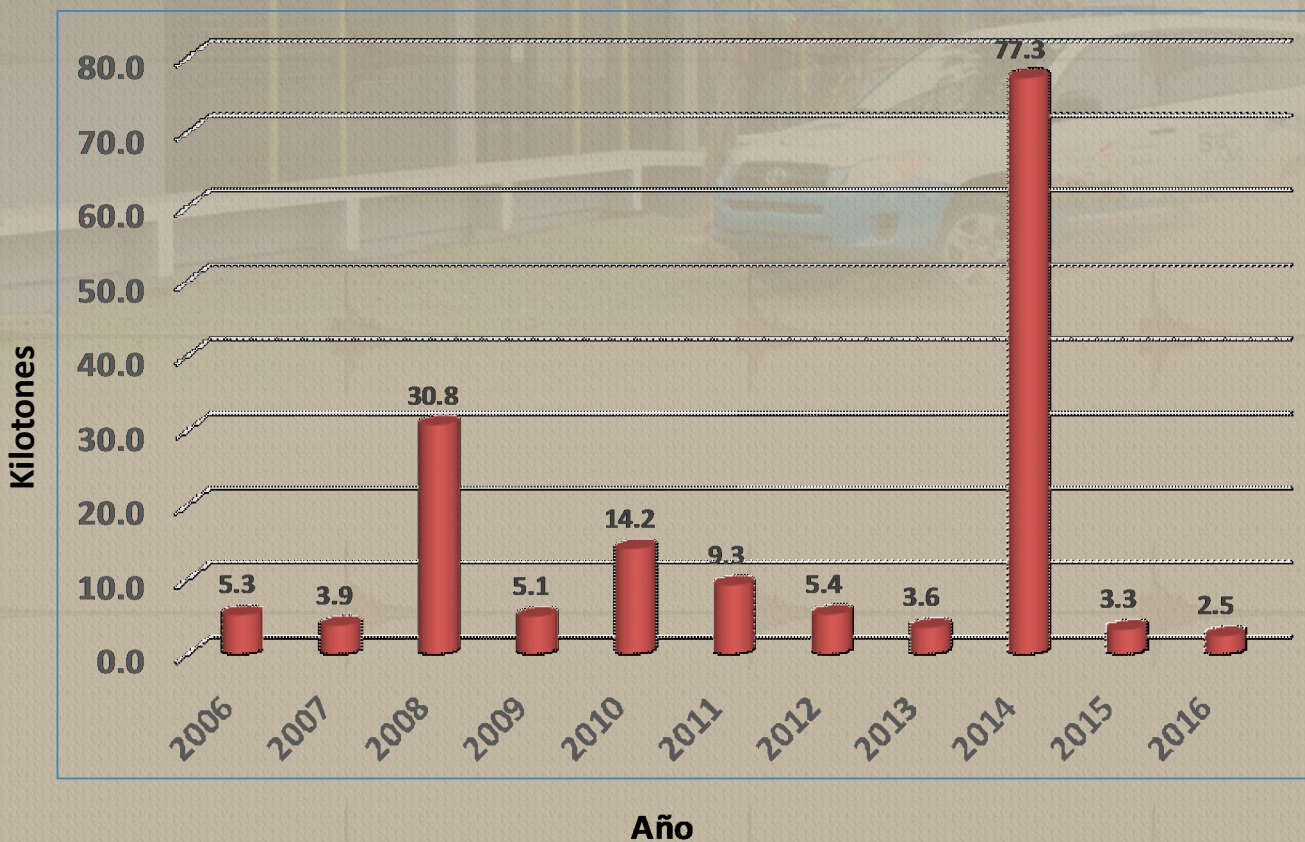


Figura 14: Energía sísmica liberada en la Región de Puerto Rico desde 2007 hasta 2016 (RSPR- UPRM).

SISTEMAS DE MONITOREO SÍSMICO Y MAREOGRÁFICO

Juan Lugo Toro

En el 2016 la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) operó **29 estaciones** sísmicas (27 en nuestra área de responsabilidad, 1 en Samaná República Dominicana y 1 en la Isla de Aruba) de las cuales 25 son de banda ancha y cuatro estaciones de periodo corto. Este año se continuó con la instalación de estaciones y el mejoramiento de las ya existentes. Durante el 2016 se le brindó mantenimiento de rutina a las estaciones sísmicas dentro y fuera de Puerto Rico, como por ejemplo: Humacao, Vieques, Manatí, Aguadilla, Saint John y Saint Croix. Se reconstruyó la estación de Vieques en septiembre de 2016.

También se continuó la instalación de la red de GPS, la cual incluye **11 estaciones permanentes**. Por otro lado, se le brindó mantenimiento a la red de mareógrafos, que tiene la capacidad de detectar tsunamis (*TsunamiReady Tide Gauges*). La red de mareógrafos en Puerto Rico actualmente cuenta con **16 estaciones** de las cuales 10 son operadas por la *National Ocean Service* (NOS) del *National Oceanic Atmospheric Administration*

(NOAA) y 6 por la RSPR. En adición, la RSPR opera 7 estaciones fuera de Puerto Rico: 1 en Tórtola (BVI), 4 en la República Dominicana, 1 en Haití y 1 en Aruba .

Estas estaciones fueron financiadas por FEMA y operadas con fondos de la NOAA y locales. Cada una de estas estaciones mareográficas consta de dos sensores de nivel de agua y equipo meteorológico. Los datos de estas estaciones están incorporados a los procesos rutinarios de la RSPR. Durante 2016 se realizó mantenimiento de estaciones mareográficas, que incluye la nivelación anual.



Figura 15: Estación sísmica UUPR en Utuado (RSPR- UPRM).

Estaciones Mareográficas

Benjamín Colón Rodríguez

El sistema de monitoreo de tsunamis de la RSPR consiste básicamente en una recopilación de datos de estaciones de mareógrafos y boyas Dart (*Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*). Estos datos son transmitidos de diferentes métodos y formatos. Los métodos de transmisión de datos más utilizados son: internet y satélite. Los mareógrafos de Puerto Rico forman parte de las estaciones que son transmitidas en ambos métodos. La redundancia en las comunicaciones (recibir los datos en ambos métodos) tiene como fin reducir la pérdida de datos en caso de que uno de los métodos falle durante un evento. Estas estaciones están instaladas a lo largo de las costas de Puerto Rico (locales), costas del Caribe (regionales) y del Atlántico (Internacionales) (Figura 16a y 16b). Para cada nueva estación es necesario realizar unas actualizaciones al sistema que nos permite los siguientes procesos: adquisición, procesamiento y decodificación de datos y graficar o desplegar los datos para el monitoreo.

Para el año 2016 se instalaron aproximadamente ocho nuevas estaciones en el área del Caribe. Estas estaciones fueron añadidas a nuestro sistema con el fin de fortalecerlo. Se continúa trabajando con el enlace de nuestra página web: (<http://www.prsn.uprm.edu/Spanish/EstacionesV3/mareografos.php>). En este enlace estarán disponibles los datos de la mayoría de estas estaciones. Los datos adquiridos de las estaciones mareográficas son utilizados con diferentes fines. En la Red Sísmica de Puerto Rico la data es utilizada principalmente para el monitoreo de tsunamis y generación de tiempos estimados de arribo de tsunamis (o Tsunami ETAs). Por otra parte, la data es utilizada por: puertos o muelles, agencias de embarcaciones comerciales, en investigaciones científicas, pescadores, agencias de meteorología, etc. Finalmente, se continúa trabajando en la generación de datos de mareas teóricas y mantenimiento a bases de datos de nuestros sistemas. Estos datos son utilizados por los centros mundiales de monitoreo de tsunamis y por el *Tsunami Service Provider* (TSP).

Investigación

Dr. Alberto M. López Venegas
y Dra. Elizabeth Vanacore

Sismología

GRASP

El **Proyecto GRASP** representa una iniciativa inter-institucional para realizar un estudio sismológico en las Antillas Mayores. Este proyecto es liderado por el Dr. Jay Pulliam de la Universidad de Baylor, los investigadores de la Red Sísmica de Puerto Rico: el Dr. Víctor Huérfano y la Dra. Elizabeth Vanacore Maher, y el Centro Nacional de Sismología (CNS) de la República Dominicana. En este proyecto además participan las redes sísmicas regionales de Cuba, Islas Caimán, Jamaica, Haití, las instituciones de las Antillas Menores, así como el Servicio Geológico de los EEUU (*USGS*, por sus siglas en inglés). El objetivo principal es recolectar datos de manera continua para realizar estudios de micro-sismicidad, modelos de corteza, tomografía, estudios tectónicos y de la geometría de las fallas, entre otros. El proyecto inició en el 2015, con el despliegue de 16 estaciones sísmicas en la República Dominicana por un periodo de dos años (Figura 17). En este proyecto trabajan los estudiantes subgraduados del Departamento de Geología (UPRM), Ricardo Arrufat y Vianca E. Severino.

Enjambres de Terremotos

Esta investigación es parte de un proyecto de un estudiante graduado del Departamento de Geología (UPRM). El estudiante Francisco Hernández, supervisado por el Dr. Alberto López, ha tomado datos de la RSPR para el periodo del 2004 al 2016 y busca identificar el comportamiento de los enjambres sísmicos asociados a nuestra región con el objetivo de determinar dependencias espaciales y temporales que nos ayuden a entender el régimen tectónico del Caribe nororiental donde la placa de América del Norte subduce bajo la del Caribe. Francisco cursa su tercer y final año de su maestría y presentará su trabajo investigativo en el congreso internacional de la Unión Geofísica Americana (*AGU*, por sus siglas en Inglés) en diciembre 2017.

Tensores de Momento

Los tsunamis en el Caribe han afectado a varios países, incluyendo América Central y el norte de Sudamérica. Por ejemplo, dos grandes terremotos;

uno en 1867 en las Islas Vírgenes Americanas y otro en 1918 en el oeste de Puerto Rico produjeron tsunamis que causaron muertes y cuantiosas pérdidas económicas. Para reducir o evitar las víctimas en caso de terremotos tsunamigénicos es importante mejorar los sistemas de alerta de tsunamis. Para llevar a cabo esto es fundamental caracterizar de una manera rápida y precisa el terremoto, es decir, determinar parámetros como la localización, la magnitud y el mecanismo focal. Dos estudiantes de maestría del Departamento de Geología (UPRM) laboran en proyectos asociados a la determinación de los parámetros de ruptura de terremotos de la Región Puerto Rico e Islas Vírgenes. El estudiante Fernando Martínez, supervisado por el Dr. Alberto López, ha culminado su trabajo de investigación utilizando el programa **Time-Domain Moment Tensor (TDMT)**, por sus siglas en inglés). Mientras que el estudiante Iván Casallas Nope, bajo la supervisión del Dr. Víctor Huérfano, utiliza la **Fase W** del tren de ondas en un sismograma, una fase de periodo largo que llega entre la Onda P (primaria) y la Onda S (secundaria), para caracterizar rápidamente y de forma fiable terremotos moderados y grandes. En un período de tiempo oportuno dependiendo de la escala de implementación (regional o global), una buena caracterización del evento sísmico se puede obtener utilizando la inversión de la Fase W. Este proyecto busca aplicar la inversión de la Fase W para evaluar la pertinencia de esta, como una alternativa para determinar los parámetros de fuente de los terremotos con magnitudes iguales o mayores a 6.0 en la región del Caribe y basados en los resultados explorar la posibilidad de una eventual implementación en la operación rutinaria de la Red Sísmica de Puerto Rico. Los primeros resultados después de haber aplicado la inversión de Fase W a 40 terremotos, demuestran que es el método apropiado para calcular la magnitud y mecanismo focal, inclusive para eventos con $M_w \geq 5.8$. Esta investigación, con la que cuenta con la asesoría del Dr. Luis Rivera (profesor de la Universidad de Estrasburgo, Francia) será presentada en el congreso de la Sociedad Americana de Sismología (*SSA*, por sus siglas en Inglés) en abril 2017.

