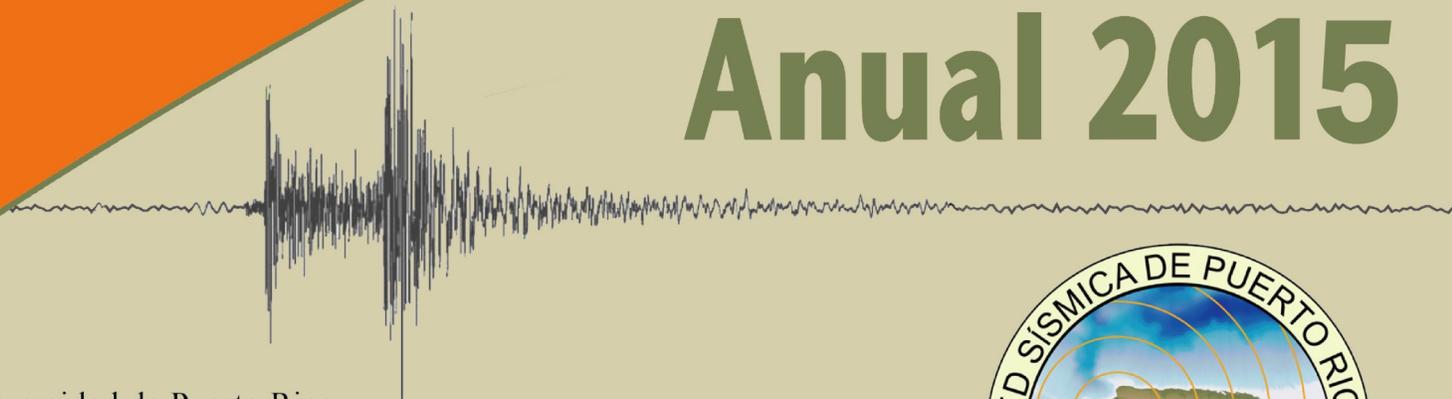




Informe Anual 2015



Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Red Sísmica de Puerto Rico
Departamento de Geología, Facultad de Artes y Ciencias
redsismica.uprm.edu





Personal RSPR

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	Estudiante Graduada
Grace M. Soto López	Estudiante Subgraduada
Doris Laguer Martínez	Estudiante Subgraduada

Programa Educativo y Tsunami Ready

Glorymar Gómez Pérez	Oficial de Programas II
Wildaomaris González Ruiz	Oficial de Programas I
Lorena Vázquez Arbelo	Estudiante Graduada
Jesenia Figueroa Nieves	Estudiante Graduada
Carolina Hincapié Cárdenas, MSc.	Asociada de Investigación
Roy Ruiz Velez	Asociado de Investigación
Angel Bruno Canales	Estudiante Subgraduado
Giovanni Seijo Díaz	Estudiante Subgraduado
Javier Maldonado Maldonado	Estudiante Subgraduado
Vianca Severino Rivas	Estudiante Subgraduado
Joshua Montañez Rivera	Estudiante Graduado

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
Ricardo Rivera Nieves	Programador de Sistemas Electrónicos II
Luis Reyes Febles	Estudiante Subgraduado
José B. Acevedo Patón	Estudiante 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
Harold J. Irizarry Muñoz	Auxiliar de Investigación II
Fernando Ferrer Vargas	Auxiliar de Investigación I
Benjamín Colón Rodríguez	Auxiliar de Investigación II
María Torres Vega, MSc.	Auxiliar de Investigación II
Javier Charón Ramírez, M.E.	Auxiliar de Investigación II
Francis Pérez Ramos	Auxiliar de Investigación I
José F. Martínez Colón, M.Sc.	Auxiliar de Investigación I
José M. Rivera Torres	Auxiliar de Investigación I
Denyse Colón Lugo	Auxiliar de Investigación I
Arlenys Ramírez Rivera	Estudiante Graduada
Félix O. Rivera Santiago	Estudiante Graduado
Iván F. Casallas Nope	Estudiante Graduado
Sully A. Lebrón Rivera	Estudiante Graduada
Jessica Villagomez Lopez	Estudiante Graduada
Rolf Martin Vieten	Estudiante Graduado
Ricardo Mendez Yulfo	Estudiante Graduado
Wilnelly A. Ventura Valentín	Estudiante Subgraduado

INFORME ANUAL 2015

Francis Pérez Ramos
Benjamín Colón Rodríguez
Gisela Báez Sánchez
Wilnelly A. Ventura Valentín
Editores

Benjamín Colón Rodríguez
Diseño de portada

Derechos Reservados © 2016

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.

Aprobado por la Comisión Estatal
de Elecciones de Puerto Rico

CEE SA 16-4901

TABLA DE CONTENIDO

Mensaje del Director	2	• Catálogo Histórico y Base de datos Broadcast	21
Operaciones	3	• Herramientas de Procesamiento de Datos	21
• Sismicidad durante el 2015	3	• Broadcast Server y Shakemaps	21
• Sismos Sentidos	6	• Nivelación de Caja de Muerto	22
• Enjambres Sísmicos	8	• EMWIN	23
• Energía Liberada	10	• Operaciones, preparación y continuidad	23
Sistemas de monitoreo sísmico y mareográfico	12	• Ejercicio CARIBEWAVE/LANTEX 2015	24
• Estaciones mareográficas	12	Programa Educativo	26
• Estaciones de GPS	14	• Programa TsunamiReady	28
Investigaciones	15	Cómputos y Sistemas de Información	30
• Una mirada a la investigación de la RSPR	15	Colaboración y Financiamiento	31
• Estudiantes Graduados	18	• Instalación de Equipos y Servicios	31
Proyectos Operacionales	20	• Redes Contribuyentes	32
• Monitoreo de sistemas de detección automática	20	Mensajería de Tsunami	33

BREVE HISTORIA DE LA RED SÍSMICA DE PUERTO RICO

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.

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. 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).

En el año 1986, la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) fue transferida al Departamento de Geología del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. Desde entonces, y de manera continua, hemos mantenido al día nuestro catálogo y hemos continuado con el legado y el trabajo que nos fue asignado. Treinta años han pasado, y hoy día les puedo compartir que la RSPR ha sido acreditada como una institución sismológica a la altura de las redes sísmicas regionales de los Estados Unidos (ANSS, *Advance National Seismic System*). A nivel regional somos una de las instituciones líderes en el monitoreo, información y educación tanto de temblores como de tsunamis. Mientras que a nivel local la RSPR ha sido nombrada como un centro focal alternativo para el sistema de alerta de Tsunamis de Puerto Rico. En verano, y como un esfuerzo entre el Recinto Universitario de Mayagüez, el decanato de administración y la RSPR, se relocalizaron las facilidades de las Red a su nuevo hogar en el Edificio D (antes conocido como servicios generales) en el RUM. Esta nueva sede (según aparece en la portada del presente informe anual) ha sido equipada con tecnología reciente, un sistema redundante de comunicaciones y sistemas de cómputos según requerido por las guías para centros de cómputos de las agencias federales. Incluyendo un soporte para el almacenaje de los datos, único en el RUM.

Este año 2015, fue uno lleno de retos y logros, en especial debo reconocer al estudiante Aldwin Vázquez quien, bajo la supervisión de la Dra. Elizabeth Vanacore, fue galardonado con el segundo premio de trabajos destacados por parte de la *American Geophysical Union* (AGU) en la reunión de diciembre en San Francisco. De igual manera, la Sra. Gisela Báez-Sánchez, nuestra coordinadora del área de análisis e información participó de un taller regional en Barbados y coordinado por la UNESCO. En este taller se coordinó todo lo relacionado con la información del Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico, y el sistema de alerta de tsunamis regional.

Durante este año instalamos dos estaciones sísmicas, una en el Recinto de Utuado de la Universidad de Puerto Rico (con esta estación tendremos una cobertura del área central de la Isla) y otra estación fue instalada en la vecina Isla de Saint John de las USVI (con esta estación logramos un monitoreo más completo de las Islas Vírgenes), pues esa es parte de nuestra misión. En adición, a nivel regional comenzamos un proceso de cooperación con la vecina Cuba, y como resultado se están recibiendo datos en tiempo real de tres estaciones sísmica de la red cubana, las cuales se han incorporado al sistema de alerta regional (UNESCO Caribe/EWS). La RSPR proveyó ayuda para modernizar las estaciones mareográficas de Barahona (República Dominicana) y Aruba.

Para este año reportamos la ocurrencia de 3,239 eventos sísmicos en nuestra área de responsabilidad, de los cuales 23 fueron reportados como sentidos por la ciudadanía. La RSPR mediante el programa de Tsunami ha ayudado a todos los 44 municipios costeros a ser reconocidos como *TsunamiReady* por el Servicio Nacional de Meteorología (NWS). A través de nuestro programa educativo realizamos 110 actividades educativas e impactamos de manera directa a sobre 6,336 personas en su mayoría estudiantes del sistema escolar. Sobre 600,000 personas se inscribieron para participar en el ejercicio de terremoto “El Gran Puerto Rico *ShakeOut*” y más de 100,000 participaron del ejercicio de tsunamis “*CaribeWave/Lantex 2015*”.

En estos tiempos difíciles, agradecemos profundamente el aporte que para nuestro funcionamiento nos proveen: el Gobierno Central del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (ELA), la Universidad de Puerto Rico (UPR) y el Recinto de Mayagüez (UPRM), la Agencia Estatal para el 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), y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Nada de todo lo anterior sería posible sin la dedicación y entrega de nuestro personal, al cual le estoy muy agradecido. A Puerto Rico, gracias por confiar en nosotros y tengan la seguridad que seguiremos proveyendo un servicio de excelencia.

Sinceramente,

Víctor A. Huérfano Moreno, PhD
Director Interino
Red Sísmica de Puerto Rico



SISMICIDAD DURANTE EL AÑO 2015

Durante el 2015, la RSPR localizó un total de **3,239 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 2014 (3,420 sismos), la sismicidad detectada y localizada disminuyó en un 5%, estos son **181 temblores** menos que el año anterior. En este año (2015) el mes de mayor sismicidad fue **julio con 473 temblores** y el mes de menor sismicidad fue **abril con 157 sismos** (Figura 2). Del total de la sismicidad del 2015, **23 temblores (0.71%)** fueron reportados como sentidos, todos fueron localizados dentro de nuestra AOR. Las magnitudes de los eventos sísmicos calculadas para este año por la RSPR variaron de **1.0 Md a 4.6 MI**, aunque para los eventos sentidos las mismas variaron de **2.37 Md a 4.6 MI**. Durante el 2015 las profundidades variaron entre **1 km a 211 km**, mientras que para los sismos sentidos fueron desde **5 km a 66 km**. Los sismos con profundidades de **0 a 25 km** fueron los más frecuentes con **1269 temblores**, mientras que los sismos entre los **175 km y 200 km** fueron los de menor ocurrencia este año (Figura 3). La región con mayor sismicidad registrada durante el 2015 fue la **Zona Sísmica del Sombrero** con **589 eventos sísmicos**, seguida por la **Zona de la Falla de los 19°N** con **480 sismos**.

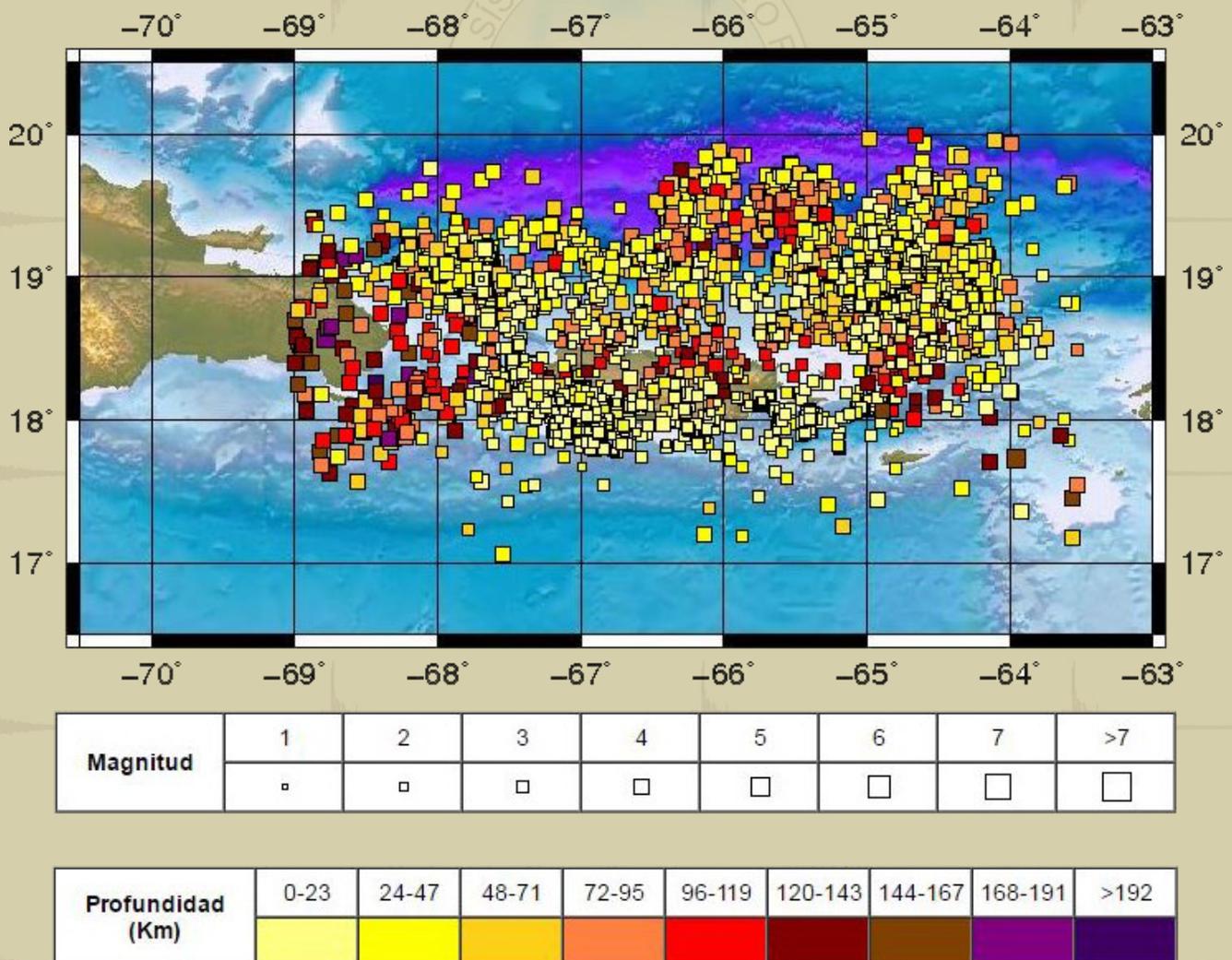


Figura 1. Mapa epicentral de los sismos localizados por la Red Sísmica de Puerto Rico para el año 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