Tomografía de Puerto Rico e Islas Vírgenes

La tomografía es una técnica que nos permite estudiar el interior de la Tierra a partir de un arreglo sísmico de un área en específica. El proyecto consiste de generar unas imágenes tomográficas con el objetivo de desarrollar un modelo de velocidad de Ondas-P de

alta resolución de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Estas imágenes funcionan como ventanas para ver estructuras en la litósfera, el manto superior y el modelo nos indicará la velocidad de las ondas en la región. De igual manera estos datos ayudan a identificar la rigidez o integridad litosférica de la microplaca de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Además este estudio pretende determinar la ubicación y geometría de la placa subducida de América del Norte, moviéndose en el manto superior de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Este proyecto, realizado por el estudiante graduado del Departamento de Geología (UPRM), Ricardo Méndez Yulfo, supervisado por la Dra. Elizabeth Vanacore, nos permitirá obtener información valiosa sobre la estructuras tectónicas y la evolución de la región en estudio.

Estructura de la corteza y el manto superior de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes

La comprensión de la estructura de velocidades de la corteza y el manto superior de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes no sólo proporciona información sobre la estructura tectónica sino que también provee un medio para mejorar el modelo de velocidad empleado en la RSPR y, posteriormente, mejorar las localizaciones de terremotos. En 2015 la Dra. Elizabeth Vanacore realizó un proyecto orientado hacia la formación de imágenes para mostrar la estructura de la corteza de Puerto Rico, así como la placa subducida debajo de la Isla, en donde se utilizó una técnica llamada análisis de la función del receptor. Actualmente se trabaja con medidas de anisotropía del manto en Puerto Rico y la República Dominicana. Estos datos son importantes para el conocimiento del estatus actual tectónico del Caribe Nororiental debido a que estudios de anisotropía del manto proporcionan una imagen de flujo del manto que mueve la placa caribeña. La estudiante subgraduada del Departamento de Geología (UPRM), Vianca Severino Rivas, colabora en este estudio bajo la asesoría de la Dra. Vanacore. Los resultados preliminares serán presentados en la reunión de la Sociedad Americana de Sismología (SSA, por sus siglas en inglés) en abril 2017.

Estructura sísmica cerca del límite del núcleo y el manto (*Core Mantle Boundary*)

La estructura de la parte inferior del manto, comúnmente conocida como ***D"***, es clave para entender la dinámica del manto y de toda la Tierra. Múltiples estudios han sugerido que la ***Capa D"*** tiene una estructura sísmica lateral heterogénea y puede ser la

región del origen de algunas plumas del manto que se originan en el límite entre el manto y el núcleo externo (***CMB***, por sus siglas en inglés). La investigación en este campo, liderada por la Dra. Elizabeth Vanacore, se centra en el uso de una combinación de cálculo y observación de la sismología para caracterizar la naturaleza y distribución de zonas de velocidad ultra bajas (***Ultra Low Velocity Zones, ULVZs***). Además de la Dra. Vanacore, este estudio contó con la colaboración del Dr. Michael Thorne (Universidad de Utah) y del Dr. Sebastián Rost (Universidad de Leeds). El proyecto consistió de dos componentes principales: primero fue desarrollar y analizar una librería de ondas sintéticas de alta frecuencia para diferentes geometrías y ubicaciones de ***ULVZs*** usando fases altamente sensibles a la estructura del ***CMB*** (ej. SKS). Segundo, desarrolló e implementó técnicas para el análisis rápido a tiempo real utilizando las formas de onda de SKS, para uso semi-automatizado de matrices sísmicas de gran tamaño (por ejemplo ***USArray***). Los resultados de esta investigación fueron publicados en el volumen 206-1 (julio, 2016) de la revista científica "*Geophysical Journal International*", bajo el título de "*Ultralow-velocity zone geometries resolved by multidimensional waveform modeling*".

Global Earthquake Model

El ***Global Earthquake Model*** (GEM, por sus siglas en inglés), es una iniciativa mundial para ayudar a todos los países a desarrollar planes de mitigación y protección civil, al entender la amenaza y el riesgo de ciertos eventos naturales como lo son los terremotos. La RSPR, participa en el esfuerzo regional del Caribe para construir las herramientas necesarias para el entendimiento de la problemática regional, teniendo como objetivo primario la actualización de los mapas de amenaza y riesgo por terremoto para Puerto Rico. En este esfuerzo colaboran todas las instituciones sismológicas del Caribe, así como observatorios de movimientos fuertes y universidades. Se espera que el primer modelo sísmico para el Caribe este disponible para comienzos del 2018.

Geodesia

Deformación de la corteza

La estudiante graduada Margarita Solares, del Departamento de Geología (UPRM), bajo la asesoría del Dr. Alberto López, está por culminar su proyecto de investigación referente a la estimación de la deformación de la corteza terrestre de la microplaca de Puerto Rico e Islas Vírgenes utilizando datos

continuos y de campaña de estaciones del sistema de posicionamiento global (*GPS*, por sus siglas en inglés). Un total de 15 estaciones (que recopilan datos continuos) son utilizadas para determinar los cambios en posición a través del tiempo y poder cuantificar la deformación de Puerto Rico. Esta deformación ocurre a lo largo de fallas dentro de Puerto Rico, y se cuantifica mediante estaciones permanentes que suman cinco años, mientras que las estaciones de campaña tienen un periodo de observación que suma dos décadas. El estudio de Margarita concluye varios puntos importantes, entre ellos; la porción suroeste de Puerto Rico posee un movimiento diferencial con el resto de la isla, lo que postula interesantes conclusiones sobre las fallas de Cerro Goden (en Lajas), Boquerón y Punta Montalva (en Guánica).

La RSPR es un punto focal alternativo de información de tsunamis para Puerto Rico e Islas Vírgenes según los protocolos de la UNESCO.

Tsunamis

Puerto Rico National Tsunami Hazard and Mitigation Program (NTHMP)

El Programa de Tsunamis de Puerto Rico ha sido administrado por la RSPR, por los pasados 10 años, con la subvención de NOAA y del Programa Nacional de Mitigación de Tsunamis de los Estados Unidos (*NTHMP*, por las siglas en inglés). Este programa incluye varios componentes tales como modelaje numérico educación y diseminación y el Componente *TsunamiReady*. Al día de hoy, 46 municipios han sido reconocidos como *TsunamiReady* por el Servicio Nacional de Meteorología (*NWS*, por las siglas en inglés), 44 costeros y dos no costeros pero que pueden ser impactados por tsunami, según los modelos. Adicional a este trabajo, miles de personas han sido impactadas de manera directa por el programa educativo de la RSPR, la cual también coordina a nivel local los ejercicios de tsunami (*CaribeWave*) y de terremoto (*ShakeOut*). Gracias a este programa, la isla cuenta con un Protocolo de Alerta de Tsunamis, y se ha instalado la tecnología necesaria para mantener las capacidades de recepción y diseminación de las alertas, un elemento vital para mantener las comunidades informadas en caso de cualquier emergencia por tsunami.

Intergovernmental Coordination Group for the Tsunami and other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions (ICG/CARIBE-EWS)

Con el objetivo de minimizar la pérdida de vidas y propiedad en caso de tsunamis, y después de la desafortunada experiencia del tsunami del Océano Índico del 2004, la UNESCO y su programa de tsunamis se dio a la tarea de coordinar un grupo interagencial para el Caribe (*ICG*, por sus siglas en inglés). El ICG CARIBE-EWS, es el programa de alerta ante tsunamis y otras amenazas costera, programa del cual participan sobre 48 estados miembros. Este grupo interagencial está conformado por cuatro grupos de trabajo, el primero es el relacionado al monitoreo y sistemas de detección, el segundo se encarga del estudio de la amenaza, el tercero coordina los servicios de alerta que se ofrecen a la región y el cuarto se encarga de ayudar en la preparación y la resiliencia de la región. La RSPR participa de manera directa en este esfuerzo, tanto como institución experta, así como proveyendo nuestros datos en tiempo real y experiencia para ayudar con el sistema regional. La RSPR es un punto focal alternativo de información de tsunamis para Puerto Rico e Islas Vírgenes según los protocolos de la UNESCO.

Deslizamientos submarinos

Batimetría, o topografía del suelo marino, de alta resolución recopilada por el *USGS* ha sido utilizada para revelar evidencia de deslizamientos submarinos del pasado en el entorno de nuestra región. Si éstos deslizamientos ocurrieron en el pasado de forma súbita, entonces es de esperarse que hayan generado tsunamis que afectaran las costas de Puerto Rico, y algunos de éstos de forma catastrófica. Para cuantificar estos efectos y estimar posibles daños en el futuro, el Dr. Alberto López ha estado modelando deslizamientos submarinos de forma numérica en las mismas áreas para simular tsunamis y cuantificar sus efectos. Actualmente se han generado deslizamientos submarinos hipotéticos al norte de la costa para estimar las alturas de las olas y la inundación de las zonas costeras. La estimación de los efectos se cuantifica para luego incorporarlos en los mapas de inundación existentes.

Climatología

El estudiante doctoral del departamento de Ciencias Marinas (UPRM), Rolf Vieten, examina sedimentos para reconstruir la historia climatológica de Puerto Rico y la cuenca del Caribe. Rolf está terminando sus estudios y espera graduarse en el año 2017. Durante

el año 2016, él y su consejero presentaron sus resultados en varias conferencias: el **Simpósio de Geología del Caribe** en Mayagüez, la **Conferencia de Karso, Contaminación de Acuíferos y Salud Pública** en San Juan; la **Unión Europea de Geociencias (EGU)**, por sus siglas en inglés) en Viena, Austria y en el **American Geophysical Union (AGU)**, por sus siglas en inglés). En el EGU Rolf participó en un curso corto sobre la instalación directa de sismómetros. Además publicó dos artículos y colaboró en la publicación de un manual de mareógrafos en el Caribe.

Desarrollo

Red de estaciones GPS

Visualización de datos a tiempo real

Las estaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), se han convertido en una herramienta indispensable para extraer información vital sobre el proceso de ruptura de un terremoto. Con el interés de poder visualizar los desplazamientos instantáneos de las estaciones de GPS en Puerto Rico, el grupo de desarrollo de la RSPS ha estado trabajando para desplegar en las pantallas de monitoreo la posición de las estaciones a tiempo real. Este proyecto utiliza los programas del **BKG (Agencia Federal Alemana para la Cartografía y Geodesia)** para recopilar y distribuir los datos de las estaciones en el campo (**NTRIP Server**) y para estimar el posicionamiento de punto preciso (PPP) de cada una de las estaciones. Cualquier desplazamiento observable en las estaciones puede ayudar a nuestros analistas a determinar a simple vista el lugar (según la estación) en dónde mayor movimiento ha ocurrido. En una próxima fase de este proyecto, se busca utilizar los diagramas de desplazamiento para computar parámetros de falla de manera rápida y eficaz.

Archivo de datos y *Geodetic Seamless Archive Center*

Los datos de nuestras estaciones de GPS se almacenan actualmente en un formato arcaico que no permite fácil acceso. Es por esta razón que se está implementando un sistema establecido por UNAVCO llamado *Geodetic Seamless Archive Center* (GSAC, por sus siglas en inglés) para organizar de manera coherente y eficiente los datos de GPS. Este sistema corre en una plataforma MySQL para ordenar los archivos que llegan de los equipos en el campo, y los ubica en el servidor para que los usuarios a través de un navegador puedan realizar búsquedas de datos disponibles y extraerlos para su uso. Estos sistemas ya han sido probados y están en funcionamiento actualmente en los centros de datos de COCONet en Colombia, Barbados y Nicaragua, y de TLALOCNet en México.

Portal de Red GPS

Este proyecto busca exponer y facilitar la información referente a los equipos de GPS de la RSPR. Actualmente cuenta con información de las estaciones, los equipos utilizados, proyectos activos y pasados que han utilizado los datos, y la información pertinente al acceso de los datos, ya sea por métodos del servicio NTRIP (a tiempo real), o datos que se almacenarán por el GSAC.

Portal de Investigaciones RSPR

Este proyecto pretende exponer en el portal cibernético de la RSPR los trabajos investigativos, proyectos, informes científicos, afiches presentados en congresos nacionales e internacionales y otros productos de la división de Investigación de la RSPR. Con el motivo de proveer, ya sea a colegas científicos o al público en general, esta información el portal se ha organizado por las secciones científicas en las que opera la RSPR: sismología, geodesia, tsunamis y mareógrafos.

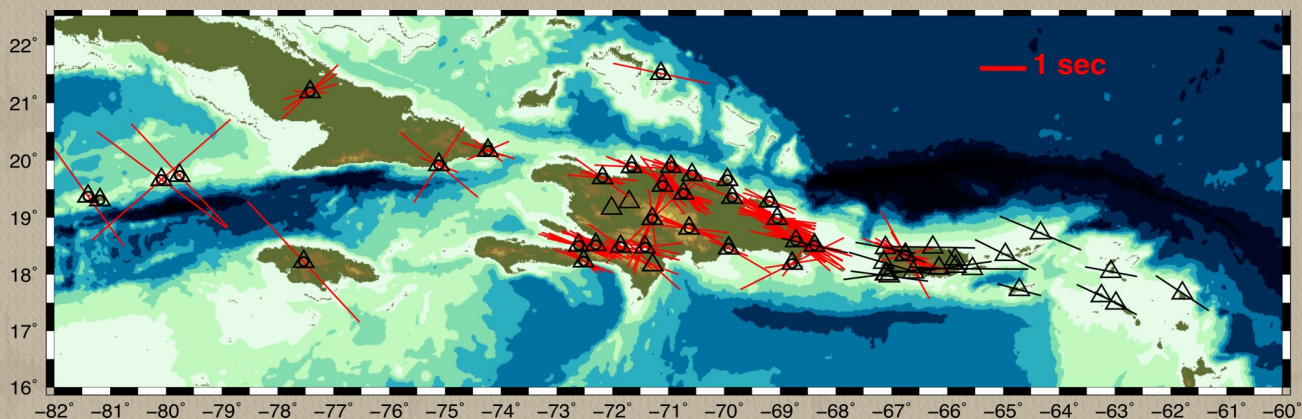


Figura 17:
SKS Seismic
splitting
measure-
ment for
PR and DR
(Hodges &
Miller,
2015)



Monitoreo de sistemas de detección automática y Desarrollo profesional (entrenamiento) de Analistas de Datos Geofísicos

José F. Martínez Colón

Durante el 2016 se continuaron trabajos de monitoreo y comparación de los sistemas de localización automática *Earthworm* y *EarlyBird*. El objetivo de este procedimiento es asegurar un mejor funcionamiento de estos sistemas e incrementar su precisión. Cada sistema tiene una programación particular para realizar las localizaciones automáticas de los eventos sísmicos. Por esto es necesaria una revisión periódica de los parámetros característicos de los temblores (como lo son: hora de detección, magnitud estimada, profundidad y localización). Las detecciones o localizaciones automáticas (proveniente de los sistemas) son comparadas con la localizaciones finales de los sismos realizadas por el personal de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos (APDG). Con esto se logra una configuración óptima de los sistemas que mejora significativamente la respuesta rápida a sismos locales, regionales y lejanos (según estipulado en los protocolos de RSPR.)

El segundo proyecto en desarrollo e implementación es el programa de desarrollo profesional y entrenamientos para analistas de datos geofísicos. En este proyecto se evalúa tanto a los analistas experimentados como a los analistas de nuevo reclutamiento, mediante módulos educativos, materiales audiovisuales y exámenes. Se evalúan y retroalimentan destrezas y conocimientos necesarios para cumplir con las labores esenciales y operaciones del Área de Análisis. Con la colaboración de los investigadores de la RSPR: el Dr. Víctor Huérfano, la Dra. Elizabeth Vanacore y el Dr. Alberto López, se provee oportunidad de crecimiento profesional y educación continua en conceptos avanzados de sismología y geofísica. Igualmente se participa de forma periódica en seminarios y talleres de preparación en los últimos adelantos en nuestro campo según provistos por agencias especializadas.

Catálogo histórico, "Train the Trainers" y Creación y desarrollo de módulos de entrenamiento de Analistas de Datos Geofísicos

Francis Pérez Ramos

En 2016 se continuó con el trabajo de recopilación de datos de terremotos históricos encontrados en los catálogos disponibles, de los cuales se recopila información de los sismos, como por ejemplo: magnitud, profundidad, intensidad, pueblos en los que fue sentido el evento, entre otros. Se comenzó a trabajar con el desarrollo de una propuesta para eventualmente incorporar a la página de internet el Catálogo Histórico de una manera dinámica e interactiva que muestre la información sobre los eventos históricos y significativos para la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes.

Se continúa trabajando en el "Train the Trainers", proyecto desarrollado por el área de Educación de la RSPR que está diseñado para proveer a los participantes (en especial a los manejadores de emergencias) un conjunto de herramientas educativas sobre los temas de terremotos y tsunamis. El taller enfoca los términos relevantes de los temas y la información estandarizada que se debe transmitir a la ciudadanía durante las charlas que se ofrecen los entrenados. El geólogo Francis Pérez colaboró como enlace experto, así como en el desarrollo y revisión de material educativo, módulos y diapositivas que se estarán usando para el taller. Se espera que este taller se lleve a cabo en el verano de 2017 con el apoyo de FEMA, AEMEAD y las OMME's.

En el 2016 trabajamos en el desarrollo de un nuevo proceso metódico, sistemático y cuantitativo para utilizarse como parte del entrenamiento a los Analistas de Datos Geofísicos de la RSPR. El objetivo de esta herramienta es poder contar con una medición cuantitativa del conocimiento que tiene el analista sobre los procedimientos, procesos y protocolos requeridos para las operaciones del Área de Análisis de la RSPR. Se espera así aumentar el conocimiento y confianza de los empleados en turno para que respondan efectivamente a terremotos y tsuna-

mis que afecten a nuestra región. Actualmente este proyecto se encuentra en su última fase, en donde se desarrollará el cuarto y último módulo para poder comenzar con el desarrollo de la segunda parte del proyecto, Desarrollo Profesional para Analistas de Datos Geofísicos.

Desarrollo de herramientas para el procesamiento de datos geofísicos

José M. Rivera Torres

Como parte de los trabajos operacionales en la RSPR, trabajamos en el entrenamiento, “*ShakeMap Processing in Puerto Rico*”, sobre la generación, uso y aplicaciones de los Mapas de Movimiento Fuerte (**ShakeMaps**). Este entrenamiento se llevó a cabo en el mes de julio de 2016. Contó además con la participación de los especialistas del Servicio Geológico de los EEUU (USGS, por sus siglas en inglés), David Wald y Bruce Worden. Se analizó y documentó los valores de las calibraciones de los acelerómetros utilizados en el programa *ShakeMapRevision*, el cual se utiliza para generar los shakemaps instrumentales de la RSPR. El proyecto de los *Shake Maps* se trabaja en conjunto con la Red de Movimientos Fuertes de Puerto Rico.

Entre las distintas herramientas utilizadas por el personal de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos se integró el **RSPRpad** al sistema de localización manual *PRSN Data Analysis and Information System (PRDANIS)* (Figura 23). El **RSPRpad** es una de las herramientas más utilizadas por el personal de APDG en el procesamiento de eventos sísmicos, ya que la misma sirve para almacenar de forma estandarizada en una de nuestras bases de datos la información de los eventos sísmicos que han sido procesados en los turnos.

Broadcast Server y Shakemaps

María Torres Vega

Como parte del mejoramiento del sistema de localización de la PRSN, se comenzó durante el 2015 con las pruebas del sistema mejorado de localización de eventos locales, conocido como *Puerto Rico Data Analysis and Information System (PRDANIS)*, el cual podrá calcular las magnitud MI y Md de los eventos. Durante el 2016 se trabajó en la fase inicial del proyecto que requiere la determinación de las calibraciones de las estaciones sísmicas de la RSPR. Esto ayudará a tener mejores localizaciones y magnitudes para los eventos sísmicos en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Durante el transcurso de los años, la RSPR ha estado almacenando datos de estaciones sísmicas y de los sistemas automáticos encargados de detectar los eventos. La RSPR adquirió una nueva unidad de almacenamiento en donde toda la data se estará depositando y asegurando su preservación. Esto facilitará una mejor organización de datos en RSPR y poder brindar un mejor servicio a las personas que soliciten los mismos. En el 2015 se comenzó un esfuerzo para la organización de toda la data histórica de la RSPR. En el 2016 se comenzaron a migrar los datos del 2014 y 2015 a la nueva unidad que consta de 100 TB. Se documentaron los días de intermitencia ocurridos durante este año. Estos trabajos se continuarán durante el 2017 con énfasis en mantener la base de datos lo mas completa posible.

El sistema *Broadcast Server* es utilizado para enviar toda la mensajería de eventos locales o con potencial tsunamigénico a las agencias de emergencia, prensa e individuos en la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes, mediante la utilización de los servicios de correo electrónico, mensaje de texto, portal electrónico oficial y redes sociales. Se continúa con la documentación del mejoramiento de este sistema. También se continuó con la documentación de los sistemas y servidores de la RSPR.

Los *ShakeMaps* (Figura 24), o mapas de movimiento fuerte, son representaciones gráficas del movimiento de la tierra, y son generados cuando ocurre un evento sísmico sentido o de apreciable intensidad. Durante el año 2016 se realizó el primer taller de ShakeMaps para los Analistas de Datos Geofísico de la RSPR, titulado “*ShakeMap Processing in Puerto Rico*”. Este taller se dividió en dos partes: en la primera parte se le explicó el procesamiento de los ShakeMaps al personal de análisis; mientras que en la segunda parte se le presentó a los investigadores del USGS (Bruce Worden y David Wald) el procesamiento de los mapas en la RSPR para su evaluación y comentarios. Durante este taller se recibieron recomendaciones de parte de los investigadores para el mejoramiento de nuestro procesamiento.

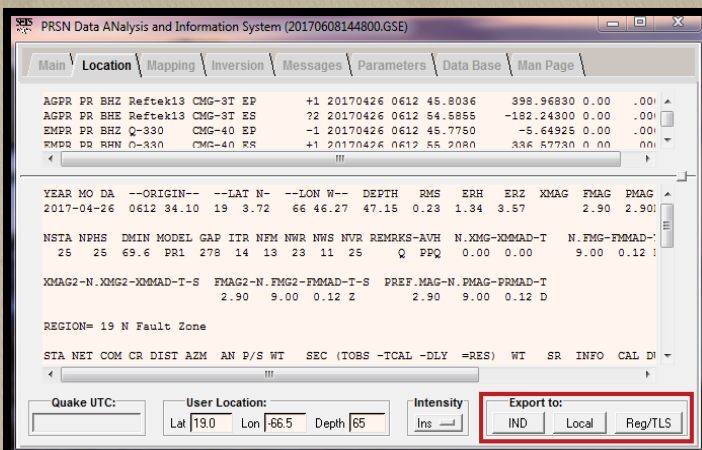


Figura 23: **RSPRpad** integrado al PRDANIS es una herramienta para almacenamiento de eventos sísmicos procesados. En el recuadro rojo se presentan algunos de los cambios al PRDANIS(RSPR-UPRM)

Una tercera fase se estará planificando para que estos expertos nos expliquen el funcionamiento de sus productos.

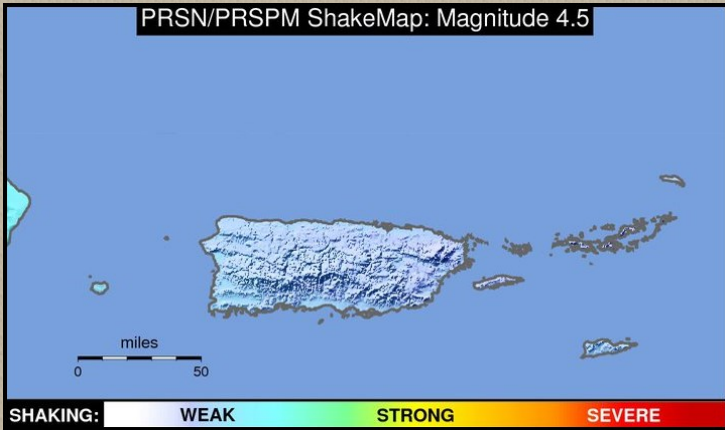


Figura 24: *Shakemap Observed* del sismo de magnitud 4.55 del 20 de marzo de 2016 (RSPR-UPRM).