OPERACIONES

4



Figura 2. Distribución mensual de sismos localizados y reportados como sentidos durante el 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

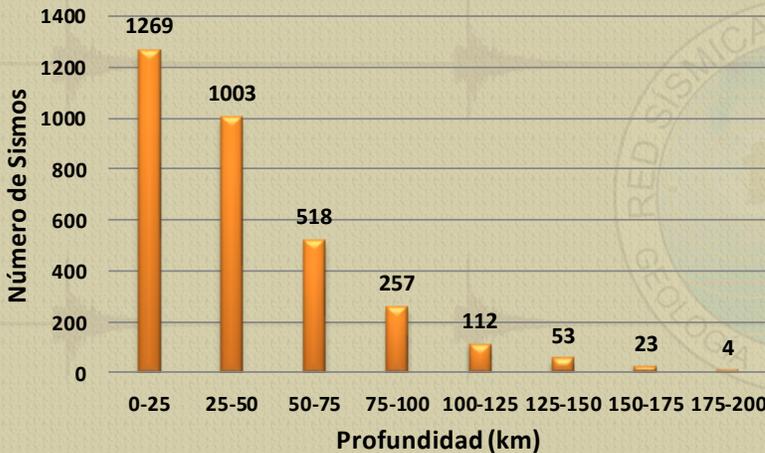


Figura 3. Distribución de sismos por profundidad para el 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

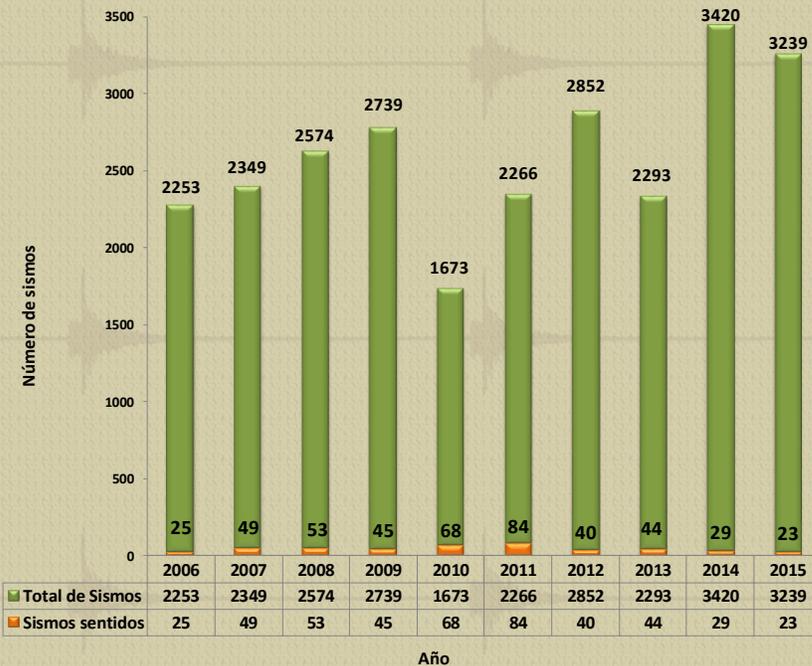


Figura 4. Distribución anual de sismos localizados y reportados como sentidos en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes desde el 2006 hasta el 2015 (RSPR - UPRM).

De los últimos 10 años, este es el segundo año de mayor sismicidad con 3,239 temblores, mientras que el 2014 es el año con mayor número de eventos con un total de 3,420 sismos (Figura 4). El año de menor sismicidad es el 2010 con 1,673 temblores.

La distribución sísmica por magnitudes calculadas durante los últimos diez años (del 2006 al 2015), muestra que el rango de magnitudes (Md) con mayor número de sismos es de 2.0 a 3.0 (Md) con un total de 11,639 temblores (Figura 5). Este rango de magnitudes fue seguido por magnitudes de 3.0 a 4.0 (Md) con 10,340 sismos. Las magnitudes calculadas por la RSPR durante el 2015 variaron de 1.0 (Md) a 4.6 (MI) (Figura 6). Para los eventos sentidos las mismas variaron de 2.37 (Md) a 4.6 (MI). En el 2015 el rango de magnitudes calculadas con mayor número de sismos se mantuvo igual al del año anterior (2014). El mismo va de 2.0 a 3.0 (Md) con 1,661 sismos, seguido por magnitudes de 3.0 a 4.0 (Md) con 1,284 sismos.

La concentración de sismicidad para el 2015 estuvo ampliamente distribuida en toda la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (Figura 7). Las regiones sísmicas con mayor actividad fueron la Zona Sísmica del Sombrero con 589 temblores, la Zona de la Falla de los 19° N con 480 temblores y la Plataforma de las Islas Vírgenes con 231 temblores (Tabla 1). Las regiones de menor actividad sísmica durante este año fueron: la Región Sureste de PR, la Región Noroeste de PR y Santa Cruz con un solo sismo localizado 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.

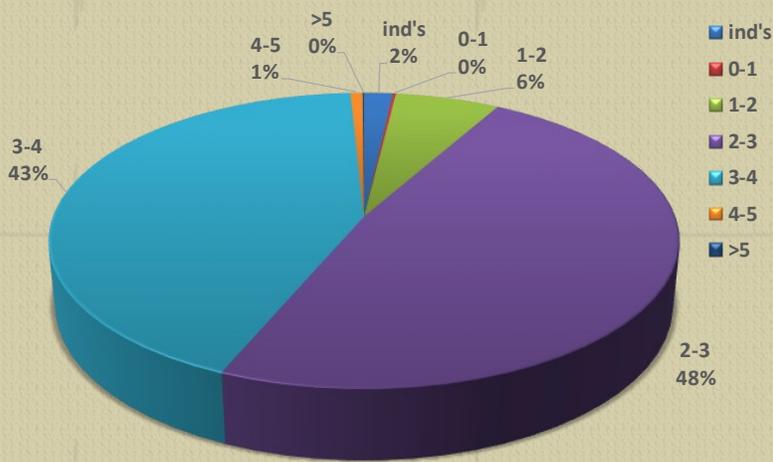


Figura 5. Distribución de magnitudes de los sismos localizados entre el 2006 y 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

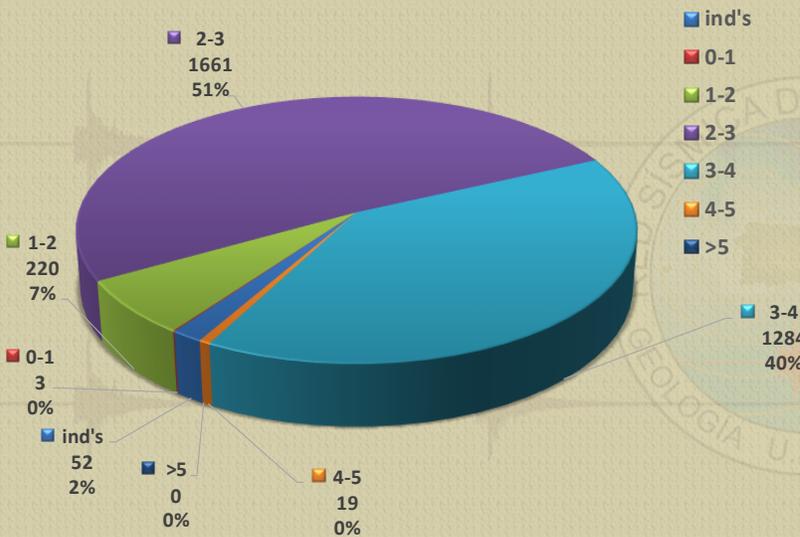


Figura 6. Distribución de magnitudes de los sismos localizados durante el 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR- UPRM).

Tabla 1. Distribución de sismicidad por regiones en el 2015 dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR—UPRM).

Región Sísmica	Sismicidad Total	Sismos Sentidos
Región Central de PR	123	5
Región Sur de PR	87	1
Región Sureste de PR	1	0
Región Este de PR	25	0
Región Noreste de PR	1	0
Región Norte de PR	16	0
Región Noroeste de PR	3	0
Región Oeste de PR	61	1
Región Suroeste de PR	49	0
Región AL Sur de PR	111	0
Región AL Oeste de PR	57	1
Región AL Norte de PR	143	0
Región AL Este de PR	52	0
Trinchera de PR	298	1
Trinchera de Muertos	21	0
Islas de Barlovento	18	0
Plataforma de Santa Cruz	0	0
Dorsal de Santa Cruz	3	0
Región Oriental de la RD	82	0
Zona de la Falla Septentrional	315	3
Pasaje de la Mona	80	1
Cañón de la Mona	165	5
Zona de la Falla de los 19°N	480	2
Zona Sísmica del Sombrero	589	1
Plataforma de Islas Vírgenes	321	1
Santa Cruz	1	0
Depresión de las Islas Vírgenes	92	1
Pasaje de Anegada	45	0
Total	3239	23

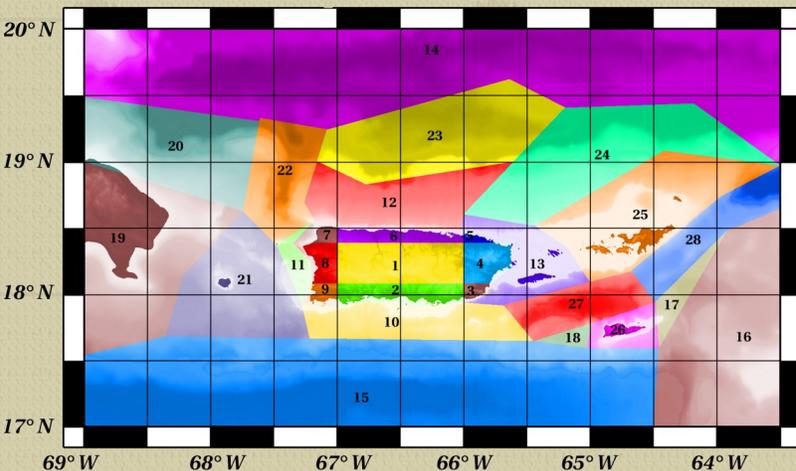


Figura 7. Mapa de las zonas sísmicas de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. El número corresponde al número en la región sísmica de la tabla 1 (RSPR-UPRM).

SISMOS SENTIDOS

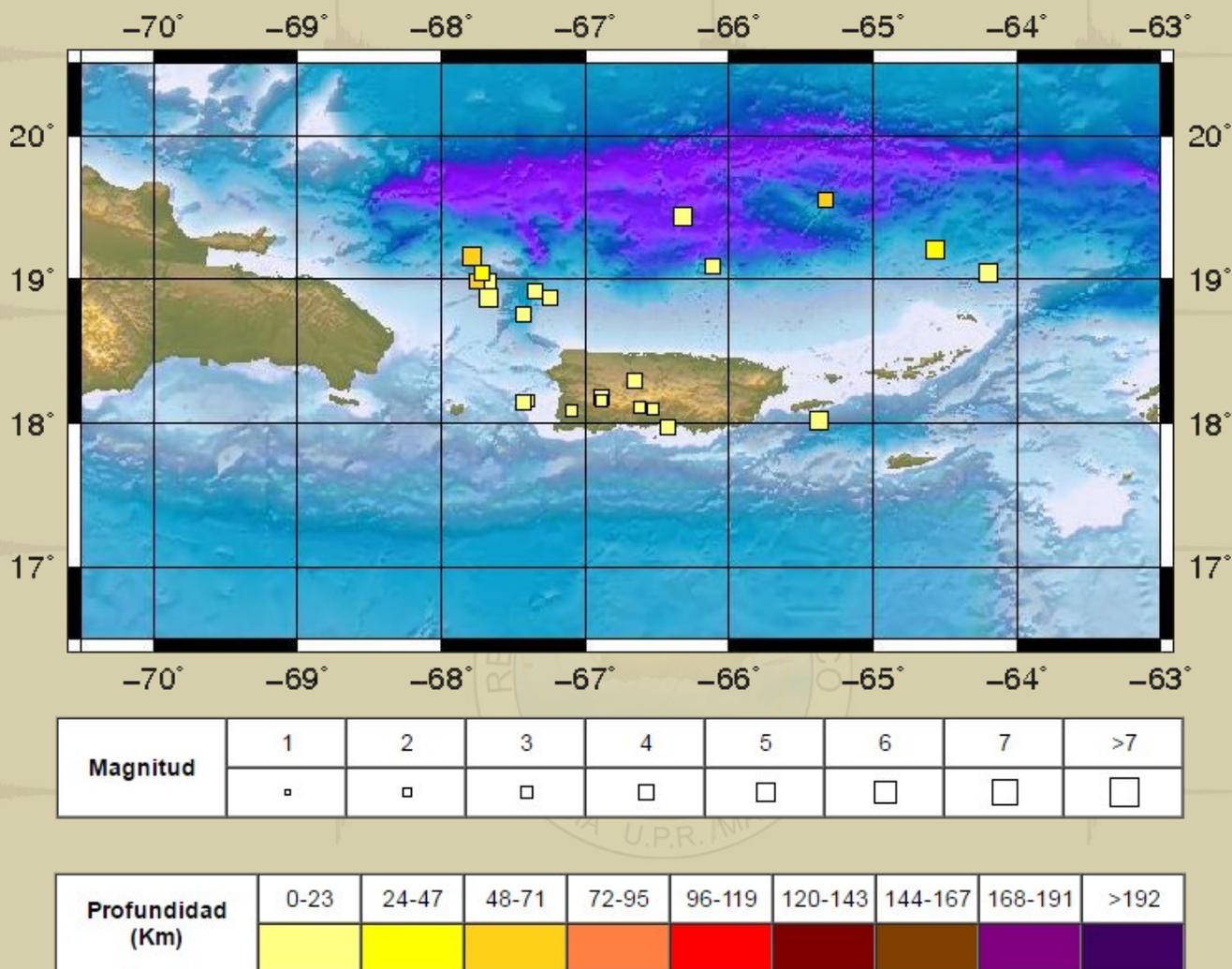


Figura 8. Mapa epicentral de los sismos sentidos en Puerto Rico e Islas Vírgenes durante el año 2015 en nuestra área de responsabilidad (latitud 17.00°a 20.00° y longitud -63.50°a -69.00°) (RSPR-UPRM).