Nivelación de estaciones mareográficas

Javier Charón Ramírez

La RSPR cuenta con estaciones de mareógrafos alrededor de toda la isla como parte de sus sistemas de monitoreo en tiempo real. Estos datos también se utilizan para establecer el nivel del mar a largo plazo. Estas estaciones se encuentran en las costas de Aguadilla, en el faro de Arecibo, muelle de Fajardo, en Yabucoa y las islas de Vieques y Caja de Muerto, en adición a los que opera NOAA. Cada año se requiere que se realice mantenimiento a este equipo para garantizar un funcionamiento óptimo del mismo. Los niveles medidos por los mareógrafos están calibrados a diez (10) discos de referencia (*benchmark disks*), distribuidos en los alrededores del mareógrafo con una distancia mínima de 60 metros entre sí. El propósito de estas marcas es tener puntos de control con elevaciones conocidas que sirven de referencia y monitoreo del mareógrafo. Un *benchmark disk* es una placa de bronce de aproximadamente cuatro (4) pulgadas de diámetro. El mismo se coloca con cemento hidráulico en una base sólida, que puede ser una de las columnas del muelle o un suelo competente. El último mareógrafo instalado por la RSPR es el que se encuentra en el muelle de la Isla de Caja de Muerto, en el Municipio de Ponce. A este mareógrafo se le colocaron cinco placas durante el verano del 2014. Por los próximos años se le añadirá un disco hasta completar los diez (10) requeridos. Los demás mareógrafos de RSPR ya tienen estos discos. La figura 25 muestra una vista transversal de un disco de referencia instalado. La figura 26 muestra uno de éstos instalado en el muelle de la Isla de Caja de Muertos. A estas marcas se les coteja su nivel con respecto al mareógrafo

cada año como parte de los trabajos de mantenimiento. El equipo utilizado para la nivelación consta de un Nivel Leica DNA03 y dos miras en aluminio de diez (10) pies de largo. Estos trabajos de nivelación requieren una precisión de segundo orden, primera clase, lo cual requiere un error de cierre menor de 6mm o 0.23 pulgadas. Para poder realizar los trabajos en la isla de Caja de Muertos se coordina con personal de Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), quienes autorizan las visitas. Debemos recordar que esta isla no cuenta con servicio de electricidad, por lo que para realizar los trabajos de instalación de las marcas en el área del muelle se utilizó una planta eléctrica portátil, y así poder usar taladros eléctricos. Los trabajos de nivelación son realizados por la profesora del Departamento de Ingeniería de UPRM y agrimensora licenciada Linda Vélez. Los trabajos de instalación en el 2014 estuvieron a cargo de la Agrimensora en conjunto con el Sr. Roberto Caraballo, Sr. Celestino Lucena y el Ing. Javier Charón EIT; estos dos últimos empleados de la RSPR. Los trabajos de nivelación en el 2015 contaron con la participación de la Dra. Elizabeth Vanacore, sismóloga de RSPR. Las duraciones de los trabajos de nivelación en la Isla de Caja de Muertos toman aproximadamente cinco (5) horas, en ocasiones con condiciones del tiempo y temperaturas extremas. Los trabajos de nivelación en Arecibo se realizan entre los meses de abril y mayo, mientras que los trabajos de los mareógrafos de Yabucoa, Fajardo y Vieques se realizan entre los meses de julio y agosto. Los trabajos de nivelación de estos últimos municipios pueden tomar hasta diez (10) horas, en parte por ser los meses más calurosos del año, y por evitar accidentes se realizan pausas necesarias para que el personal se hidrate. A pesar de que las condiciones de trabajo y la distancia que se tiene que viajar para llegar a los mareógrafos es considerable, los trabajos de nivelación se han realizado cumpliendo según requerido todos los años. Estos trabajos se realizaron siguiendo directrices federales.

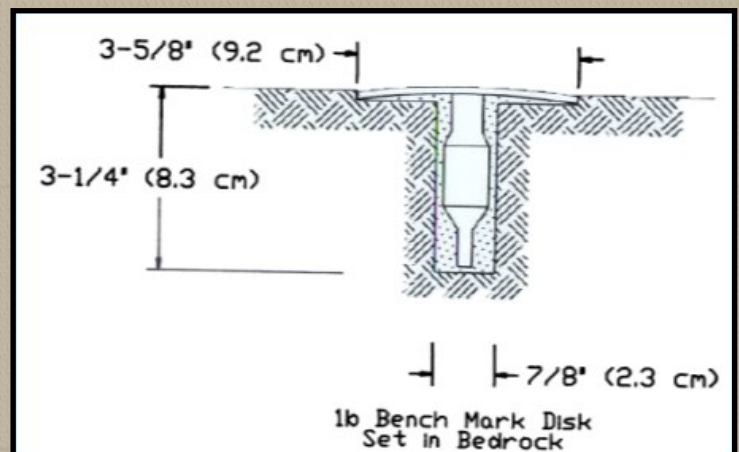


Figura 25: Vista transversal de un disco de referencia utilizado en las nivelaciones de estaciones. (RSPR-UPRM)



Figura 26: Vista de un disco de referencia en el muelle de la Isla Caja de Muertos. (RSPR-UPRM)

Monitoreo de Respuestas Operacionales y Base de Datos de Sismos Significativos y Sentidos

Garymar Rivera Rivera

Una parte esencial dentro del funcionamiento de la RSPR es la pronta respuesta operacional al momento de ocurrir un evento. Con el objetivo de evaluar y mejorar dicho proceso, se ha estado monitoreando las respuestas realizadas mediante la tabulación de alarmas a sismos detectados automáticamente ocurridas durante el año 2016. Hasta el momento se han procesado 355 alarmas correspondientes al periodo de enero a julio de 2016, de las cuales se ha establecido la duración de la respuesta a partir del tiempo en que comenzó la misma con la activación del sistema de alarmas, seguido del tiempo tomado en el procesamiento manual del evento para obtener los parámetros finales, y por último con el envío tanto de la información técnica del evento a nuestros catálogos como la comunicación de información de interés a las agencias pertinentes. Una vez terminada la tabulación del año 2016, se procederá a una evaluación más detallada de las respuestas operacionales realizadas a los eventos sentidos y de protocolo de tsunami, para así determinar que las mismas hayan cumplido con los estándares establecidos, y de ser necesario, identificar posibles mejoras a dichos procedimientos. También se ha estado trabajando, en conjunto con el Área de Cómputos, en la corrección y actualización de la información almacenada en la base de datos de sismos significativos y sentidos ocurridos en nuestra área de responsabilidad (Puerto Rico, Islas Vírgenes y el este de República Dominicana) mediante la revisión de los boletines generados durante las respuestas operacionales.

Proyecto Emergency Management Weather Information Network

Denyse Colón Lugo

El sistema **EMWIN** (*Emergency Management Weather Information Network*) es utilizado por manejadores de emergencias y funcionarios de seguridad pública para obtener información en tiempo real de pronósticos meteorológicos, aviso, advertencias y otros mensajes de emergencia que emite directamente el *National Weather Service*. El proyecto, en la RSPR, que comprende el sistema EMWIN se había enfocado anteriormente en crear un entrenamiento básico de la instalación y configuración de *Weather Message*. El *Weather Message* es el programa que decodifica y procesa los mensajes enviados por el *National Weather Service* (NWS) usando el servicio EMWIN, y los componentes necesarios para detectar la señal de satélite que nos permite recibir la mensajería. Este entrenamiento se logró integrar al **Taller de Operadores 2016**, en donde se adiestraron a un total de 140 operadores de manejo de emergencias de toda la isla en el tema de EMWIN, mensajería y alertas de tsunami, y protocolo de tsunami. Además, se creó un ejercicio práctico en donde los operadores pudieron aplicar lo aprendido del taller en un simulacro que involucraba el uso del software y la interpretación de la mensajería que brinda el sistema EMWIN y RSS en caso de un evento de tsunami. El monitoreo remoto de las computadoras EMWIN localizadas en municipios y zonas PREMA alrededor de la isla se continuó con la ayuda de estudiantes analistas que mensualmente verifican el estatus de las mismas. En adición, se incorporó una prueba mensual para el sistema RSS, la cual nos asegura que las computadoras EMWIN están recibiendo notificaciones RSS rápidamente cuando ocurren eventos sísmicos significativos.

Operaciones, Preparación y Continuidad

Gisela Báez-Sánchez

Durante este año se continuó actualizando el Manual de Operaciones y Procedimientos de la RSPR. El manual describe, entre otras cosas, los trabajos de las distintas áreas de la RSPR como lo son: Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos, Instrumentación e Investigación, Cómputos y Sistemas de Información, entre otros. Incluye además los trabajos de seguridad para el cumplimiento cabal de nuestra misión y los objetivos como institución de monitoreo sísmico y de tsunamis. El Manual describe todas las operaciones de la RSPR, desde la instalación de estaciones sísmicas, mareográficas y de GPS, la arquitectura de sistemas de información y comunicaciones, planes de respuesta a emergencias, protocolos y procedimientos en

el análisis y procesamiento de datos geofísicos, y por último la diseminación de productos de terremotos y tsunamis. Iniciativas recientes han buscado optimizar los protocolos para hacerlos más comprensibles a las diversas áreas de la RSPR, en especial aquellos relacionados a la actualización del sistema *Broadcast Server* durante la respuesta a terremotos sentidos y tsunamigénicos, así como la implementación de los *ShakeMaps* Instrumentales. El día 7 de julio se celebró un Taller de Entrenamiento para Analistas de Datos Geofísicos sobre Shake Maps brindado por el *United States Geological Survey*. Se trabajó además en la mejora de los sistemas de comunicación y diseminación de nuestros datos y productos de emergencia, con la instalación del equipo del *National Warning System (NAWAS)* de los EEUU, por parte de FEMA. Al igual que para mantener la continuidad de operaciones luego de una emergencia, como parte del programa federal conocido como **Plan COOP**.

El **Plan de Continuidad de Operaciones (Plan COOP)** es un requisito establecido a través de las directrices presidenciales: “*National Security Presidential Directive-51*” (NSPD-51), “*Homeland Security Presidential Directive-20*” (HSPD-20) y “*National Continuity Policy*”. Hemos participado mensualmente en los seminarios en línea de *COOP Webinar Series* de la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés), que cubren los distintos aspectos necesarios para la preparación de un plan de continuidad de operaciones. Es importante señalar que este año se puso a prueba exitosamente y se revisó el procedimiento en caso de **Fallo Servicio Eléctrico o de Internet**, en las nuevas facilidades de la RSPR, durante el apagón general en Puerto Rico en el mes de septiembre. Participamos además en el taller *Continuity Program Managers Train the Trainers* celebrado en Bayamón, Puerto Rico bajo la dirección de FEMA.

Por otro lado, durante el año 2016 participamos en la preparación y asesoramiento en varios **ejercicios** como el **FEMA Region II FRAP (First Responder Assistance Programs) Exercise** (13 de julio), **CARIBEWAVE 2016** (17 de marzo) y el

ejercicio anual de terremotos **ShakeOut 2016** (15 de octubre) (Figura 27). Estos ejercicios de prueba nos permitieron probar los protocolos y procedimientos vigentes en la RSPR para la emisión de mensajería de Terremotos y Tsunamis. Tanto el **CARIBEWAVE 2016** como el **ShakeOut 2016** la RSPR realiza ejercicios de comunicaciones con las agencias de emergencia en la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes. El 10 de abril de 2016 visitó las nuevas facilidades de la RSPR, el director del *Pacific Tsunami Warning Center (PTWC)*, el **Dr. Charles McCreery** (Figura 28). Esto para XXX el protocolo de información de tsunami para Puerto Rico e Islas Vírgenes.

CaribeWave 2016

Gisela Báez-Sánchez

Por octavo año consecutivo, se coordinó el ejercicio regional de tsunamis CARIBEWAVE 2016, con todas las agencias de respuesta a emergencias dentro de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes (área de responsabilidad de la RSPR). Este ejercicio es parte integral del mejoramiento continuo de nuestras operaciones y respuestas a emergencias, además es importante para nuestra labor como Tsunami Focal Point Alterno para Puerto Rico. Al igual que en años anteriores, la RSPR es la agencia líder en la implementación de este ejercicio de comunicaciones para Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Para el mismo se trabajó en conjunto con el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC, por sus siglas en inglés), el Programa de Alerta de Tsunamis del Caribe (CTWP, por sus siglas en inglés), NWS-NOAA, AEMEAD, FEMA, el Comité EAS de Puerto Rico y la Asociación de Radiodifusores de Puerto Rico, entre otras agencias. Este ejercicio se llevó a cabo el 17 de marzo de 2016.

En general, en la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes la participación en el ejercicio CARIBEWAVE 2016 fue exitosa. Se probaron las comunicaciones con: Agencia Estatal para el Manejo de Emergencia y Administración de Desastres (AEMEAD, Puerto Rico), Servicio Nacional de Meteorología

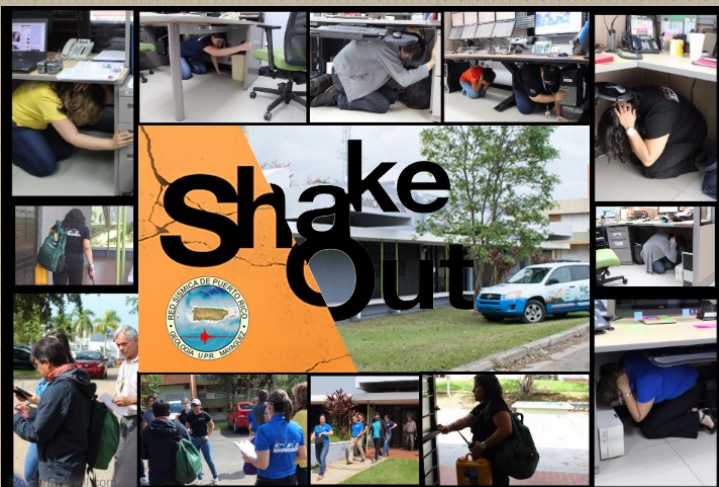


Figura 27: Ejercicios de terremotos SHAKEOUT 2016 (RSPR-UPRM)



Figura 28: Visita del **Dr. Charles McCreery**, director del *Pacific Tsunami Warning Center (PTWC)*. (RSPR-UPRM)

Oficina de Pronósticos de San Juan (SNM-SJ, Puerto Rico), *Department of Disaster Management* (DDM, British Virgin Islands), *Virgin Islands Territorial Emergency Management Agency* (VITEMA, US Virgin Islands), Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET, República Dominicana) y el Instituto Sismológico Universitario (ISU, República Dominicana). Entre los medios de comunicación de la RSPR probados están: el Sistema *Broadcast* (Sistema de Disseminación de Información de Terremotos y Tsunamis, figura 29), teléfonos dedicados (*ring downs*), radio frecuencia de AEMEAD, RSS News (RSPR), mensajería de texto (Listas de Emergencia-TWFP), listas de correos electrónicos (Emergencia, Prensa, Público, Registro LANTEX), fax y redes sociales. Se trabajó arduamente la actualización y migración de la página oficial del Ejercicio CARIBEWAVE 2016 de la RSPR (<http://redsismica.uprm.edu/caribewave/>) en plataforma Word Press (según requerido por la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez), en donde se publicaron todos los materiales desarrollados por la RSPR para el ejercicio y la promoción del nuevo Registro Oficial del Ejercicio (en Tsunamizone.org) según acordado con el IOC.

A partir del 17 de febrero de 2016 se realizaron pruebas previas al ejercicio para dar a conocer el CARIBEWAVE en la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Estas pruebas se emitieron los días 3, 8 y 16 de marzo de 2016, por todos los medios de comunicación disponibles en la RSPR (teléfonos dedicados, correos electrónicos, fax, mensaje de texto, RSS News, página oficial del ejercicio y redes sociales). Durante el ejercicio CARIBEWAVE 2016, 17 de marzo de 2016, emitimos un total de 15 mensajes. El primero, un recordatorio del ejercicio a las 8:00 am a las listas de servicio de público y registro (sobre 5,000 usuarios) y a las 9:00 am un mensaje de texto a las agencias de emergencia dentro de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes. El primer mensaje del CARIBEWAVE 2016 se emitió a las 10:00 am a través del RSS, listas de servicio (emergencia y prensa), Página Web y redes sociales, anunciando el comienzo del ejercicio. Además se emitieron 13 Boletines Oficiales de la RSPR con la información de Aviso, Advertencia y Cancelación de Tsunami (en español e inglés), según emitida por el PTWC en los productos domésticos para Puerto Rico e Islas Vírgenes. Todos los boletines (desde el #01 hasta el #13) se disseminaron a manejadores de emergen-

cias por Radio Frecuencia de AEMEAD, teléfonos dedicados, correos electrónicos, fax, mensaje de texto (a *Tsunami Warning Focal Points* y agencias de emergencias) y RSS News. Se disseminaron los boletines #01, #10 y #13 al público general, a través de listas de servicio por emails (público y registro CARIBEWAVE), página Web de la RSPR y redes sociales (Facebook y Twitter). En general, la disseminación de los productos a las agencias de emergencia en nuestra región transcurrió en tiempos adecuados de 0 a 3 minutos (por medios primarios como radio frecuencia, líneas dedicadas, RSS y SMS). A nivel de comunicaciones, se detectaron fallas menores en los sistemas de comunicación y disseminación de información. Se trabajó en la corrección inmediata de dichas fallas detectadas para que el ejercicio transcurriera cumpliendo con los objetivos trazados.

Durante el Ejercicio CARIBEWAVE 2016 se activó el sistema de EAS en coordinación con la Asociación de Radiodifusores de Puerto Rico a través de los medios de comunicación: radio, televisión, cable TV y radios NOAA. Se utilizó el código de alerta real de tsunami, TSW. El mensaje fue emitido a partir de las 10:05 AM el 17 de marzo de 2016, por el Servicio Nacional de Meteorología Oficina de Pronósticos de San Juan anunciando un Aviso de Tsunami para Puerto Rico, según establecido en el escenario del ejercicio. En la RSPR monitoreamos tanto la activación (pautada para las 10:05 am) del EMWIN, de los Radios NOAA, como del EAS para Puerto Rico. Puerto Rico tiene 46 municipios que están en el área susceptible a inundación por tsunami, 44 son costeros y han sido reconocidos como *TsunamiReady* por el NWS. Durante 2016 los otros dos municipios trabajaron para cumplir con los requisitos establecidos por las guías del programa *TsunamiReady*. Este ejercicio les permitió a estos y otros municipios comprobar su nivel de preparación y respuesta ante un tsunami. AEMEAD es la agencia encargada de brindar más información al respecto y la información relacionada a la activación de sirenas costeras de emergencia (que estaba pautada para comenzar a partir de las 10:05 am), así como el resultado de la distribución de los mensajes desde Control Estatal (en San Juan) hasta los TWFP (OMME's costeras). En el Registro Oficial del Ejercicio (en Tsunamizone.org), se reportó un total de 148,537 individuos participantes en la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes para el Ejercicio CARIBEWAVE 2016, de los cuales 140,875 son participantes de Puerto Rico (42,807 participantes más que en 2015), 2,928 de Islas Vírgenes Estadounidenses y 4,762 en Islas Vírgenes Británicas. Según el registro de participación de la RSPR para el ejercicio CARIBEWAVE 2016 participaron entidades internacionales, estatales, federales y empresas privadas. Para la preparación de este ejercicio participamos en innumerables intervenciones de carácter educativo en la prensa radial y televisiva del país, además de incontables reuniones de preparación con las agencias de emergencia de nuestra región.



Figura 29: Ejercicio de Comunicaciones CARIBEWAVE 2016. (RSPR-UPRM)

Glorymar Gómez Pérez

Nuestro Programa Educativo es una iniciativa conjunta de la **Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR)** y el **Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico (PMFPR)**. Recibe además la aportación de NOAA a través del Programa Nacional de Amenaza y Mitigación de Tsunamis (NTHMP, por sus siglas en inglés).

Durante el año 2016, el Programa Educativo de la RSPR ofreció un total de **188 actividades educativas** tanto en nuestras facilidades como en diferentes municipios de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. La RSPR impactó de manera directa un total de **17,605 personas** en comunidades, escuelas públicas, escuelas privadas, iglesias, agencias públicas (estatales y federales), agencias privadas, oficinas de manejo de emergencias, hospitales, entre otros. Igualmente se ofrecieron **98 entrevistas** a través de diferentes medios masivos de comunicación. Continuamos con nuestra intervención radial semanal en Radio Casa Pueblo de Adjuntas (todos los viernes). Recibimos además una gran cantidad de estudiantes solicitando ayuda para sus proyectos de feria científica y asignaciones. Participamos en varios programas de comunicación a nivel universitario como lo es, **Foro Colegial**, el cual se transmite a través de Radio Universidad de Puerto Rico.

En este año, personal de la RSPR participó en la **Conferencia Nacional de Terremotos** que se llevó a cabo en mayo en la ciudad de Long Beach, California. Este evento se celebra cada cuatro años y reúne a cientos de expertos a nivel nacional para compartir los últimos avances en la ciencia de terremotos, mejores prácticas de educación, avances en códigos de construcción y nuevas políticas para mejoramiento de resiliencia. Durante este evento también se celebró la reunión anual de los manejadores de emergencia en terremotos, en donde la RSPR presentó los trabajos de nuestra agencia y los planes educativos a corto y largo plazo. En esta actividad la RSPR proveyó dos entrevistas para el programa nacional **Al Rojo Vivo** y una entrevista para un periódico local. La RSPR continuó con el contrato con la **Asociación de Radiodifusores de Puerto Rico** para la emisión de pautas radiales educativas diarias a través de las emisoras adscritas a dicha asociación en Puerto Rico. Además, trabajamos activamente en el **Ejercicio CaribeWave 2016**, el 17 de marzo de 2016. El programa de educación también participó como exhibidor en la **Conferencia Anual de la Asociación de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico**. Personal del área de educación participó en ferias informativas en el evento del **Ecoexporatorio**, en varios centros comerciales de la Isla. Se llevaron a cabo

igualmente, tres talleres del **Currículo de Tsunamis** para maestros en la UPR Recinto de Humacao. El área de educación participó con una charla informativa en el Simposio de Ingeniería Civil del RUM. El estudiante graduado, Víctor Flores formó parte del **AGU 2016**, presentando el poster del trabajo de RSPR en el programa **Tsunami Ready Supporters**.

El 20 de octubre de 2016, celebramos por quinta vez consecutiva en Puerto Rico el ejercicio de protección en caso de terremotos "**El Gran ShakeOut de Puerto Rico**". La RSPR con la colaboración de la Asociación de Radiodifusores, el Comité EAS de Puerto Rico, la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres, y el *National Weather Service* en San Juan, se diseminó y promovió la participación de toda la ciudadanía en dicho ejercicio. A las 10:20 a.m. del 20 de octubre, miles de puertorriqueños practicaron el método sugerido para protegerse durante un terremoto fuerte: **agacharse, cubrirse debajo de un objeto resistente y sujetarse del mismo por un minuto** (Figuras 27 y 30). A todo aquel interesado en participar (comunidades, escuelas públicas y privadas, iglesias, agencias públicas y privadas, manejadores de emergencias, hospitales, etc.) se les orientó para que visitaran y se registraran en la página oficial de internet del Gran ShakeOut de Puerto Rico (<http://shakeout.org/puertorico/>). El simulacro fue todo un éxito y se registraron más de **563,000** personas en todo Puerto Rico. Simultáneamente, se realizaron pruebas de los diversos sistemas de comunicaciones en caso de terremotos y tsunamis (Figura 27), en colaboración con AEMEAD y el Sistema de Alerta de Emergencia de Puerto Rico (EAS).