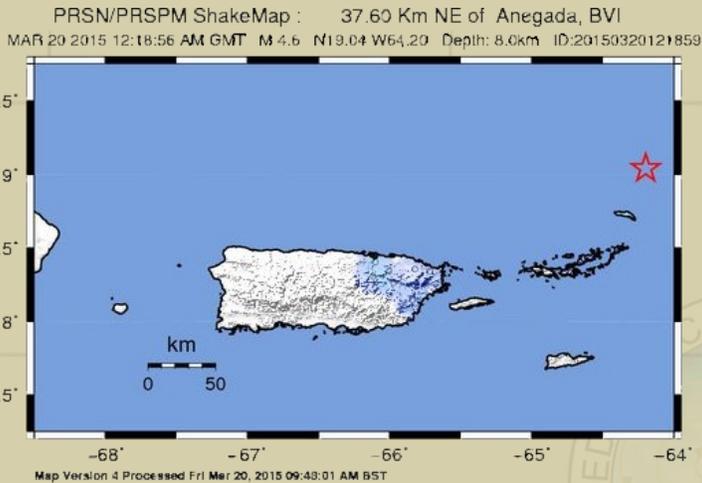
Durante el 2015, **23** temblores fueron reportados como sentidos en la RSPR (Figura 8). El **sismo sentido de mayor magnitud** localizado dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes para el presente año ocurrió el **20 de marzo de 2015 a las 08:58:56** (hora local de Puerto Rico). Este sismo local de **magnitud 4.6 (MI)** fue localizado en la Plataforma

de las Islas Vírgenes a unos 217.19 Km al Este-Noreste de San Juan, Puerto Rico (Latitud: 19.0421°N; Longitud: -64.1978°O), a una profundidad de 8 km. Este **sismo leve** fue sentido ampliamente en todo Puerto Rico e Islas Vírgenes, con **intensidad máxima de IV** (Escala Mercalli Modificada) en Anegada, Islas Vírgenes Británicas (Figuras 9a y 9b).

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

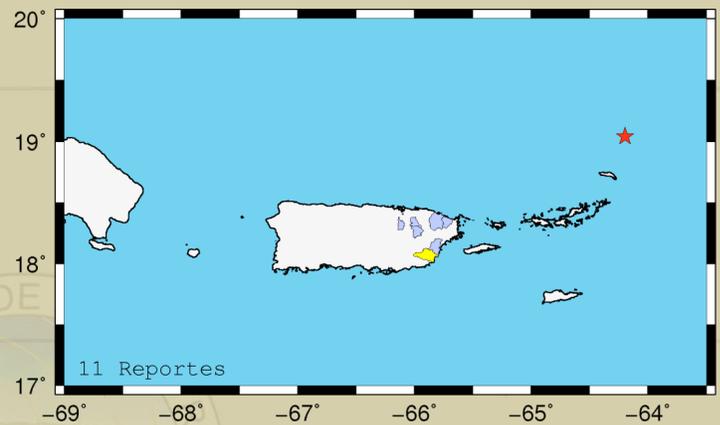
Por otro lado, el sismo sentido de mayor intensidad (**4.2 Md**) del año 2015 se localizó en la Zona al Este de Puerto Rico dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (ADR). Este sismo ocurrió el **1 de octubre de 2015 a las 22:34:34** (hora local de Puerto Rico). El mismo fue localizado al Sur de Vieques, Puerto Rico (Latitud: 18.0176°N;

Longitud: -65.3748°O), a una profundidad de 13 km. Este **sismo leve** fue sentido ampliamente en todo Puerto Rico, con intensidades que variaron de II a IV en la Isla Grande. La intensidad máxima, IV en la Escala Mercalli Modificada, se reportó en Vieques, Puerto Rico (Figuras 10a y 10b).



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	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+

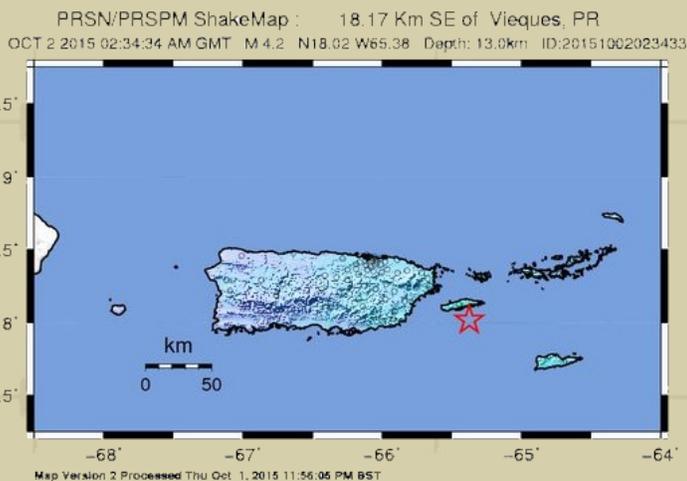
Figura 9-a. Shake Map para el sismo sentido el 20 de marzo de 2015 (RSPR-UPRM).



RED SISMICA DE PUERTO RICO - ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA

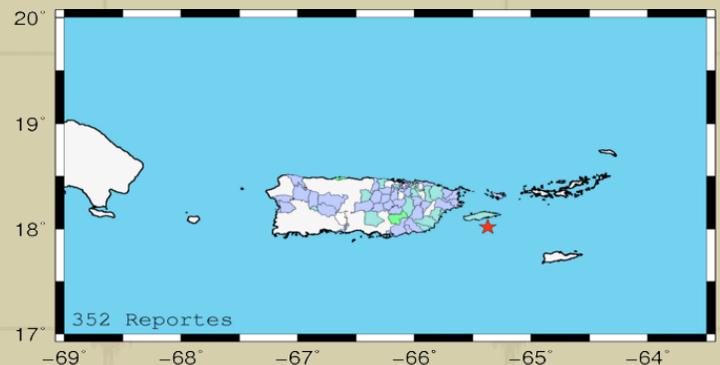
MOVIMIENTO PERCIBIDO	Ninguno	Debil	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Severo	Violento	Extremo
EFFECTOS ASOCIADOS	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Minimos	Ligeros	Apreciables	Significativos	Mayores	Muy Fuertes
INTENSIDAD	I	II - III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Figura 9-b. Mapa de intensidades reportadas por la población (CIIM, Community Internet Intensity Maps) para el sismo sentido el el 20 de marzo de 2015 (RSPR-UPRM).



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	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+

Figura 10-a. Shake Map para el sismo sentido el 1 de octubre de 2015 (RSPR-UPRM).



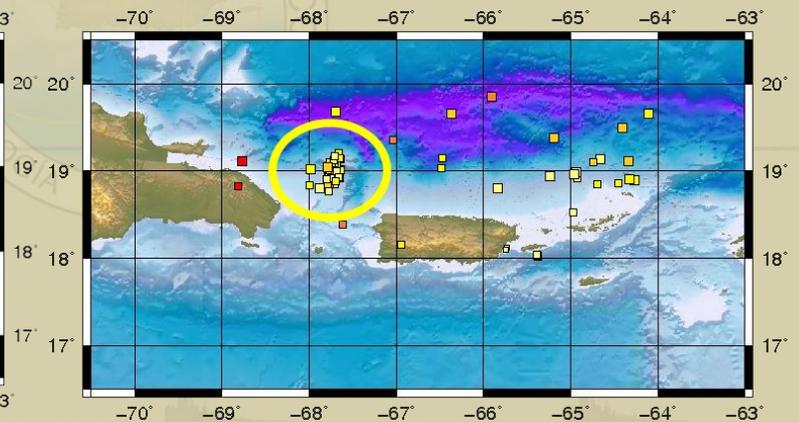
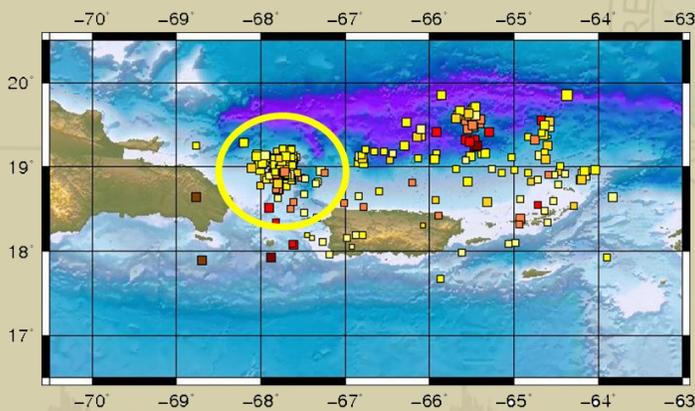
RED SISMICA DE PUERTO RICO - ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA

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-b. Mapa de intensidades reportadas por la población (CIIM, Community Internet Intensity Maps) para el sismo sentido el 1 de octubre de 2015 (RSPR-UPRM).

ENJAMBRES SÍSMICOS

Un **enjambre sísmico** o una **secuencia sísmica** ocurre cuando hay una generación o detección 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 2015, se generaron **35 enjambres** de sismos en nuestra ADR. De estos enjambres, 11 ocurrieron en la Zona Sísmica del Sombrero, y 10 en la Zona de la Falla de los 19° N. La secuencia sísmica con mayor cantidad de sismos ocurrió en **julio** de 2015 en la **Zona de la Falla Septentrional y Cañón de la Mona** (Tabla 2, Figura 11), con un total de **161 sismos** localizados en un periodo de **10 días**. Cuatro de los eventos de esta secuencia fueron reportados como sentidos. Durante el 2015 solamente se registraron sismos sentidos en tres (3) de los enjambres. El primero de estos enjambres con sismos sentidos ocurrió del **15 al 26 de julio** en la **Zona de la Falla Septentrional** (como se ha mencionado anteriormente). El segundo de estos enjambres se registró del **5 al 7 de agosto** en la **Zona de la Falla de los 19° N** con **24 temblores en 29 horas** y tan sólo **1 sismo** reportado como sentido (Figura 12). El tercero de estos enjambres se registró del **26 al 27 de septiembre** en la **Zona de la Falla Septentrional y Cañón de la Mona** con **32 temblores en 5 horas** y tan sólo **1 sismo** registrado como sentido (Tabla 2, Figura 12).



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

Figura 11. Mapa epicentral de los sismos asociados al enjambre ocurrido del 15 al 26 de julio de 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

Figura 12. Mapa epicentral de los sismos asociados al enjambre sísmico ocurrido del 26 al 27 de agosto de 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR - UPRM).

Tabla 2. Descripción de los enjambres sísmicos ocurridos durante el 2015 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

Periodo (Fecha)	Localización del Enjambre	Número de Sismos	Duración	Sismos Sentidos
1 de febrero de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	4	43 minutos	0
8 de febrero de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	3	5 minutos	0
23 de febrero de 2015	Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de Islas Vírgenes	8	2 horas	0
7 de marzo de 2015	Trinchera de Puerto Rico	3	30 minutos	0
8 de marzo de 2015	Trinchera de Puerto Rico	3	1 hora	0
18 de marzo de 2015	Trinchera de Puerto Rico	7	6 horas	0
20 de marzo de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	4	20 minutos	0
16 de mayo de 2015	Depresión de las Islas Vírgenes	4	30 minutos	0
4 de junio de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	13	2 horas 50 minutos	0
29 de junio de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	4	30 minutos	0
5 de julio de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	4	4 horas y 30 minutos	0
7 de julio de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	4	2 horas y 30 minutos	0
15 al 26 de julio de 2015	Zona de la Falla Septentrional y Cañón de Mona	161	10 días y 19 horas	4
19 al 26 de julio de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	35	7 días y 7 horas	0
23 al 24 de julio de 2015	Trinchera de Puerto Rico	8	1 día y 6 horas	0
29 al 31 de julio de 2015	Trinchera de Puerto Rico	31	2 días y 15 horas	0
29 al 31 de julio de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	29	2 días y 11 horas	0
4 al 5 de agosto de 2015	Trinchera de Puerto Rico	14	19 horas	0
5 al 7 de agosto de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	24	29 horas	1
8 de agosto de 2015	Trinchera de Puerto Rico	6	4 horas	0
13 de agosto de 2015	Zona de la Falla Septentrional	12	6 horas	0
16 de agosto de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	7	3 horas y 20 minutos	0
22 al 23 de agosto de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	11	13 horas	0
25 de agosto de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	14	11 horas	0
31 de agosto de 2015	Trinchera de Puerto Rico	9	13 horas	0
31 de agosto de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	7	1 horas y 20 minutos	0
15 de septiembre de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	24	5 horas	0
17 de septiembre de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	5	15 minutos	0
26 de septiembre de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	4	9 minutos	0
26 al 27 de septiembre de 2015	Zona de la Falla Septentrional y Cañón de Mona	32	5 horas, 35 minutos	1
29 al 30 de octubre de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	48	29 horas	0
28 al 30 de noviembre de 2015	Zona de la Falla de los 19°N	26	~40 horas	0
3 de diciembre de 2015	Trinchera de Puerto Rico	6	~1 hora 5 min	0
10 de diciembre de 2015	Zona de la Falla de los 19° N y Zona Sísmica del Sombrero	6	~48 minutos	0
18 de diciembre de 2015	Zona Sísmica del Sombrero	11	~2 horas 56 minutos	0

ENERGÍA LIBERADA

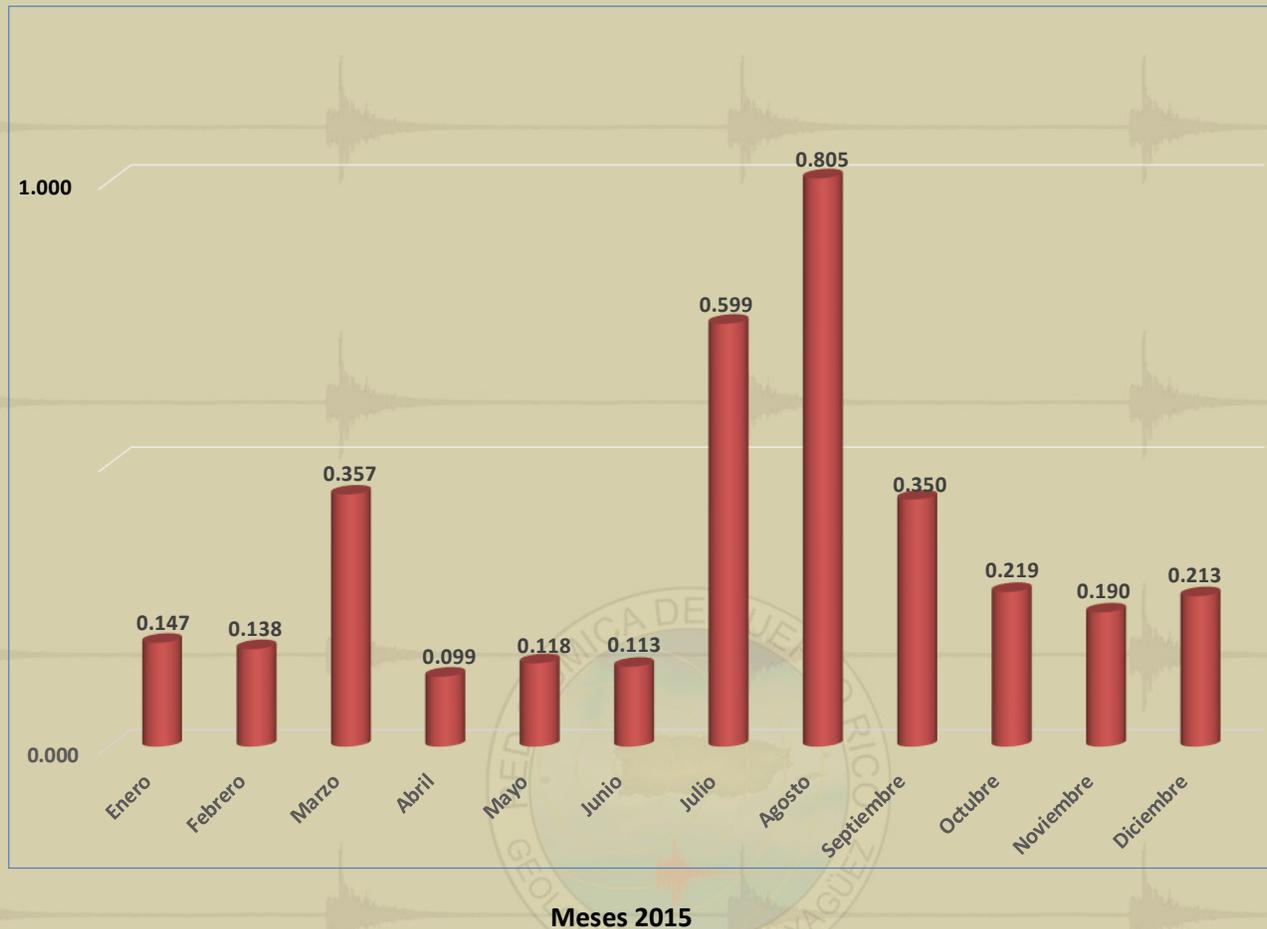


Figura 13. Energía sísmica liberada en la Región de Puerto Rico durante el 2015 (RSPR-UPRM).