Nuestra agencia también figura como participante y colaborador en el desarrollo de la página **TsunamiZone.org**, cuyo propósito es proveer información a las comunidades sobre los tsunamis y

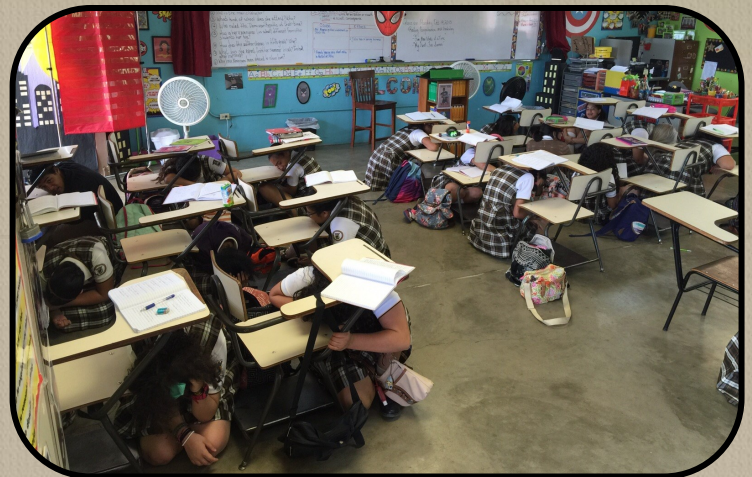


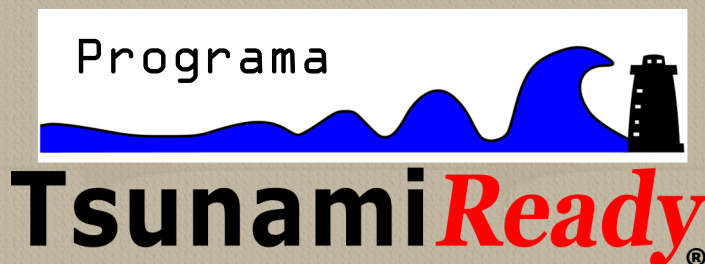
Figura 30. Ejercicio ShakeOut, 15 de octubre de 2015. (RSPR-UPRM)

provee la oportunidad para que todos los territorios participantes, incluyan y promuevan sus actividades de preparación en caso de tsunami durante la semana de concienciación de tsunamis. El programa de educación de la RSPR fue parte de la colaboración, revisión y traducción de la página TsunamiZone.org al español. El área de educación de la RSPR trabajó en la traducción y revisión del **Programa QuakeSmart**, que desarrolla una iniciativa de recuperación para pequeñas empresas y organizaciones en caso de terremotos. Este programa es parte del Plan de Continuidad de Operaciones de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés). La RSPR ofreció este taller a todos los empleados del Hotel Gran Meliá en Río Grande.

Por otra parte, se estuvo trabajando en el desarrollo de los módulos y presentaciones que formarán parte del adiestramiento para manejadores de emergencia que ofrecen conferencias a las comunidades. Este **Train de Trainers** consiste en un total de cinco módulos que se presentarán en tres días de adiestramiento. Cada participante tendrá el material escrito y las presentaciones en *Power Point*. El último día los participantes podrán ofrecer unas presentaciones cortas en donde personal de la RSPR podrá evaluar su desempeño y ofrecer recomendaciones. Además, se desarrollaron una serie de casos que presentan escenarios específicos de terremotos, para que los participantes puedan evaluarlos y así desarrollar su estrategia de manejo de esa emergencia.

Este año, una de las estudiantes de educación fue a hacer un internado de verano en el Centro de Terremotos del Sur de California, ubicado en la Universidad Estatal del Sur de California. Ella participó en un programa GIS y recibió un entrenamiento para manejar las bases de datos del ejercicio ShakeOut en Puerto Rico.

Mediante una colaboración entre las áreas de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos y de Educación, el geólogo José F. Martínez Colón ha continuado la disseminación de cápsulas informativas a través de la emisora Radio Casa Pueblo. Estas intervenciones contienen información de sismos recientes, al igual que proveen un dato educativo semanal. Nuevas cápsulas son transmitidas todos los viernes a las 9:25 am por la estación 1020 AM, y publicadas en las redes sociales Facebook y Twitter. Por otro lado, el geólogo comenzó una nueva serie de cápsulas llamada "Red Sísmica de Puerto Rico en Acción." En esta serie se informan en las redes sociales la participación, reconocimientos y actividades tanto de la RSPR como de otras entidades.



Roy Ruiz y Wildaomaris González Ruiz

El programa **TsunamiReady**® es un componente del **National Tsunami Hazard Mitigation Program** (NTHMP). La RSPR administra este programa gracias a una subvención de la NOAA. El mismo, es un esfuerzo nacional coordinado para documentar la amenaza real a tsunamis de nuestras costas, preparar las comunidades para que puedan responder ante esta amenaza, establecer sistemas de alerta temprana y minimizar la pérdida de vidas y propiedades. Para el 2016, los trece municipios que estaban pendientes para renovar su reconocimiento el programa *TsunamiReady*, fueron renovados por el Servicio Nacional de Meteorología como se define en la Tabla 3.

Para el mes de julio de 2016, gracias al esfuerzo de la RSPR, se alcanzó el logro de "Todo Puerto Rico

Tabla 3: Municipios reconocidos como Tsunami-Ready durante el 2016 (RSPR-UPRM)

| Municipio | Fecha de reconocimiento | Reconocimiento |
|-------------|-------------------------|----------------|
| Guánica | 31/marzo/2016 | 1ra Renovación |
| Fajardo | 15/abril/2016 | 1ra Renovación |
| Naguabo | 3/mayo/2016 | 1ra Renovación |
| Ceiba | 1/julio/2016 | 1ra Renovación |
| Maunabo | 6/octubre/2016 | 1ra Renovación |
| Yabucoa | 16/septiembre/2016 | 1ra Renovación |
| Patillas | 25/agosto/2016 | 1ra Renovación |
| Humacao | 25/agosto/2016 | 1ra Renovación |
| Luquillo | 16/septiembre/2016 | 1ra Renovación |
| Camuy | 14/julio/2016 | 1ra Renovación |
| Culebra | 31/agosto/2016 | 1ra Renovación |
| Barceloneta | 19/agosto/2016 | 1ra Renovación |
| Manatí | 20/abril/2016 | 2da Renovación |
| Bayamón | 20/abril/2016 | Nuevo |
| Canóvanas | 31/mayo/2016 | Nuevo |

TsunamiReady'. Esto significa que hoy día los 44 municipios costeros y dos (2) no costeros (Bayamón y Canóvanas) han adoptado las guías del programa **TsunamiReady** como la base para preparar sus planes de respuesta ante eventos de tsunami y cuentan con puntos focales de aviso 24 horas los 7 días de la semana (24/7). Este logro tomó cerca de 10 años poder completarlo. Como parte de dicha celebración se divulgó un comunicado por parte de la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (AEMEAD) y se hizo una rueda de prensa dando a conocer a los medios y al país este gran logro alcanzado. Puerto Rico se convirtió en la primera jurisdicción de habla hispana en ser reconocida **TsunamiReady** en su totalidad. Por tal motivo, el Servicio Nacional de Meteorología (SNM) y la Administración Nacional Atmosférica y Oceanográfica (NOAA por sus siglas en inglés) otorgaron nueve (9) certificados **TsunamiReady Champion** a todas las personas responsables de alcanzar tal logro. Cabe resaltar que muy pocas personas han logrado dicho reconocimiento por parte de la NOAA en toda la Nación Estadounidense de lo cual nos sentimos muy orgullosos (Figura 31).

Durante el 2016 varios municipios recibieron apoyo para su renovación **TsunamiReady** dado que dicho reconocimiento es otorgado por el SNM por espacio de tres años. Otra iniciativa del programa, que inició durante el 2015, fue la el proyecto de letreros informativos para varios balnearios de Puerto Rico administrados por la Compañía de Parques Nacionales y otros por las administraciones Municipales. Durante el 2016 este proyecto pudo ser completado (Figura 32) sumando así un total de 21 letreros entregados para un total de 18 balnearios y lugares de interés. Para futuras propuestas se contempla el poder ampliar este proyecto a otros balnearios de la Isla.

Como parte del trabajo educativo del programa **TsunamiReady**, durante el mes de julio se ofreció el **Taller de Operadores 2016**. Se ofrecieron dos (2) secciones del taller en dos zonas de Puerto Rico (San Juan y Mayagüez) dirigido al personal de manejo de emergencia y despachadores que laboran en los puntos focales de aviso 24/7 los cuales tendrían que atender la emergencia en caso de un aviso de tsunami para Puerto Rico (Figura 33). En estos talleres se impactaron sobre 180 manejadores de emergencias. También, durante el mes de septiembre, se ofreció el **Tsunami Media Kit** o taller de tsunamis para los medios de Puerto Rico el cual incluyó una guía de tsunamis para los medios (Figuras 34 y 35). Dicho taller se ofreció en las facilidades de la Escuela de Fotoperiodismo en la Universidad de Puerto Rico en Río

Piedras. Dicho taller contó con la participación de estudiantes y profesores de fotoperiodismo. Como parte del taller presentaron diversos recursos de nuestra oficina, así como de la AEMEAD y SNM.

En nuestro esfuerzo por continuar aportando herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la preparación de nuestras comunidades, en el 2015 se comenzó a desarrollar el primer modelo de desalojo a pie utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) y la herramienta **Pedestrian Evacuation Analyst**, desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Se tomó la zona de desalojo de Mayagüez como proyecto piloto. Este modelo arrojó resultados muy interesantes que ayudaron a evaluar los tiempos de desalojo de nuestras comunidades costeras. Durante el 2016 extendimos este proyecto a 3 municipios más (Aguadilla, Ponce y Arcibo) permitiendo mejorar nuestra metodología y refinar este nuevo concepto de análisis en Puerto Rico. Las figuras 35 y 36 muestran los mapas finales como resultado de este modelo. Todos los datos de este análisis, y mucha otra información de los mapas de desalojo, la puede acceder en un mapa interactivo a través de nuestro portal de internet: <http://redsismica.uprm.edu/tsunamiready>.

Finalmente se trabaja en la nueva propuesta para el próximo año la cual incluirá nuevas renovaciones, extender el programa para incluir facilidades que quieran apoyar el programa como **TsunamiReady Supporters** incluyendo agencias gubernamentales entre otros. Se continúa trabajando para mantener a Puerto Rico como modelo a seguir dentro del programa **TsunamiReady** a nivel nacional e internacional.



Figura 31: Conferencia de prensa y actividad de reconocimiento **Todo Puerto Rico TsunamiReady** (RSPR-UPRM)



Figura 32:
Proyecto de letreros
informativos de
TsunamiReady
(RSPR-UPRM)



Figura 33:
Taller de operadores
2016 en San Juan
(RSPR-UPRM)



Figura 34: Taller de Tsunamis para los Medios (MEDIKIT)
(RSPR-UPRM)

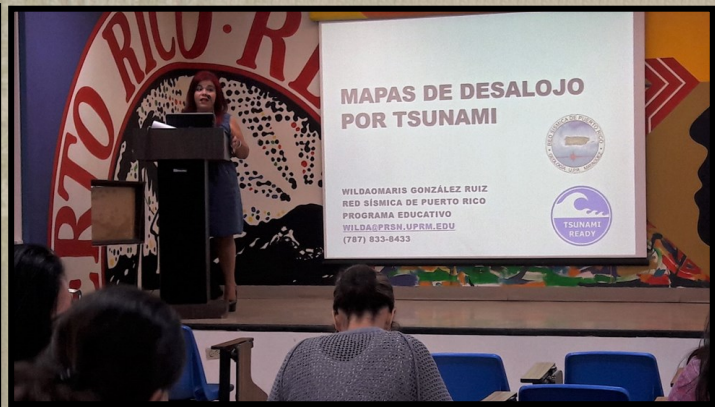


Figura 35: Presentación de mapas de desalojo en el
MEDIKIT. (RSPR-UPRM)