Durante el 2015 la mayor liberación de energía ocurrió en el mes de **agosto** con un equivalente de **0.805** kilotones (Figura 13). Esta liberación de energía se asocia a los 24 eventos con magnitudes de 3.5md o más, incluyendo cuatro temblores de magnitudes que varían entre 4.0 a 4.8. El mes de mayor actividad sísmica del año 2015, lo fue julio con 473 sismos (Figura2). Julio, además, fue el segundo mes con mayor energía liberada con 0.599 kilotones. Esto se debe al hecho de que en los meses de julio y agosto ocurrieron los eventos de mayor magnitud del año. En el mes de julio la liberación de energía estuvo dominada por un evento principal de magnitud 4.5 MI y 7 enjambres sísmicos. Por otro lado, para el mes de agosto la liberación de energía estuvo dominada por el evento de magnitud 4.8 Md y 9 enjambres sísmicos. El

evento de agosto fue sentido ampliamente en todo Puerto Rico.

En el año 2015, con 3.3 kilotones, hubo una disminución de la energía liberada de 74.0 kilotones comparada con el año anterior (2014, 77.3 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 ocurrencia del sismo de magnitud 6.4 Mwp el mes de enero de ese mismo año, (el sismo de magnitud mayor en los últimos 10 años) y el sismo de 5.4 MI del mes de mayo. El total de la energía liberada durante el 2015 es equivalente a una quinta parte aproximadamente de la energía liberada por la bomba de Hiroshima. Esta cantidad de energía es equivalente al total de la energía liberada por un terremoto de magnitud 5.6,

como por ejemplo el terremoto de Oklahoma (USA) de 2011 o el terremoto de Newcastle (Australia) de 1989.

Analizando los datos anuales procesados por la RSPR, consideramos que desde el 2006 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. En general los eventos sísmicos ocurridos durante enjambres o secuencias sísmicas están directamente relacionados a la

interacción de las placas de América del Norte (PAN) y del Caribe (PC) y son reflejo de la deformación que ocurre 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 subduce 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 2015 AGOSTO fue el mes de mayor energía liberada con un total de 0.805 kilotones de energía.



Figura 14. Energía sísmica liberada en la Región de Puerto Rico desde 2006 hasta 2015 (RSPR- UPRM).

SISTEMAS DE MONITOREO SÍSMICO Y MAREOGRÁFICO

Juan Lugo Toro

En el 2015 la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) operó 29 estaciones sísmicas (27 en nuestra área de responsabilidad y las estaciones en la Isla de Aruba) de las cuales 25 son de banda ancha y 4 estaciones de periodo corto. Este año se continuó con la instalación de estaciones y el mejoramiento de las estaciones ya existentes. Durante el 2015 se le brindó mantenimiento de rutina a las estaciones sísmicas dentro y fuera de Puerto Rico, como lo son la estación de St. John (USVI) y Aneгада (BVI). Se instaló una estación nueva en la UPR Recinto de Utuado (Figura 15) y se mudó la estación PRSN a las nuevas facilidades de la RSPR.

También se continuó la instalación de la red de GPS, la cual incluye 13 estaciones permanentes. Por otro lado, se le brindó mantenimiento a la red de mareógrafos. Cada una de estas estaciones mareográficas consta de dos sensores de nivel de agua y equipo meteorológico.

La red de mareógrafos actualmente cuenta con 18 estaciones de las cuales 10 son operadas por la *National Ocean Service* (NOS), *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) y 8 por la RSPR. Esta red tiene la capacidad de detectar tsunamis (*TsunamiReady Tide Gauges*). Estas estaciones fueron financiadas por FEMA y operadas con fondos de la NOAA y locales. Los datos de estas estaciones se incorporaron a los procesos rutinarios de la RSPR.



Figura 15. Estación sísmica UUPR en Utuado. Prueba de GPS para determinar la localización exacta de la estación sísmica. (RSPR- UPRM).

Estaciones Mareográficas

Benjamín Colón Rodríguez

Actualmente el sistema de monitoreo para la detección de tsunamis de la RSPR consta de múltiples estaciones de mareógrafos y boyas DARTS (*Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*). Para estos sistemas se utilizan estaciones locales (de Puerto Rico), a nivel regional e internacional. En el año 2015 se continuó trabajando para mejorar nuestro sistema. Como parte de este trabajo se actualizó el programa de adquisición Tides. Esta actualización nos permite adquirir estaciones regionales e internacionales que antes no podíamos monitorear en este programa. Como parte de esta actualización al programa de Tides se le añadieron sobre 15 estaciones de mareógrafos instalados en el área del Caribe y el Atlántico. Por otro lado, se añadieron sobre 8 estaciones nuevas instaladas en el área del Caribe (Figura 16a y 16b).

Actualmente se está trabajando con nuestra página web en el enlace de monitoreo de estaciones, en la pestaña de Estaciones Mareográficas (<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, 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.

Estaciones de GPS

Alberto M. López Venegas, PhD

La Red de Estaciones GPS de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) consiste de 13 estaciones propias de acopio de datos continuo a través de todo Puerto Rico y las Islas Vírgenes (Figura 17). El objetivo de esta red es monitorear los movimientos de la corteza terrestre en Puerto Rico e Islas Vírgenes. Diez de estas estaciones se encuentran co-localizadas con instrumentación sísmica y de movimiento fuerte, y los datos son transferidos conjuntamente hacia la RSPR. Además de las estaciones de la RSPR existen varias otras estaciones operadas por UNAVCO, como parte del proyecto de COCONet, y las del Servicio Geodésico Nacional (NGS, por sus siglas en inglés). Durante el año 2015, la RSPR logró instalar una estación nueva y re-incorporar una estación que no recolectaba datos desde hacía 3 años. Mientras que la estación nueva (PRSN) está ubicada en las nuevas instalaciones de la RSPR, la estación re-incorporada (GEOL) se encuentra en el edificio de Geología, y prolonga una serie de tiempo a casi 20 años. La antena de GPS de la estación PRSN cuenta con un monumento de concreto cuyo pilar consta de una altura de 1.3 metros y su conexión es directa al servidor de GPS dentro de las nuevas facilidades de la RSPR. La estación cuenta con un receptor Trimble NetR9 con capacidad de posicionamiento RTX en tiempo real corregido por el servicio de Trimble. La estación de GEOL consta de la misma antena y monumentación, sin embargo posee un nuevo cable que conecta directo a un receptor Trimble 4000Ssi, y que a su vez está conectado a un servidor que provee los datos en tiempo real, siendo este último paso lo que ha permitido actualizar este equipo a proveer los datos en tiempo real. Durante el año 2015 también se

reocuparon las estaciones de campaña, de las cuales las más antiguas (PARG e ISAB) datan de 1996. Poder realizar mediciones en estas estaciones nos permite observar el desplazamiento en lugares no cubiertos por las estaciones continuas. Estas mediciones recientes son parte del trabajo de tesis de la estudiante Margarita Solares del Departamento de Geología.

Con la mudanza a las nuevas facilidades de la RSPR, el servidor donde se recopilan, procesan, distribuyen y archivan los datos también recibió una actualización. La última versión del NTRIP Caster del Servicio de Cartografía y Geodesia Alemán (BKG, por sus siglas en alemán) fue instalada durante el verano para mejorar las telecomunicaciones entre las estaciones de GPS en el campo y poder proveer en los datos en tiempo real. Nuevas rutinas fueron desarrolladas para extraer datos archivados en los receptores y poder organizar y archivar los mismos para accesibilidad de los clientes interesados. Además de la transmisión a tiempo real, cada receptor de GPS en el campo almacena dos tipos de archivos: (a) un archivo diario con tasa de muestreo de 30 segundos (dos medidas por minuto), y (b) un archivo cada media hora con una tasa de muestreo de 1 segundo (una medida cada segundo o frecuencia de 1 Hz). Además, la división de Cómputos de la RSPR desarrolló una nueva página para la sección de las estaciones de GPS que se espera poner en producción para mediados del 2016. La nueva página está rediseñada totalmente para que sus visitantes puedan encontrar información de las estaciones, registrarse para conectarse a los datos y/o lograr acceso a la base de datos, y conocer sobre las publicaciones realizadas y los proyectos corrientes de investigación.

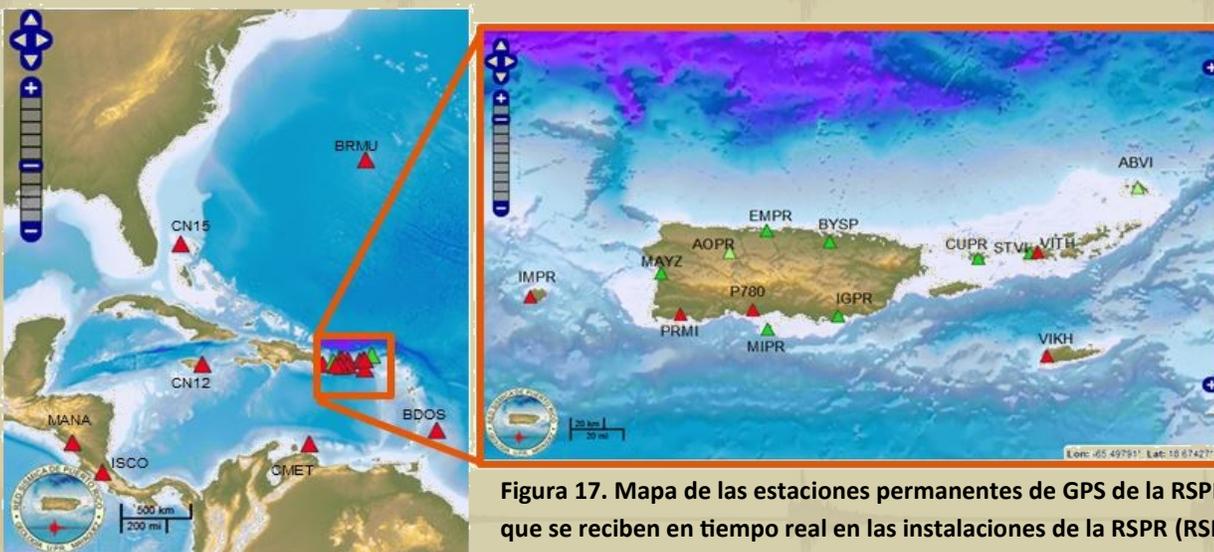


Figura 17. Mapa de las estaciones permanentes de GPS de la RSPR y UNAVCO que se reciben en tiempo real en las instalaciones de la RSPR (RSPR-UPRM).

Una mirada a las investigaciones de la Red Sísmica de Puerto Rico

Alberto M. López Venegas, PhD

Durante el año 2015 la división de investigaciones de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) estuvo sujeta a una modificación y actualización en la estructura de operación. Ahora la división se conoce como Investigación y Desarrollo y pretende promover los estudios y colaboraciones científicas entre estudiantes y profesores de la RSPR, al igual que con investigadores externos a la institución. Además, busca unir el desarrollo de utilidades computacionales con las necesidades científicas de la RSPR con el propósito de proveer herramientas de monitoreo sísmico, mareográfico y geodésico.

Las investigaciones realizadas durante el año 2015 consisten de estudios nuevos y que continúan del año pasado. Entre las mismas se encuentran los estudios sísmicos, de modelaje de tsunamis, y neotectonismo. La Dra. Elizabeth Vanacore realizó un estudio de funciones receptoras ("Receiver Functions") para todas las estaciones de la RSPR. Este estudio buscaba identificar la profundidad a la interface entre la corteza y el manto (conocido como la discontinuidad Mohorovičić) justo debajo de Puerto Rico mediante el uso de las ondas sísmicas provenientes de fuentes sísmicas lejanas. El estudio demostró que no todas las estaciones sísmicas poseen las cualidades idóneas para este tipo de estudio ya que requieren instalaciones libres de ruido ambiental y un espaciamiento más homogéneo para poder obtener mejores resultados. Sin embargo, varias estaciones lograron arrojar datos interesantes sobre la ubicación de la discontinuidad de Mohorovičić bajo la isla, resultados que deben de ser corroborados con datos adicionales. La Dra. Vanacore también supervisó la investigación subgraduada del estudiante Aldwin Vázquez que utilizó técnicas de anisotropía o polarización de ondas telesísmicas para hallar y caracterizar zonas ultralentas entre el manto profundo y el núcleo externo. Esta investigación, la cual condujo a Aldwin a ganarse el 2^{do} premio de afiches virtuales de la Unión Geofísica Americana (AGU), pretende identificar las zonas que han sido postuladas a representar los orígenes del material que sube a través del manto hasta la corteza para formar los puntos calientes.

En términos del desplazamiento medible de la corteza a través de la instrumentación precisa de determinación de posición utilizando GPS, la estudiante graduada Margarita Solares ha logrado reocupar y obtener medidas para el 80% de las estaciones de campaña de GPS en Puerto Rico (Figura 18).

El estudio forma parte de su grado de Maestría del Departamento de Geología y pretende cuantificar 20 años del patrón de deformación de la corteza de Puerto Rico. El conjunto de 23 estaciones distribuidas a través de todo Puerto Rico, incluyendo Mona y Desecheo, proveen mayor extensión de tiempo que la red continua de datos ya que las primeras estaciones de campaña fueron establecidas para fines de la década de los noventa.

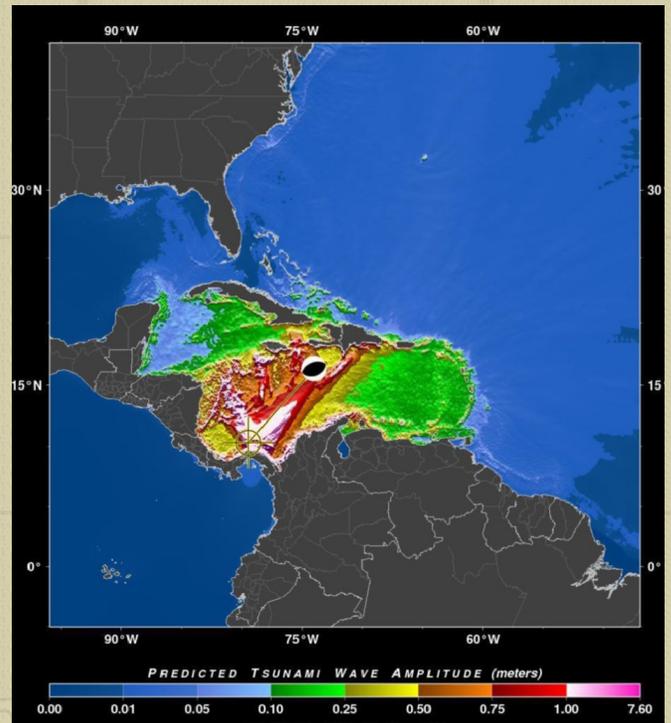


Figura 18. Estaciones de GPS de Campaña (RSPR-UPRM).

En investigaciones relacionadas a los tsunamis, se realizó una lista de fuentes sísmicas probables que puedan ser generados por el régimen tectónico de los bordes de la placa del Caribe y los cuales desencadenarían tsunamis a nivel regional Caribe. Este trabajo fue colaborativo entre investigadores de Costa Rica, Martinica, Puerto Rico, Trinidad y Tobago, y Venezuela. El objetivo de esta lista es llevar a cabo simulaciones de tsunami utilizando las fuentes y cuantificar los efectos en los países de la cuenca Caribeña. El segundo proyecto fue también colaborativo, y esta vez entre modeladores de tsunami de Colombia, Costa Rica, Panamá y Puerto Rico, y buscaba cuantificar los efectos del tsunami del ejercicio a nivel regional del Caribe conocido como CaribeWave en su versión 2015. La fuente hipotética del ejercicio se ubicó en esa ocasión al norte de Panamá (a lo largo del cinturón de deformación de Panamá) y buscaba generar un tsunami que afectara la cuenca Caribeña por un evento sísmico de magnitud 8.5 (Figura 19). El grupo de modeladores se comprende de miembros del grupo de trabajo 2 del ICG/CARIBE-EWS encargados de gestión del riesgo por tsunamis.

Tres de los proyectos aquí descritos fueron presentados presencialmente en la asamblea anual de la AGU que se celebró en San Francisco, California del 14 al 18 de diciembre de 2015. Para interesados en conocer más a fondo las conclusiones de los trabajos de investigación favor de visitar el portal de investigaciones de la RSPR, donde se encuentran enlaces a las presentaciones, afiches, publicaciones y referencias (<http://redsismica.uprm.edu/English/research/geodesy/>).

Figura 19. Mapa de amplitudes máximas de tsunami para el Escenario del Caribe Suroccidental del Ejercicio Caribe Wave 2015. Simulación para un terremoto en Panamá usando RIFT. (Fuente: *Manual del Participante Ejercicio Caribe Wave/Lantex 2015. Colección Técnica de IOC 2014 Num 118 Vol 1 París, UNESCO*).



Elizabeth Vanacore, PhD

El trabajo que hemos realizado en la RSPR durante 2015 consistió en tres áreas principales de investigación: examen de zonas de velocidad ultra-bajas, las estructuras de la zona de transición, la corteza y estructura del manto superior de Puerto Rico. Veamos más detalles de cada uno de ellos:

1. Estructura sísmica cerca del límite del núcleo y el manto

La estructura de la parte inferior del manto, 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 de origen de algunas plumas del manto. La investigación en este campo 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 baja (ULVZs). Este trabajo fue realizado en colaboración con el Dr. Michael Thorne (Universidad de Utah) y el Dr. Sebastián Rost (Universidad de Leeds). El proyecto consiste de dos componentes principales:

A. **El desarrollo y análisis de una librería de ondas sintéticas de alta frecuencia** (hasta 0.5 Hz) para diferentes geometrías (por ejemplo, furgón, trapezoidal, y Gauss con forma ULVZs) y la ubicación de ULVZs enfocadas en fases altamente sensibles a la estructura del CMB (por ejemplo, formas de onda de SKS).

B. Técnicas para el análisis rápido utilizando SKS

Las técnicas para el análisis rápido a tiempo real utilizando las formas de onda de SKS, con la librería sintética, se están desarrollando para uso semi-automatizado de matrices sísmicas de gran tamaño (por ejemplo USArray). Los resultados de la librería de formas de onda y la prueba de conjunto de datos utilizando la *Turkish National Networks* fueron sometidos al *Geophysical Journal International*, bajo el título de "Ultralow-velocity zone geometries resolved by multidimensional waveform modeling" (trabajo aceptado en marzo 2016, Figura 20).

El estudiante de investigación subgraduada, Aldwin Vázquez estudió la estructura de D" utilizando formas de onda SKS y SKKS bajo la supervisión de la Dra. Vanacore. El proyecto identificó una zona de ultra-velocidad ubicada en el Pacífico oeste y una anomalía de alta velocidad cerca del Mar Caspio. El trabajo fue presentado a través de dos afiches científicos titulados "Hunting ULVZs Using SKS and SKKS Differential Travel Time Residuals" (Figura 21), en la reunión del Geological Society of America y en la sesión virtual de afiches de la *American Geophysical Union*. Aldwin Vázquez fue galardonado con el segundo premio en la sesión virtual de afiches de la *American Geophysical Union*. Para el 2016 se prevee la publicación del manuscrito sobre esta investigación.

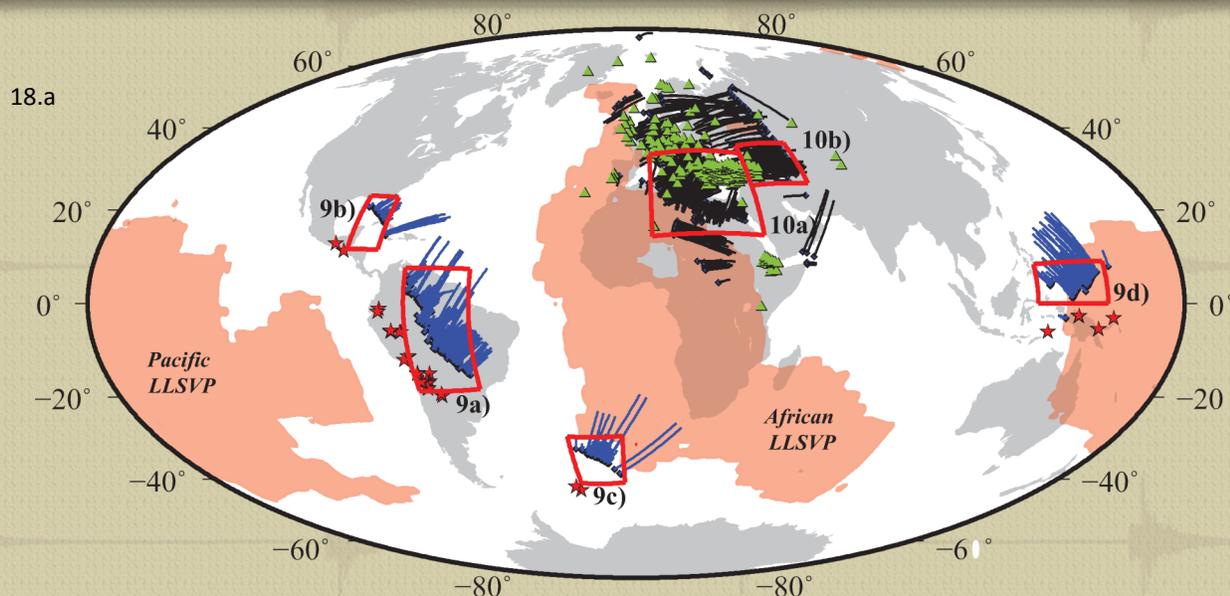


Figura 20. Mapa mundial mostrando los terremotos (estrellas), estaciones sísmicas (triángulos verdes) y la trayectoria de los rayos difractados de las ondas SPdKS estudiadas (tomado del artículo *Ultralow-velocity zone geometries resolved by multi-dimensional waveform modeling*, publicado en la revista científica *Geophysics Journal International*, 2016. E.A. Vanacore, S. Rost, and M.S. Thorne).

2. Estructura de la Zona de Transición

En 2015 continuaron los trabajos sobre el comportamiento multidimensional de las formas de onda en la zona de transición. La zona de transición de la Tierra (410 a 660 km de profundidad) es la parte de nuestro planeta que se encuentra entre en el manto superior y el manto inferior. Esta zona desempeña un papel importante en la geodinámica terrestre y puede actuar como una barrera permeable para los materiales tales como las placas subducidas que entran en el manto inferior. Mediante el estudio científico de ciertas fases sísmicas se puede determinar la estructura de las discontinuidades sísmicas dentro de la zona de transición y esta observación deriva en información sobre la dinámica y la mineralogía de la región. Tradicionalmente, para realizar estos estudios se utilizan observaciones de modelado 1D de ondas sísmicas. Sin embargo, con los avances en la tecnología informática, ahora es posible llevar a cabo el modelado de formas de onda de manera multidimensional. En este trabajo colaborativo se generaron varios modelos 2D de diferentes geometrías de transición y precusores PP, una fase sísmica común fue usada para estudiar y crear un modelo de la estructura de la zona de transición. Los resultados de la investigación fueron publicados en un artículo de Lessing y otros (2015), en la Revista Internacional de Geofísica, con el título "On the difficulties of detecting PP precursors".

3. Estructura de la corteza y el manto superior de la Región de Puerto Rico

La comprensión de la estructura de velocidades de la corteza y el manto superior de la región de Puerto

Rico no sólo proporciona información sobre la estructura tectónica sino que también proporciona un medio para mejorar el modelo de velocidad empleado en la RSPR y, posteriormente, mejorar las localizaciones de terremotos. En 2015 un proyecto orientado hacia la formación de imágenes se llevó a cabo por la Dra. Vanacore donde se utilizó una técnica llamada análisis de la función del receptor para mostrar la estructura de la corteza de Puerto Rico, así como la placa subducida debajo de la isla. Los resultados preliminares de este estudio fueron presentados en la Reunión de la *Geophysical American Union* en diciembre de 2015, en una charla titulada, "Imaging the Crustal and Subducted Slab Structure Beneath Puerto Rico Using Receiver Function Analysis" (Figura 21). Se planea continuar con este trabajo durante 2016 y presentar un manuscrito.

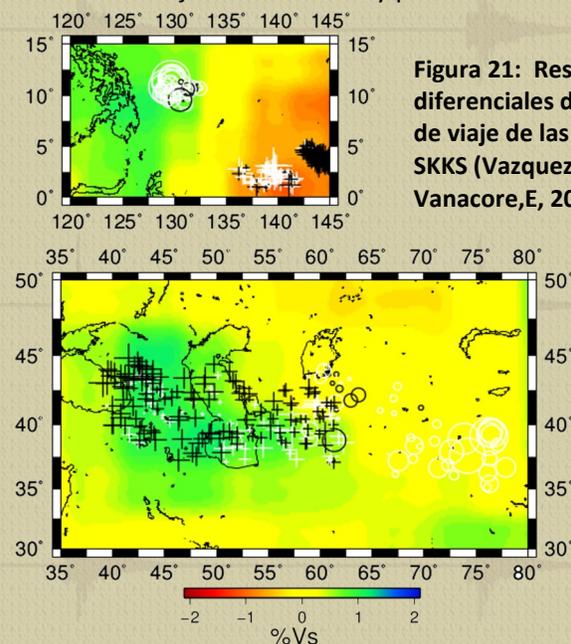


Figura 21: Residuales diferenciales de tiempos de viaje de las ondas SKS-SKKS (Vazquez, A and Vanacore, E, 2015).

Estudiantes Graduados

“Relative TravelTime Tomography of the Puerto Rico and Virgin Island Region”

Ricardo Méndez Yulfo

La comunidad científica lleva trabajando con tomografías de tiempos de viajes relativos desde la década de los '70. Esta técnica se ha utilizado para obtener imágenes de la corteza y el manto superior de la tierra mediante la exploración de los residuos de tiempo de viaje relativos dentro de una región específica. En este trabajo de maestría se establecerá un arreglo sísmico para generar un modelo de velocidad de alta resolución utilizando ondas primarias. El propósito de la investigación es poder obtener una imagen de las estructuras en la litosfera y el manto superior para la región de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Esto envuelve observar si Puerto Rico y las Islas Vírgenes comparten el mismo bloque litosférico. Un segundo objetivo es poder determinar la profundidad de la Trinchera de Puerto Rico a partir de las imágenes obtenidas.

“600 Years High Resolution Climate Reconstruction Deducted from a Puerto Rico Speleothem”

Rolf M. Vieten

Durante su maestría Rolf Vieten realizó un estudio en el cuál se relocalizaron los eventos de un enjambre sísmico en la Zona Sísmica del Sombrero. El enjambre sísmico ocurrió en junio de 2007 y fue detectado por estaciones de la RSPR y por cinco sismómetros instalados temporalmente en el fondo marino con profundidades de hasta 5000 metros. Utilizando el programa HypoDD y combinando las observaciones de sismómetros tanto terrestres como marinos, se logró localizar con alta precisión los 173 eventos relacionados a este enjambre. Las localizaciones indicaron una distribución vertical que podría representar una ruptura en la litósfera de la placa de América del Norte.

Como parte de sus estudios doctorales en el Departamento de Ciencias Marinas, Rolf se encuentra analizando los cambios climáticos en Puerto Rico y en el Caribe durante los pasados 10.000 años. El foco de este estudio lo son las estalagmitas, las cuales son sedimentos depositados en cuevas cuya composición geoquímica esconden información sobre el clima, especialmente la hidrología. Por el momento, el estudio indica que la circulación y la temperatura en la superficie del Océano Atlántico son los grandes factores que influyen los cambios hidrológicos.

Inversión de Fase W para terremotos en el Caribe

Iván F. Casallas Nope

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 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. La fase W es una fase de periodo largo que llega entre la onda P (primaria) y la onda S (secundaria), y es adecuada 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 muy 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 ésta, 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 se explorará la posibilidad de una eventual implementación en la operación rutinaria de la Red Sísmica de Puerto Rico.