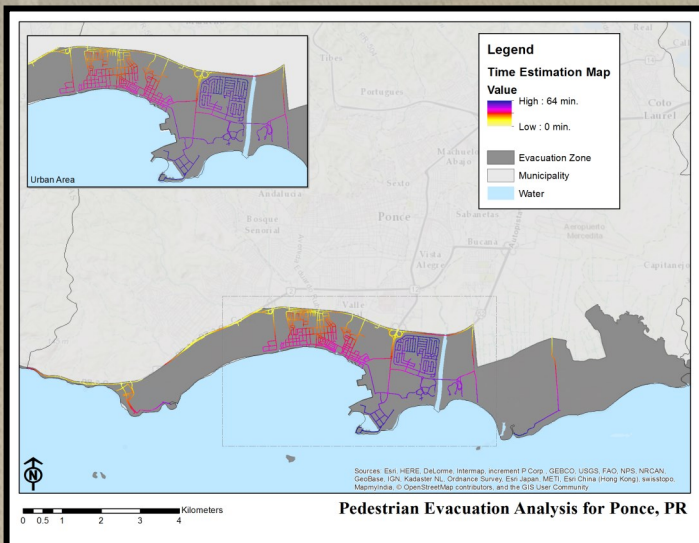


Figura 36: Mapas de desalojo a pie para el municipio de
Ponce (RSPR-UPRM)

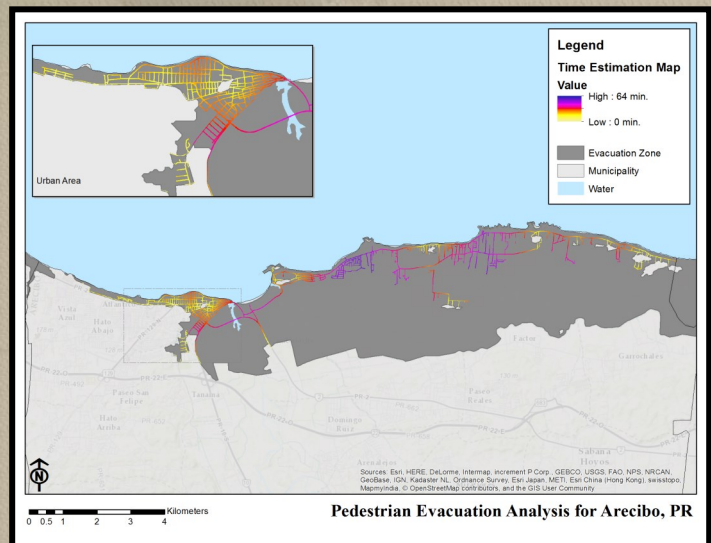


Figura 37: Mapas de desalojo a pie para el municipio de
Arecibo (RSPR-UPRM)

Impacto al Público y la Comunidad

Ángel Feliciano, Haniel Cordero y Gisela Báez-Sánchez

El grupo de Cómputos y Sistemas de Información está encargado del diseño, desarrollo, análisis, monitoreo y mantenimiento de los sistemas de cómputos e información de la RSPR. Estos sistemas son parte esencial de la respuesta a terremotos y tsunamis, así como el monitoreo rutinario de los datos geofísicos. El servicio esencial lo brindamos al grupo de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos quienes aseguran las operaciones 24/7, con el soporte técnico, adquisición y mantenimiento de equipo de computación. Parte de nuestro grupo de trabajo diseña, mantiene y actualiza la página web de la RSPR y sus nodos de servicio. Otro grupo diseña y desarrolla los programas que permiten el despliegue de datos al público y comunidad científica y el monitoreo de las operaciones de la RSPR. Provee además asistencia a los usuarios de las aplicaciones de la RSPR (como el RSS y las aplicaciones móviles). Entre los servicios provistos al público para el despliegue rápido y sencillo de información de terremotos y tsunamis están la página oficial redsismica.uprm.edu y las redes sociales Facebook ([redsismicadepr](https://www.facebook.com/redsismicadepr)) y Twitter ([@redsismica](https://twitter.com/redsismica)).

En el 2016 el impacto al público y la comunidad local e internacional a través de la página web oficial de la RSPR lo podemos observar en las estadísticas anuales. Este año tuvimos 113,573 usuarios en el nodo primario y 68,065 en el nodo secundario (Figura 38). De los cuales 47 % fueron nuevos usuarios y 53% fueron usuarios recurrentes en el nodo primario. Para el nodo secundario reportamos un total de 38.2% nuevos y 61.8% recurrentes. Los *pageviews* combinados para este año alcanzaron los 455,154.

Los meses de mayor visitas a nuestro portal web fueron febrero y diciembre (Figura 39). Este comportamiento se debe a que en el mes de febrero hubo un sismo intensidad IV en Mayagüez y para el mes de diciembre se reportó un sismo de intensidad V en el área de Fajardo,

P.R. Esto se refleja en las estadísticas de visitas a la página web con 19,410 sesiones para diciembre y 9,189 para febrero (Tabla 4). Los 5 países que más visitaron nuestra página oficial de internet en 2016 fueron: Puerto Rico, Estados Unidos, República Dominicana, Colombia y México. En la plataforma social Facebook comenzamos en enero del 2016 con 329,383 seguidores y culminamos diciembre 2016 con un total de 359,272 seguidores. En este último año se ha visualizado una mayor respuesta por medio de las redes sociales. Este tipo de herramientas permiten impactar a miles de usuarios simultáneamente y mantenerlos adecuadamente informados sobre terremotos y tsunamis en nuestra región.

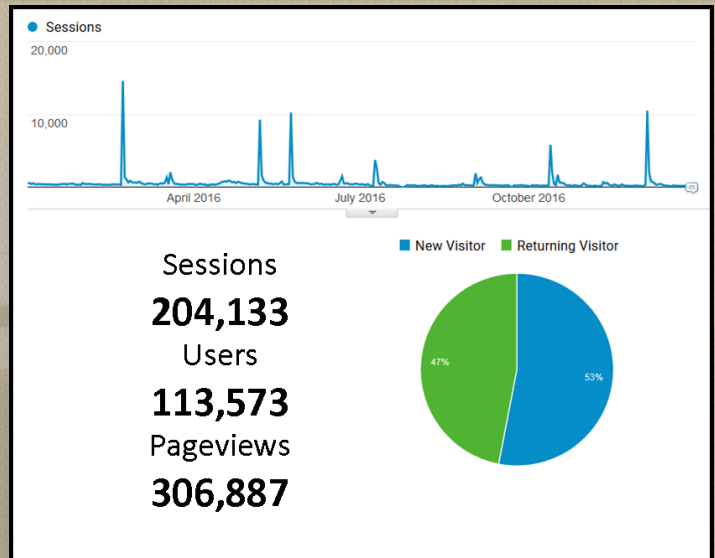
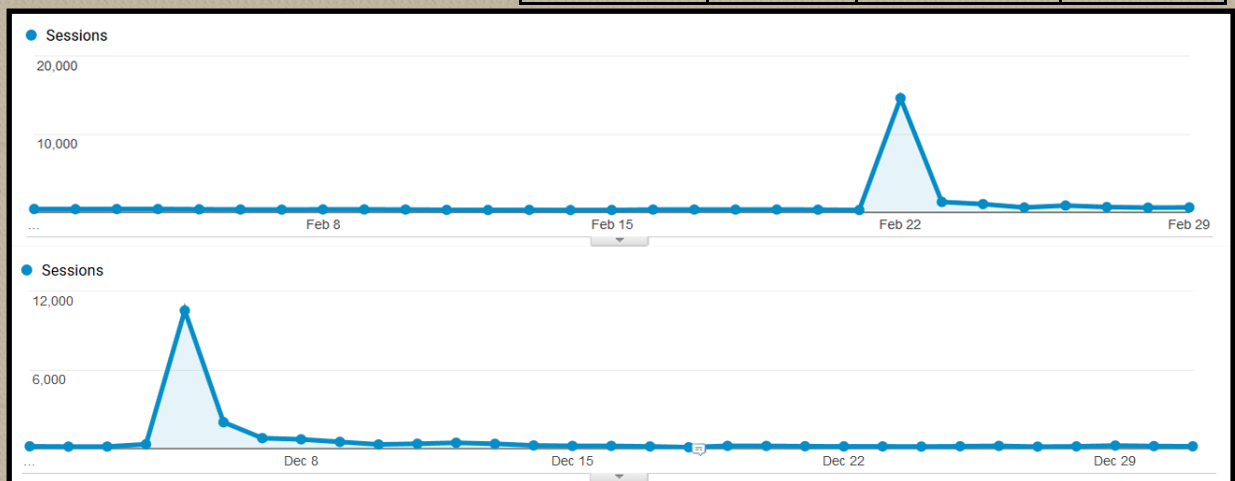


Figura 38: Cantidad de visitas recibidas en página web (nodo primario) de la RSPR del 1 de enero al 31 de diciembre 2016 (RSPR-UPRM).

Tabla 4: Datos página web (nodo primario) de la RSPR para el 2016 (RSPR-UPRM).

| Mes | Session | Pageviews | Users |
|-----------|---------|-----------|--------|
| Febrero | 9,189 | 12,846 | 6,648 |
| Diciembre | 19,410 | 27,048 | 14,729 |

Figura 39: Estadísticas de la página web para el evento del 22 de febrero y para el evento del 5 de diciembre de 2016 (RSPR-UPRM).



Durante el año 2016, el funcionamiento de 24 horas los 7 días de la semana, las mejoras y los proyectos realizados en la RSPR, fueron posibles gracias a la asignación de fondos de las siguientes agencias (como se muestra en la figura 40):

Fondos Locales

Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez

(UPRM)

Estado Libre Asociado de Puerto Rico

(Ley 106 de 2002, según enmendada)

Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y

Administración de Desastres (AEMEAD).

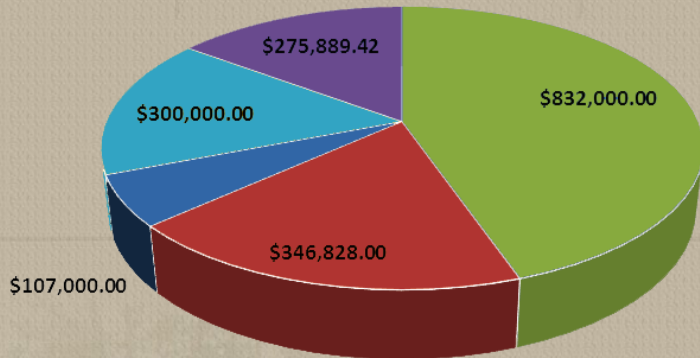
Fondos Federales

National Tsunami Hazard and Mitigation Program

(NTHMP)

National Oceanic and Atmospheric Administration

(NOAA)



■ Ley 106 (gobierno estatal)

■ UPRM (gobierno estatal)

■ NOAA Operaciones (gobierno federal)

■ NTHMP - NOAA (gobierno federal)

■ AEMEAD (gobierno estatal)

* Las investigaciones han sido financiadas tanto por fondos locales como federales.

Figura 40: Distribución de Fondos asignados a la Red Sísmica de Puerto Rico por agencias estatales y federales en 2016. (RSPR-UPRM).

Instalaciones de Equipo y Servicios

Universidad de Puerto Rico (UPR) - Recintos de Mayagüez, Aguadilla, Humacao, Ponce y Utuado

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA)

Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE)

United States Fish and Wildlife (USFW)

Hacienda La Esperanza, Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico (FCPR)

Sistema Universitario Ana G. Méndez Fundación Ángel Ramos (Observatorio de Arcibo)

Universidad Interamericana de Puerto Rico - Recinto de Guayama (UIPR)

Universidad de las Islas Vírgenes - Recinto de Saint Thomas (UVI)

Centro Residencial de Oportunidades Educativas de Mayagüez (CROEM - DE Puerto Rico)

El Obispado, Iglesia Católica de Ponce

Colegio Católico de Humacao

County Day School of Saint Croix

Convento Hermanas Misionera del Buen Pastor, Guaynabo

Department of Disaster Management (DDM, British Virgin Islands)

Oficina de Meteorología de Aruba

Las redes que contribuyen datos sísmicos al sistema regional de monitoreo, a través de la RSPR, son:

- Centro de Investigaciones Sísmicas, Universidad de las Indias Occidentales (Trinidad y Tobago)
- *National Earthquake Information Center (NEIC)*, Red Nacional de los Estados Unidos (USGS)
- *Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)*, Estados Unidos)
- *Lamont-Doherty Earth Observatory* (Estados Unidos)
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)
- Observatorio GEOSCOPE (Francia)
- Observatorio GEOFON (Alemania)
- *International Deployment of Accelerometers* (Universidad de California, Recinto de San Diego)
- Instituto Sismológico Universitario, Universidad Autónoma de Santo Domingo (República Dominicana)
- Instituto Meteorológico de los Países Bajos
- Observatorio Volcanológico y Sismológico de Guadalupe y Martinica (Antillas Francesas)
- Red Sísmica de las Islas Caimán
- Red Sísmica Nacional de Jamaica
- Red Sísmica Nacional de Colombia (Instituto Colombiano de Geología y Minería)
- Observatorio Volcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica
- Red Sísmica Nacional, Universidad de Costa Rica
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador
- Servicio Sismológico Nacional de México
- Universidad de Colima (México)
- Universidad Nacional Autónoma de México, Recinto de Querétaro
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua)
- Red Sísmica del Volcán Barú (Chiriquí, Panamá)
- Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá
- Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Venezuela)
- Departamento de Recursos Naturales de Canadá (Red de Haití)
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cuba)
- Centro de Sismología, Universidad de Sao Paulo (Brasil)

La Red Sísmica de Puerto Rico está reconocida como parte del *Advanced National Seismic System (ANSS)* de los Estados Unidos.