Estimado de daños en Puerto Rico utilizando fuentes de terremotos históricos y posibles escenarios

Arlenys Ramírez Rivera

La isla de Puerto Rico está localizada en una zona sísmicamente activa donde ocurren cientos de terremotos por año. En el pasado, Puerto Rico ha sido afectado por varios terremotos fuertes (1787, 1867 y 1918), es por eso que los terremotos representan una gran amenaza para la isla. El más reciente de estos eventos fuertes y destructivos tuvo lugar en el Cañón de la Mona en 1918, afectando las costas de Aguadilla y Mayagüez. Este factor en conjunto con áreas altamente pobladas y con estructuras vulnerables pudieran ocasionar un escenario trágico. Debido a que la localización y tamaño de un terremoto son impredecibles al menos sus daños potenciales pueden ser estimados con anticipación. Por esta razón los estudios de estimaciones de daños son necesarios para poder identificar estos posibles impactos, minimizar el peligro existente y tomar futuras medidas de mitigación. En esta investigación se utilizó la metodología del modelo de Terremotos de HAZUS-MH para estudiar el impacto de diferentes escenarios de terremotos históricos y potenciales para dos ciudades altamente pobladas en Puerto Rico: San Juan y Mayagüez. HAZUS-MH es una metodología estandarizada compuesta por seis módulos que estiman, el movimiento del suelo, la respuesta

de las estructuras y las pérdidas directas e indirectas que pudieran surgir luego de un evento sísmico mayor. Nuestros resultados mostraron que el escenario de terremotos más dañino, puede alcanzar un total de \$2,449.12 millones de dólares en pérdidas económicas y un estimado de afectados fluctuando de 602 a 807. Los resultados de esta investigación serán de gran interés y ayuda para las agencias federales y locales, para poder desarrollar mejores estrategias de mitigación para Puerto Rico. (Figura 22).



Figura 22. Mapa de la microplaca de PR e Islas Vírgenes. Las estrellas color fucsia indica los diferentes escenarios que están siendo analizados (PRSM-RUM).

“Experimental Hydration of Amorphous Silicate Smokes: Simulating Aqueous Alteration of fine-grained Material in CM Chondritic Meteorites”

Sully A. Lebrón Rivera

Materiales de silicatos amorfos han sido sintetizados en Goddard Space Flight Center, NASA. Este polvo amorfo no estequiométrico al cual nos referimos como “smokes,” (e.g. Mg-SiO_x, Fe-SiO_x, SiO_x, Mg-Fe-SiO_x, Mg-Al-SiO_x) son análogos del material amorfo encontrado en las matrices de los condritos más primitivos como los CM’s. Porque los condritos CM son meteoritos que fueron alterados por agua a bajas temperaturas como 25 °C, fue posible realizar experimentos a temperatura ambiente para ver como procede la sucesión de minerales alterados acuosamente. Este estudio puede proveer nuevos conocimientos hacia el

entendimiento del proceso que se llevó a cabo en los cuerpos protoplanetarios y puede contribuir a un mejor entendimiento de la formación y evolución de nuestro sistema solar.

La hidratación de las muestras que contienen Mg (Magnesio) resultan en un pH alcalino (~10.5) y las que contienen Fe (Hierro) solamente resulta en un pH ácido (~ hasta 4.0). Las muestras analizadas con un microscopio de electrones muestran que las muestras de magnesio producen filosilicatos luego del contacto con agua por dos meses, consistente con la textura y mineralogía observada en los condritos primitivos CM. Las muestras de Fe no presentan cambios en su textura luego de 6 meses pero el pequeño cambio en la temperatura de reacción de FeSiO_x indica que la reacción es endotérmica la cual es consistente con los ensamblajes hidratados de baja temperatura que dominan en los meteoritos primitivos del grupo CM.

Análisis Espectral de Ondas Superficiales para la Caracterización del Suelo: Estudio de Comparación

Jessica Villagómez López

El análisis espectral de ondas superficiales (SASW, por sus siglas en inglés), es un método geofísico para la caracterización del subsuelo. Tiene la ventaja de ser no invasivo y no destructivo, más rápido y más barato que los procedimientos comúnmente utilizados en los laboratorios geotécnicos actuales. Este método se comparó con la Prueba de Penetración Estándar (SPT, por sus siglas en inglés), una prueba común para obtener los perfiles estratigráficos que caracteriza el subsuelo de una manera invasiva, destructiva y costosa. El método SASW utiliza las características dispersivas de las ondas Rayleigh en medios estratificados o el semi-espacio, para obtener sus parámetros físicos y por lo tanto, su caracterización. De esto, un perfil de suelos es estimado y comparado con la prueba SPT. Se estudiaron los conceptos y

procedimientos fundamentales involucrados en la aplicación del método SASW, y la prueba SPT, para su comparación en la estimación de las propiedades físicas del suelo obtenidas por ambos procedimientos. En este trabajo se presentan resultados e interpretaciones de los resultados. En la represa Patillas, ubicada en el municipio de Patillas en la isla de Puerto Rico, se realizó la toma de datos para el procesamiento y el seguimiento de la metodología que involucra el método SASW, donde en la cima del dique se efectuaron diferentes arreglos con cuatro sensores (acelerómetros) y se usó una fuente de caída de un peso, para después del procesamiento de datos obtener una curva de dispersión compuesta. A partir de esta, se realizó la estimación del perfil de velocidades de onda de corte versus profundidad, obtenida por inversión de datos. En ese mismo sitio, anteriormente, un laboratorio de mecánica de suelos efectuó la prueba SPT y obtuvo un perfil estratigráfico. En este trabajo se comparó y se correlacionó el valor del número de golpes N de la prueba SPT, con la velocidad de onda de corte V_s obtenida con el método SASW.



Monitoreo de sistemas de detección automática

José F. Martínez Colón

Durante el 2015 se han continuado los trabajos de monitoreo 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, por lo que se necesita una revisión periódica de los parámetros característicos de eventos sísmicos (hora de detección, magnitud estima

da, profundidad y localización). Las detecciones automáticas son comparadas con los eventos procesados a diario por el personal de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos (APDG). Una óptima configuración aporta a la respuesta a sismos con mayor rapidez, sean locales, regionales o tele-sismos, según estipulado en los protocolos de RSPR.

Catálogo histórico, base de datos, entrenamiento análisis y “train the trainers”

Francis Pérez Ramos

El geólogo Francis Pérez, trabajó en dos proyectos operacionales: el catálogo histórico y la corrección de la base de datos. En el proyecto operacional del catálogo histórico se comparó este con el catalogo histórico preparado por McCann y otros. En dicho catálogo se recopilaron todos los datos de los eventos históricos, como por ejemplo: magnitud, profundidad, intensidad, reportes de sismos sentidos entre otra información. Luego se organizó y eventualmente el público general tendrá acceso a esta información a través de nuestra página de internet una vez implementada la base de datos. En esta base de datos el público puede hacer una búsqueda de los eventos históricos de los cuales tenemos registros en la RSPR. Actualmente nos encontramos en la segunda fase donde se está trabajando con la implementación e incorporación de la base de datos a nuestra página oficial.

En el segundo proyecto operacional, se trabajó con la corrección de la base de datos de la RSPR de los eventos significativos ocurridos en Puerto Rico e Islas Vírgenes durante los años 2007-2009. Se corrigió la información que se encuentra en los Memos utilizando una tabla digital, para luego importar las correcciones a la base de datos real que es la que se encuentra en línea. Durante el verano 2015 se trabajó con el currículo de tsunami y el adiestramiento a maestros sobre el mismo. Otro proyecto operacional en el cual se ha estado trabajando durante los últimos meses es el proyecto de educación “Train the Trainers”. Este se encuentra en una fase bastante avanzada, donde se está trabajando con la corrección de los módulos que se le estarán ofreciendo inicialmente a los profesionales de manejo de emergencia para que ofrezcan orientaciones/charlas/talleres sobre terremotos y tsunamis, para que estén preparados y tengan el conocimiento necesario para poder ofrecer efectivamente dichas presentaciones.

Por último y no menos importante se está trabajando en el desarrollo de un nuevo proceso metódico, sistemático y cuantitativo para entrenar a los analistas que se integran a nuestro grupo de trabajo. Actualmente este proyecto se encuentra en su fase inicial, una segunda fase de este proyecto está siendo desarrollada. Esta fase tiene como objetivo la capacitación y educación continua del personal de la Red Sísmica que trabaja en las operaciones 24 X 7, ante la rápida evolución del campo de la sismología y geofísica.

Desarrollo de herramientas para el procesamiento de datos geofísicos

José M. Rivera Torres

Como parte de los trabajos operacionales en la RSPR, el físico José M. Rivera Torres desarrolló distintas herramientas utilizadas por el personal de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos. Entre las distintas herramientas se encuentran el RSPRpad, ShakeMapRevision y el Energy-Released. El RSPRpad es una de las herramientas más utilizadas por el personal de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos ya que la misma se utiliza para almacenar la información de los eventos que han sido procesados (Figura 23).

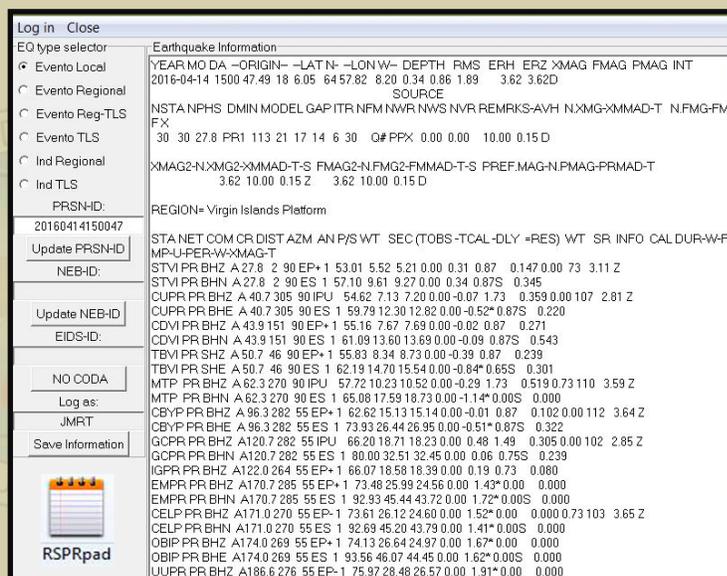


Figura 23. RSPRpad, herramienta para almacenamiento de eventos procesados. (RSPR-UPRM)

Broadcast Server y Shakemaps

María Torres Vega

Como parte del mejoramiento del sistema de localización de la PRSN se comenzó con las pruebas del sistema de localización de eventos locales mejorado, llamado Puerto Rico Data Analysis and Information System (PR-DANIS, versión 2) el cual podrá localizar eventos con magnitud ML y MD. Para la realización de las pruebas de este sistema se está comparando las localizaciones del sistema PR-DANIS (Figura 24) con las del sistema automático Early Bird para determinar qué tan efectivas son las mismas y poder hacer correcciones para mejorar el programa. Este sistema tendrá una librería en dónde se guardará toda la información de las estaciones sísmicas.

Durante el transcurso de los años, la RSPR ha estado almacenando los datos de las estaciones sísmicas y de los sistemas automáticos que son los encargados de detectar los eventos. En el 2015 se comenzó un esfuerzo para la organización de toda la data histórica de la RSPR, este proyecto continuará durante el 2016. La RSPR adquirió un "storage" nuevo donde toda la data se estará almacenando a largo plazo. Esto facilitará una mejor organización de los datos geofísicos y poder brindar un mejor servicio a las personas que soliciten la data.

El sistema BC-Server es utilizado para enviar toda la mensajería de eventos locales o tsunamigénicos a las agencias de emergencia, prensa y a los individuos mediante la utilización de los servicios de emails, texto, web page, y las redes sociales. Se continúa con la documentación del mejoramiento de este sistema. Durante el año 2015, se comenzó con la organización del primer taller de Shakemap para los Analistas de Datos Geofísico de la Red Sísmica. Los Shakemaps o mapas de movimiento fuerte son una generación gráfica del movimiento de la tierra producidos cuando ocurre un evento sísmico. En este taller se le estará brindando a los analistas de datos geofísicos temas tales como: instalación del programa en la RSPR y el proceso de cómo realizar el mismo. Se estará preparando una segunda fase donde el Servicio Geológico de EEUU (USGS, por sus silgas en inglés) le brindará una charla a los analistas de datos geofísicos. Esto es parte del mejoramiento profesional de los empleados de la RSPR para tener una mejor respuesta durante un evento. Se espera que estos talleres se lleven a cabo durante el 2016.

Nivelación de Caja de Muerto

Javier Charón Ramírez

La Red Sísmica de Puerto Rico, como parte de sus sistemas de monitoreo, cuenta con estaciones de mareógrafos alrededor de toda la isla. 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. Los mareógrafos requieren que todos los años se le realice mantenimiento en sus equipos para garantizar un funcionamiento óptimo. Los niveles ofrecidos por los mareógrafos están referenciados a 10 *benchmarks* que se encuentran 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 elevación conocidas que sirven de referencia y monitoreo del mareógrafo. Un *benchmark* es una chapa de bronce de aproximadamente de 4" de diámetro. El mismo se coloca con cemento hidráulico en una base sólida que puede ser una de las columnas del muelle o 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 *benchmarks* en verano del 2014, por los próximos años se le añadirá un *benchmark* hasta completar los 10 requeridos. Los demás mareógrafos de la red ya tienen los 10 *benchmarks*.

A estas marcas se les coteja su nivel con respecto al mareógrafo todos los años como parte de los trabajos

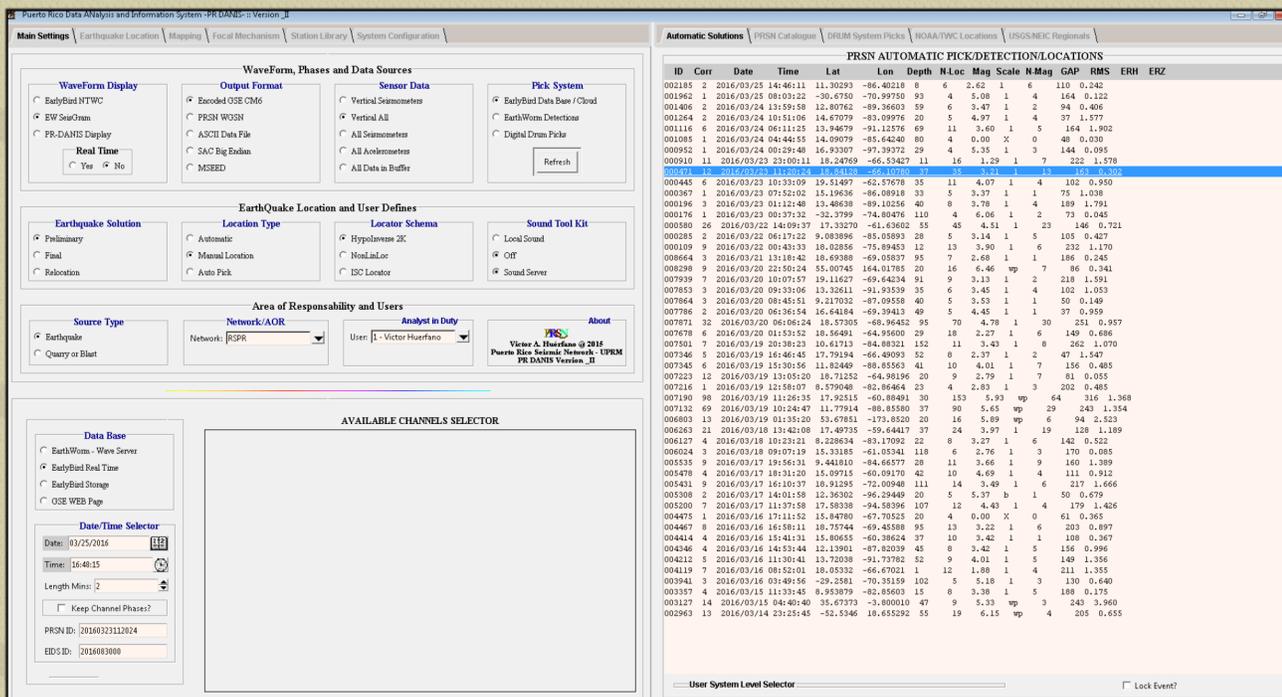


Figura 24. Herramienta de localización y procesamiento final PRDanis V.2. (RSPR-UPRM)



Figura 25: Personal de RSPR realizando trabajos de nivelación. (RSPR-UPRM)

de mantenimiento. El equipo utilizado para la nivelación consta de un Nivel Leica DNA03 y dos miras en aluminio de 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 pulgada. Para poder realizar los trabajos en la isla de Caja de Muertos se coordina con personal de Recursos Naturales (DRNA) que son quienes autorizan las visitas. Debemos recordar que esta isla no tiene disponible electricidad, por lo que para realizar los trabajos de instalación de *benchmark* en el área del muelle tuvimos que llevar una planta eléctrica portátil ya que se utilizaron taladros eléctricos. Los trabajos de nivelación son realizados por la Profesora Linda Vélez quien es Agrimensora Licenciada. Los trabajos de instalación de los *benchmarks* 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 Dr. Elizabeth Vanacore, sismóloga de la RSPR. La Figura 25 muestra el personal de la RSPR realizando los trabajos de nivelación.

EMWIN (Emergency Management Weather Information Network)

Denyse Colón Lugo

El proyecto operacional que comprende el EMWIN, encabezado por la geóloga Denyse Colón Lugo, se ha enfocado en crear un entrenamiento básico de la instalación y configuración de *Weather Message*, programa que decodifica y procesa los mensajes enviados por el *National Weather Service* (NWS) usando el servicio EMWIN, y los componentes necesarios para recibir la señal. Durante el año 2015, se

enfocaron los esfuerzos en adiestrar al personal de análisis de la RSPR y las Oficinas Municipales para el Manejo de Emergencia que participan del programa Tsunami Ready para que puedan comprender los múltiples usos del servicio EMWIN y el programa *Weather Message*.

Para esto, primero se actualizó el inventario del estado de las computadoras EMWIN de los municipios participantes de Tsunami Ready. Luego, se reconfiguraron las computadoras que no estaban recibiendo EMWIN data correctamente, se actualizaron las licencias y/o se pusieron en lista para arreglar o reemplazar algún componente dañado del sistema. En adición, se configuraron en todos los municipios los nuevos productos que se van a recibir del *Pacific Tsunami Warning Center*, agencia que ahora estará a cargo de enviar mensajería del Caribe.

Por último, se implementó una prueba mensual interna de EMWIN para asegurarnos que el programa de *Weather Message* de la RSPR está recibiendo correctamente los mensajes.

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, 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 disseminación 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 al Sistema *BroadCast* durante la respuesta a terremotos sentidos y tsunamigénicos, así como la implementación de los *Shakemaps* instrumentales. Se trabajó además en la mejora de los sistemas de comunicación y disseminación de nuestros datos y productos de emergencia, implementándose el nuevo *Early Warning* y el *Rapid Earthquake Alert* a los protocolos de respuesta. Al igual que en el año anterior se ha enfatizado en la planificación para mantener continuidad de operaciones luego de una emergencia, como parte del programa federal Plan COOP.

Como parte de las tareas operacionales hemos continuado trabajando en el Plan COOP de la RSPR (requisito establecido a través de las directrices presidenciales: “National Security Presidential Directive-51” (NSPD-51), la “Homeland Security Presidential Directive-20” (HSPD-20) y la “National Continuity Policy”). Hemos participado además en 16 seminarios en línea de *COOP Webinar Series* de FEMA, que cubren los distintos aspectos necesarios para la preparación de un plan de continuidad de operaciones. En este año particular, es sumamente importante la re-evaluación de estos procedimientos debido a la mudanza a las nuevas facilidades de la RSPR. Participamos además en la serie de conferencias en línea *NOAA Webinar Tsunami Ready Guidelines*. Por otro lado, durante el año 2015 participamos en la preparación y asesoramiento en varios Ejercicios como el LANTEX/CARIBEWAVE 2015 (25 de marzo), Borinqueneer 2015 (14 al 21 de marzo) y ShakeOut 2015 (15 de octubre)(Figura 26). Estos ejercicios de prueba nos permitieron probar los protocolos y procedimientos vigentes en la RSPR para la emisión de mensajería de Terremotos y Tsunamis. En el Ejercicio **Operation Borinqueneer Response** fuimos asesores de escenario de la Guardia Nacional de Puerto Rico.

Del 7 al 10 de diciembre de 2015 participé en el taller “Regional Training Workshop on Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) Enhanced Tsunami Products for ICG/CARIBE EWS” en Bridgetown, Barbados (Figura 27). Este taller fue organizado por la *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)* de la UNESCO, el *Caribbean Tsunami Information Centre (CTIC)* y por el *Pacific Tsunami Warning Center (PTWC)*. En este taller se promovió la colaboración entre los países caribeños, con el objetivo de permitir a los *Tsunami Warning Focal Points (TWFP)*, los Natio-

nal Tsunami Warning Centers (NTWC) y los *Tsunami Emergency Responders (TERs)* recibir efectivamente, analizar y tomar las medidas de respuesta adecuadas ante la información emitida en los Productos de Tsunami Mejorados para el Caribe y las regiones adyacentes del Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC).

Entre los tópicos que se estudiaron en el taller están: procedimientos operacionales estandarizados ante tsunamis, presentación y explicación de los productos mejorados (textos, mapas con polígonos de pronósticos, pronósticos costeros, gráficos de propagación de energía en océano profundo, tablas de pronósticos y archivos kmz) para la toma de decisiones ante la amenaza de un tsunami, con especial atención en la cadena de comunicaciones durante este tipo de eventos. Otros temas discutidos fueron los desafíos para la emisión de alertas y la respuesta ante un tsunami, las herramientas para la toma de decisiones, los mensajes de alerta, los conceptos de desalojo y planificación y las estrategias de sensibilización al público.

Large AtlaNtic Tsunami EXercise/CaribeWave 2015

Gisela Báez-Sánchez

Como parte del mejoramiento continuo de nuestras operaciones y respuestas a emergencia, coordinamos el ejercicio conjunto de tsunamis CARIBEWAVE/LANTEX 2015, con todas las agencias de respuesta a emergencias dentro de la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes (nuestra Área de Responsabilidad). Al igual que en años anteriores la RSPR es la agencia líder en la coordinación de este ejercicio de comunicaciones para Puerto Rico y las



Figura 26. Ejercicios organizados y realizados durante el 2015; LANTEX 2015 (Tsunamis) y SHAKEOUT 2015 (Terremotos). (RSPR-UPRM)



Figura 27. Taller de IOC en Barbados 2015. La Geol. Báez-Sánchez junto a los delegados de las Islas Vírgenes Británicas (país perteneciente a la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes). (RSPR-UPRM)

Islas Vírgenes. Para el mismo trabajamos en conjunto con el Centro Nacional de Alerta de Tsunamis en Alaska (NTWC, 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 25 de marzo de 2015.

En general, en la Región de Puerto Rico e Islas Vírgenes la participación en el ejercicio CARIBEWAVE/LANTEX 2015 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 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 Diseminación de Información de Terremotos y Tsunamis, figura 28), teléfonos dedicados (*ring downs*), radio frecuencia de AEMEAD, RSS News (RSPR), mensajería de texto (Listas de Emergencia-TWFP), listas de correos electrónico (Emergencia, Prensa, Público, Registro LANTEX), fax y redes sociales. Trabajamos arduamente en la actualización de la página oficial del Ejercicio CARIBEWAVE/LANTEX de la RSPR (<http://www.prsn.uprm.edu/lantex/>), en donde encontrarán todos los materiales desarrollados por la RSPR para el ejercicio y en el rediseño del Registro Oficial del Ejercicio según acordado con el IOC.

En total emitimos 8 mensajes durante el ejercicio. El primero, un anuncio de comienzo del ejercicio a las 10:00 am a través del RSS, listas de servicio, página Web y redes sociales. Además se emitieron 7 Boletines Oficiales de la RSPR con la información de Advertencia, Aviso y Cancelación de Tsunami (en español e inglés), según emitida por el NTWC. Estos boletines se diseminaron a manejadores de emergencias 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 diseminaron los boletines además al público general, a través de listas de servicio por emails (prensa, público y registro LANTEX), fax, página Web de la RSPR y redes sociales (Facebook y Twitter).

A nivel de comunicaciones se detectaron fallas menores en los sistemas de comunicación y diseminación de información. Se trabajó en la corrección inmediata de dichas fallas detectadas para que el ejercicio transcurriera

cumpliendo con los objetivos trazados. Para este ejercicio se activó el sistema de EAS, en coordinación con la Asociación de Radiodifusores, a través de los medios de comunicación de radio, televisión 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 25 de marzo de 2015, por el Servicio Nacional de Meteorología Oficina de Pronósticos de San Juan anunciando el comienzo del ejercicio, coincidiendo con el Boletín #1 de Advertencia. En la RSPR monitoreamos tanto la activación 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. Los otros dos están trabajando 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. En el Registro Oficial del Ejercicio, establecido por la RSPR junto al CTWP, participaron un total de 132,447 individuos, de los cuales 98,068 participantes fueron de Puerto Rico. Según el registro de participación de la RSPR para el ejercicio CARIBEWAVE/LANTEX 2015 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 previas al ejercicio.



Figura 28. Sistema Broadcast de la RSPR, Ejercicio de Comunicaciones CARIBEWAVE/LANTEX 2015. (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 2015, el Programa Educativo de la RSPR ofreció un total de **110 actividades educativas** tanto en nuestras facilidades como en diferentes municipios de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. La RSPR impactó un total de **6,336 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 **83 entrevistas** a través de diferentes medios masivos de comunicación. Continuamos con nuestra pauta 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 a nivel universitario como lo es, **Foro Colegial** (radio y TV). Los mismos se transmiten a través de Radio Universidad de Puerto Rico y WORA TV, respectivamente.

En este año, continuamos 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. Además, trabajamos activamente en el Ejercicio CaribeWave 2015, el 17 de marzo de 2015. La Red Sísmica, en su colaboración con el registro de

Poblaciones con Necesidades Funcionales y de Acceso de Puerto Rico, creado por AARP y el Departamento de Salud de Puerto Rico, promocionó activamente este registro en nuestras actividades educativas y se incluyó el enlace del registro en la página oficial del ejercicio nacional de terremotos, El Gran Puerto Rico ShakeOut promoviendo la participación de la comunidad especial, sus familiares y encargados. El programa de educación también participó como exhibidor en la Conferencia Anual de la Asociación de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. El 15 de octubre de 2015, celebramos por cuarta vez consecutiva en Puerto Rico el ejercicio de protección en caso de terremotos “El Gran ShakeOut de Puerto Rico”, financiado por FEMA. Con la ayuda y aportación de la Asociación de Radiodifusores, el Comité EAS de Puerto Rico, la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres, se diseminó y promovió la participación de toda la ciudadanía en dicho ejercicio. A las 10:15 a.m. del 15 de octubre, miles de puertorriqueños practicaron el método sugerido para protegerse de un terremoto fuerte: agacharse, cubrirse debajo de un objeto resistente y sujetarse del mismo por un minuto. A los interesados 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 602,000 personas en todo Puerto Rico (Figura 29). Simultáneamente, se realizaron pruebas de los diversos sistemas de comunicaciones en caso de terremotos y tsunamis, en colaboración con AEMEAD y el Sistema de Alerta



de Emergencia de Puerto Rico (EAS). La RSPR desarrolló junto con el Programa de Alerta de Tsunamis del Caribe, un adiestramiento para los salvavidas que laboran en los balnearios de Puerto Rico para la preparación y respuesta en caso de tsunamis (Figura 30). Se llevaron a cabo dos talleres en los cuales participaron los siguientes municipios: Añasco, Rincón, Cabo Rojo y Guánica.

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 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 (Plan COOP) de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias. 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 formato “*Power Point*”. El último día los participantes podrán ofrecer unas presentaciones cortas en donde personal de la Red Sísmica 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.



Figura 30. Adiestramiento a salvavidas en Mayagüez, PR (RSPR-UPRM)

Colaboración con Radio Casa Pueblo

José F. Martínez Colón

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 diseminación 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. Nuevas cápsulas son transmitidas todos los viernes a las 9:25 am por la estación 1020AM, 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.

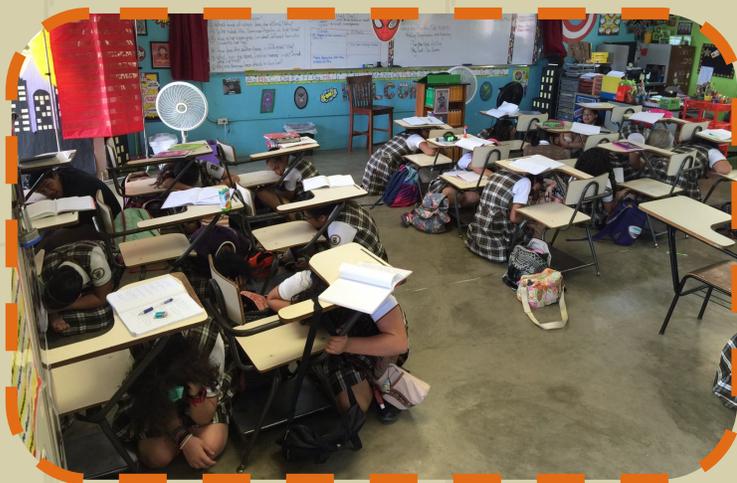


Figura 29. Ejercicio del ShakeOut, 15 de octubre de 2015. (RSPR-UPRM)

Roy Ruiz y Wildaomaris González Ruiz

El programa *TsunamiReady*[®] es un esfuerzo nacional coordinado (del *National Weather Service*) 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. En el 2015 once municipios estaban pendientes para renovar el programa *TsunamiReady*. Sin embargo, fueron renovados por el Servicio Nacional de Meteorología siete municipios como se define en la Tabla 3 (Figuras 31 y 32).