Figura 41: Algunas estaciones de las redes contribuyentes



Figura 42: Evolución de la RSPR en los últimos 2 años (RSPR-UPRM). Foto inferior vista aérea de la RSPR. (Foto cortesía de Javier Santiago. RSPR-UPRM)



Administración e Investigación

| | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Víctor Huérfano Moreno, PhD | Director e Investigador Asociado |
| Alberto López Venegas, PhD | Catedrático Auxiliar (Geología) |
| Elizabeth A. Vanacore Maher, PhD | Investigadora Auxiliar (RSPR) |
| Yamilette Vargas Rivera, MBA | Secretaria Administrativa III |
| Dalixza Irizarry Martínez | Secretaria Administrativa I |
| Annie M. Plaza Rodríguez | Recepcionista |
| Xiomara C. Herrera Avilés | Estudiante Graduada |
| Victoria Astudillo Garcés | Estudiante Graduada |
| Grace M. Soto López | Estudiante Subgraduada |

Programa Educativo y Tsunami Ready

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Glorymar Gómez Pérez | Oficial de Programas II |
| Wildaomaris González Ruiz | Oficial de Programas I |
| Roy Ruiz Vélez | Asociado de Investigación |
| Jesenia Figueroa Nieves | Estudiante Graduada |
| Víctor Flores Hots | Estudiante Graduated |
| Javier Maldonado Maldonado | Estudiante Subgraduado |
| Vianca Severino Rivas | Estudiante Subgraduado |

Instrumentación

| | |
|--------------------------|--|
| Juan Lugo Toro | Especialista en Instrumentación Científica |
| José Cancel Casiano | Especialista en Instrumentación Científica |
| Javier Santiago Acevedo | Especialista en Instrumentación Científica |
| Celestino Lucena Cabassa | Trabajador |

Computación y Telecomunicaciones

| | |
|------------------------|--|
| Ángel Feliciano Ortega | Especialista en Computación y Telecomunicaciones |
| Haniel Cordero Nieves | Diseñador de Página de Internet |
| Carlos Vélez Rodríguez | Programador de Sistemas Electrónicos II |
| Luis Reyes Febles | Estudiante Subgraduado |
| Carlos Rivera López | Estudiando Subgraduado |
| Juan Rivera López | Estudiante Subgraduado |
| Bryan Torres Vega | Estudiante Subgraduado |
| Bryan Muñoz Vázquez | Estudiante Subgraduado |

Análisis de Datos Geofísicos

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Gisela Báez-Sánchez | Auxiliar de Investigación III |
| Benjamín Colón Rodríguez | Auxiliar de Investigación II |
| María Torres Vega, M.Sc. | Auxiliar de Investigación II |
| Javier Charón Ramírez, M.E. | Auxiliar de Investigación II |
| Francis Pérez Ramos, M.Ed. | Auxiliar de Investigación II |
| José F. Martínez Colón, M.Sc. | Auxiliar de Investigación II |
| José M. Rivera Torres, M.Sc. | Auxiliar de Investigación I |
| Denyse Colón Lugo | Auxiliar de Investigación I |
| Garymar De Rivera Rivera | Auxiliar de Investigación I |
| Rolf Martin Vieten | Estudiante Graduado |
| Jessica Villagómez López | Estudiante Graduada |
| Sully A. Lebrón Rivera | Estudiante Graduada |
| Joshua Montañez Rivera | Estudiante Graduado |
| Ricardo Méndez Yulfo | Estudiante Graduado |
| Wilnelly A. Ventura Valentín | Estudiante Subgraduada |
| Edwin Irizarry Burgos | Estudiante Subgraduado |

INFORME ANUAL 2016

Gisela Báez Sánchez
Edición General

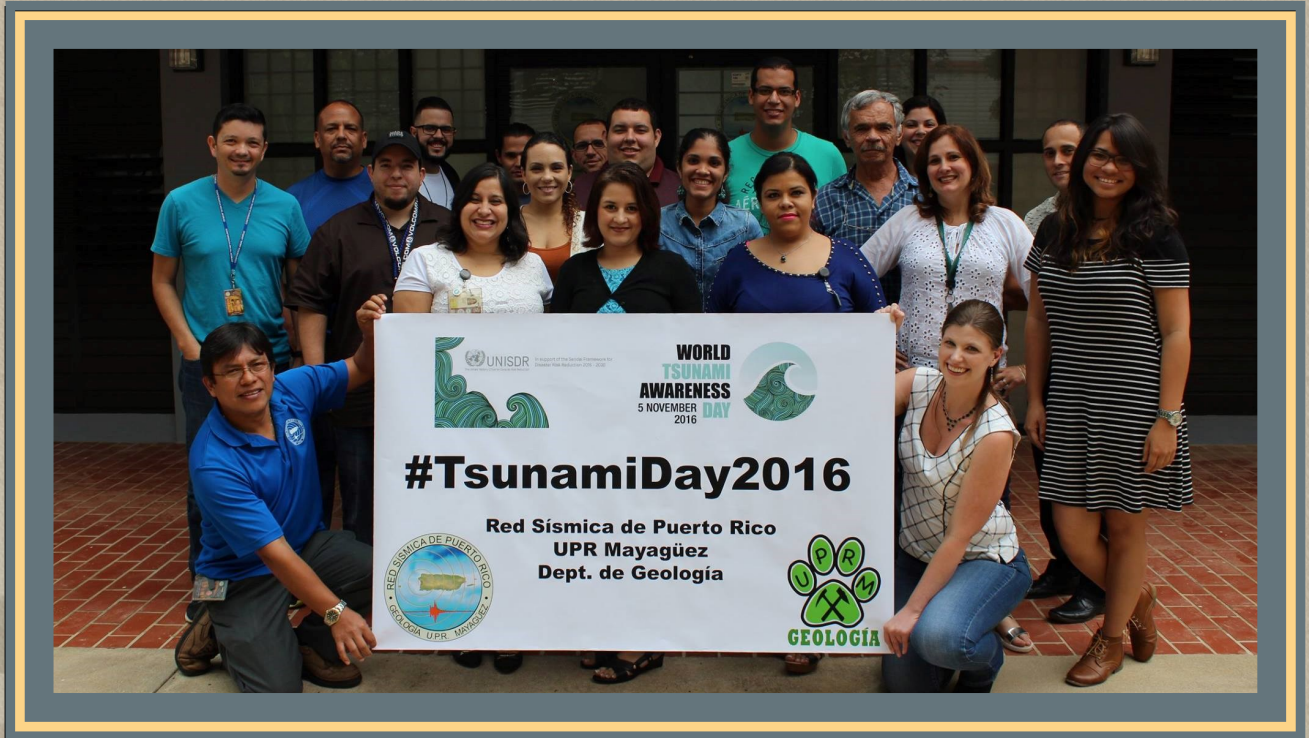
Francis Pérez Ramos
Benjamín Colón Rodríguez
José F. Martínez Colón
Wilnelly A. Ventura Valentín
Editores

Benjamín Colón Rodríguez
Diseño de portada

Derechos Reservados © 2017

El informe anual es una publicación de la Red Sísmica de Puerto Rico. Figuras, mapas y fotos con derechos reservados. Aprobado por el Director Interino. Dr. Víctor Huérfano Moreno.

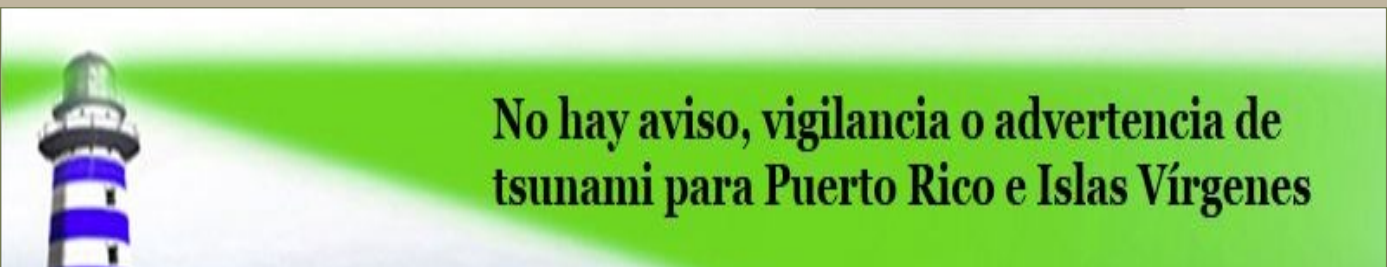
PERSONAL RED SÍSMICA DE PUERTO RICO

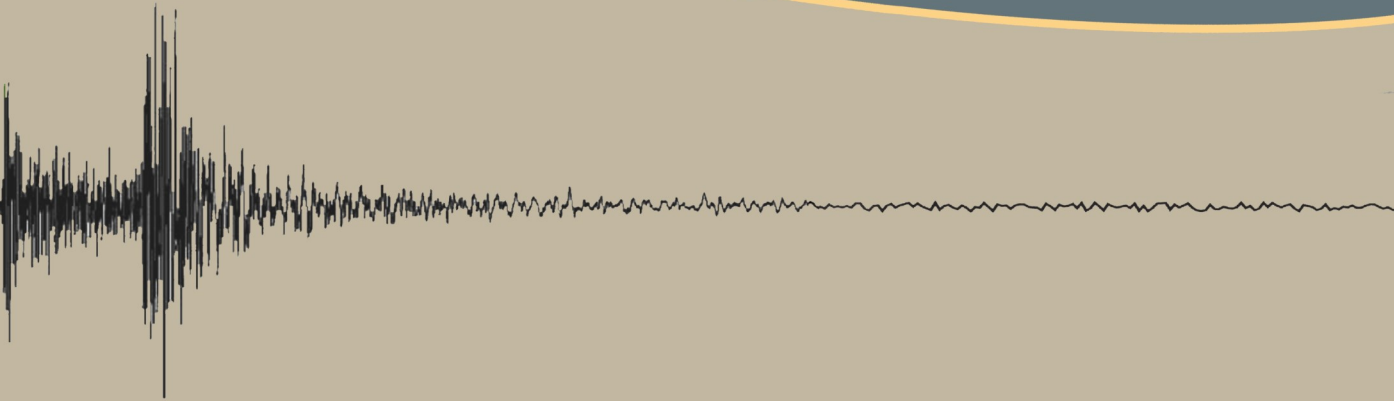


INFORME ANUAL 2016 RED SÍSMICA DE PUERTO RICO 2016

MENSAJERÍA DE TSUNAMI

Estos son los distintos *banners* que se actualizarán en nuestro portal cibernético oficial (<http://redsismica.uprm.edu>) según el mensaje de alerta de tsunami emitido para el área de responsabilidad de la RSPR.





Dirección Postal:

Departamento de Geología,
Recinto de Mayagüez,
Universidad de Puerto Rico, Call Box 9000,
Mayagüez, Puerto Rico, 00681- 9000

E-mail: staff@prsn.uprm.edu
Teléfono: 787-833-8433