Para el mes de junio de 2014, todos los municipios costeros de Puerto Rico (44) adoptaron 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 24/7. Dado que el reconocimiento otorgado por el Servicio Nacional de Meteorología como Municipio *TsunamiReady* dura sólo tres años, a partir del mes de agosto 2015 se comenzaron los trabajos de seguimiento con los pueblos que se acercaban a su fecha de vencimiento: Guánica, Fajardo, Naguabo, Ceiba, Maunabo, Yabucoa, Patillas, Humacao, Luquillo, Camuy, Culebra, Barceloneta, Manatí y Aguadilla. También se comenzaron los trabajos para dos municipios no costeros que serán incluidos en el programa *TsunamiReady* pues tienen zona de desalojo por tsunami de acuerdo a la modelación. Estos municipios son Bayamón y Canóvanas. Durante el 2015 también se brindó soporte al municipio de Arroyo quien perdió el reconocimiento pero trabajaron arduamente para estar nuevamente en la lista de municipios *TsunamiReady* en Puerto Rico. Municipios como Mayagüez, Carolina y Añasco recibieron igualmente apoyo de parte de la Red Sísmica para completar los compromisos adquiridos para ser renovados por el Comité *TsunamiReady*.

Otra iniciativa del programa durante el 2015 fue el desarrollo de letreros informativos para varios balnearios de la Isla administrados por la Compañía de Parques Nacionales y otros por las administraciones Municipales. Como parte de este programa se entregaron 13 letreros a 11 balnearios (Figura 33, a y b). Durante el próximo año se espera entregar

Programa **TsunamiReady**

ocho letreros adicionales. Como parte del trabajo educativo del programa *TsunamiReady*, durante los meses de junio y julio se ofrecieron 4 talleres en diferentes zonas de Puerto Rico (Bayamón, Villalba Fajardo y Mayagüez) dirigido al personal de manejo de emergencia y despachadores que laboran en los puntos focales (TWFP) los cuales tendrán que recibir la información en caso de un alerta de tsunami para Puerto Rico (Figura 34). En estos talleres se impactaron sobre 200 manejadores de emergencias. También, durante el mes de septiembre, se ofreció el taller de tsunamis para los medios de Puerto Rico el cual incluyó una guía de tsunamis para los medios. Dicho taller se ofreció en las facilidades de la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Desastres (AEMEAD).



Figura 31: Actividad de reconocimiento de Salinas con la Hon. Karilyn Bonilla. (RSPR-UPRM)



Figura 32: Visita de renovación del Municipio de Arroyo. (RSPR-UPRM)

En nuestro esfuerzo por continuar aportando herramientas técnicas que ayuden a mejorar la preparación de nuestras comunidades, durante este año se trabajó en el primer modelo de desalojo a pie utilizando 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) para la zona de desalojo de Mayagüez. Este modelo arrojó resultados muy interesantes que ayudan a evaluar los tiempos de desalojo de nuestras comunidades costeras.

Finalmente trabajamos 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*. El plan de trabajo incluye tres nuevos hoteles. También se espera tener el primer hospital y el primer supermercado *TsunamiReady Supporter* en Puerto Rico el próximo año. Esta nueva propuesta también incluye extender a tres municipios más el modelo de desalojo a pie (Arecibo, Aguadilla y Ponce). Se continúa trabajando para mantener a Puerto Rico como modelo a seguir dentro del programa *TsunamiReady* a nivel nacional.



Figura 33: Parte frontal (a) y parte posterior (b) del letrero instalado en el balneario municipal *Crash Boat* del Municipio de Aguadilla. (RSPR-UPRM)

Tabla 3: Municipios reconocidos durante el año 2015 (RSPR-UPRM)

Municipio	Fecha de Renovación
Arroyo	10/diciembre/2015
Toa Baja	15/septiembre/2015
Lajas	17/septiembre/2015
Salinas	29/septiembre/2015
Yauco	30/septiembre/2015
Carolina	23/diciembre/2015
Santa Isabel	18/diciembre/2015



Figura 34: Taller *TsunamiReady* para Puntos Focales de Aviso de Tsunami de las Zonas de AEMEAD de Mayagüez y Aguadilla. El mismo se diseñó para retenes y radio operadores. (RSPR-UPRM)

Cómputos y Sistemas de Información Impacto al público y la comunidad

Ángel J. Feliciano Ortega
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 X 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 2015 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 (Figura 35). Este año tuvimos 143,907 usuarios de los cuales 52.2 % fueron nuevos usuarios y 47.8% fueron usuarios recurrentes. Los *pageviews* para este año alcanzaron los 402,933.

El mes de mayor sesiones abiertas (54,894) y usuarios (39,461) fue julio con dos picos de más de 10,000 sesiones (Figura 36). Este comportamiento se debe a que

julio es el mes de mayor sismicidad (473 sismos), y tiene además 4 eventos sentidos y 7 enjambres sísmicos. El evento sentido de mayor intensidad ocurrido el 1 de octubre, generó gran interés en el público. Esto se refleja en las estadísticas de visitas a la página web con 24,032 sesiones y 18,664 usuarios. Un ejemplo del interés que generan eventos individuales lo podemos ver en el mes de diciembre en donde las estadísticas muestran los tres picos correspondientes a los sismos sentidos en ese mes (Figura 37).

Los 5 países que más visitaron nuestra página oficial de internet en 2015 fueron: Puerto Rico, Estados Unidos, República Dominicana, Colombia y México. En la plataforma social Facebook comenzamos en enero del 2015 con 278,146 seguidores y culminamos diciembre 2015 con un total de 328,923 seguidores. El post que mayor interés causó en el público (con un alcance de 559,192 personas) fue el Comunicado de Prensa del 24 de julio sobre la actividad del Volcán Kick'em Jenny.

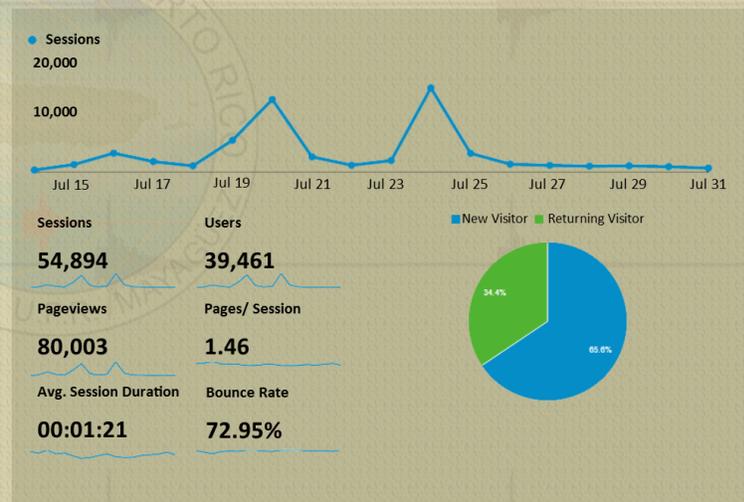


Figura 36: Estadísticas de la página web para el mes de julio de 2015. (RSPR-UPRM)



Figura 35: Cantidad de visitas recibidas en la página web de la RSPR del 1 de enero al 31 de diciembre 2015. (RSPR-UPRM)

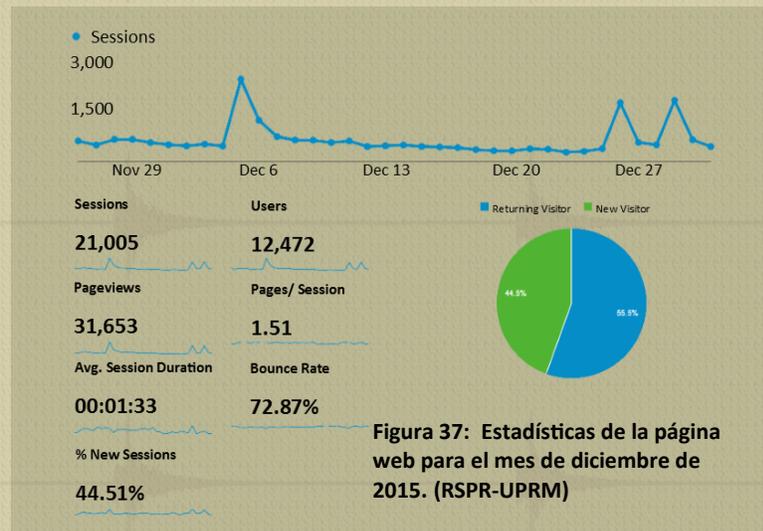


Figura 37: Estadísticas de la página web para el mes de diciembre de 2015. (RSPR-UPRM)

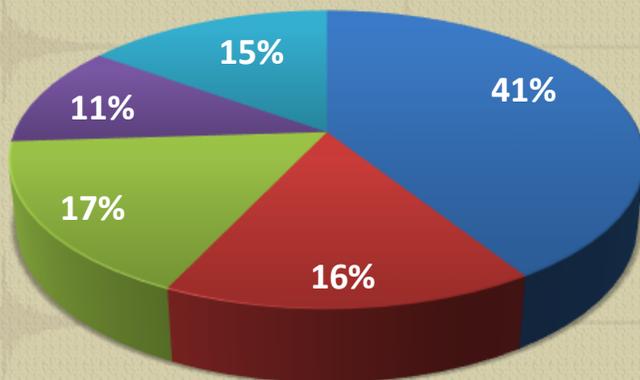
Durante el año 2015, las operaciones y el funcionamiento de 24 horas los siete días de la semana, las mejoras y los proyectos realizados en la RSPR, fueron posibles gracias a la asignación de fondos de agencias federales (NOAA) y estatales (ELA, fondos legislativos, AEEMAD y UPR; Figura 38).

FONDOS LOCALES

- Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (UPRM)
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico (ELA, Ley 106 de 2002)
- Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (AEEMAD)

FONDOS FEDERALES

- National Earthquake Hazard Reduction Program (NTHMP)
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
- Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés)
- United States Geological Survey (USGS)
- United States Army Corps of Engineers (USACE)



- Ley 106 (gobierno estatal)
- AEEMAD (gobierno estatal)
- NTHMP - NOAA (gobierno federal)
- NOAA- Operaciones (gobierno federal)
- UPRM (gobierno estatal)

Figura 38: Distribución de Fondos asignados a la Red Sísmica de Puerto Rico por agencias estatales y federales. (RSPR-UPRM)

INSTALACIONES DE EQUIPOS Y SERVICIOS

- Universidad de Puerto Rico (UPR) - Recintos de Mayagüez, Aguadilla, Humacao y Ponce
- 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
- Sistema Universitario Ana G. Méndez Fundación Ángel Ramos (Observatorio de Arecibo)
- Universidad Interamericana de Puerto Rico - Recinto de Guayama
- Universidad de las Islas Vírgenes - Recinto de Saint Thomas
- 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 Misioneras del Buen Pastor, Guaynabo
- Department of Disaster Management (DDM, British Virgin Islands)
- Oficina de Meteorología de Aruba

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

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

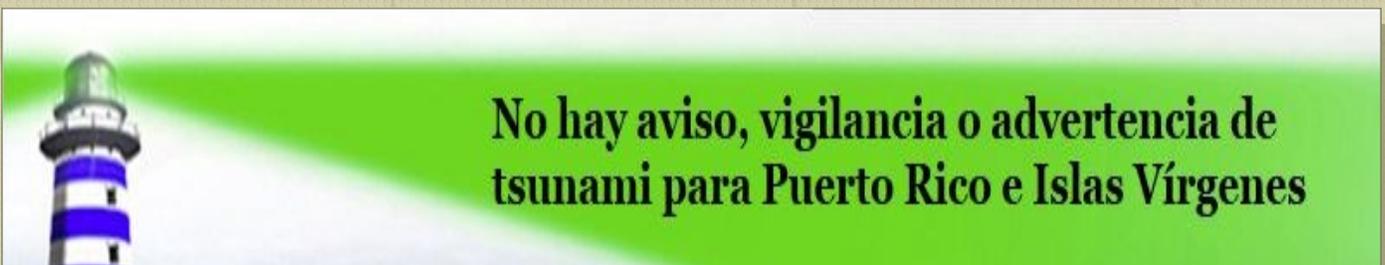
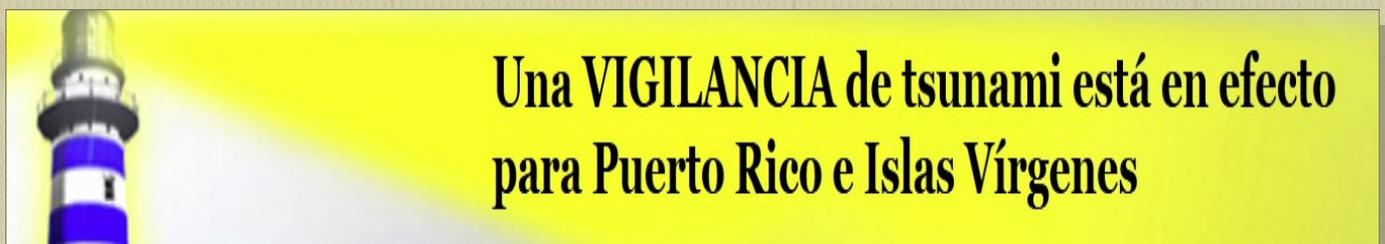


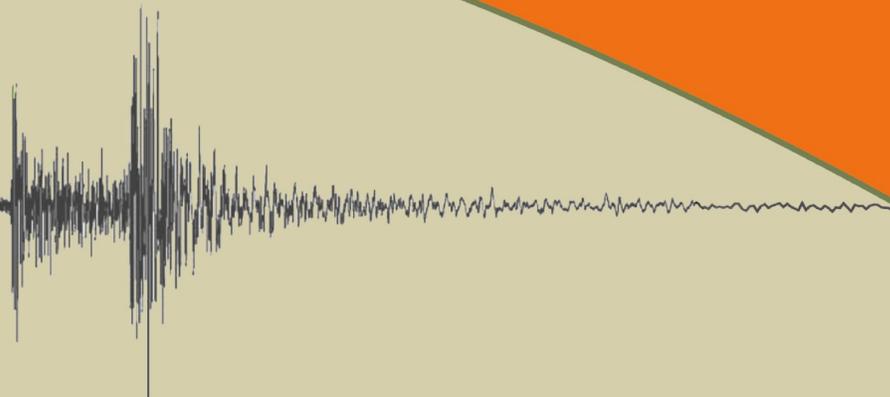
Algunas estaciones de las redes contribuyentes

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

