



TABLA DE CONTENIDO

Mensaje del Director	2	Analistas de Datos Geofísicos	21
Operaciones	3	Proyecto EMCOMM	30
Resumen de sismicidad durante el 2018	3	NOAA OPERACIONES	31
Sismos Sentidos	6	Estudiantes Graduados	32
Enjambres Sísmicos	8	Programa Educativo	34
Energía Liberada	10	Programa TsunamiReady	35
Sistemas de Monitoreo Sísmico y Mareográfico ..	12	Cómputos y Sistemas de Información	39
Estaciones Mareográficas	12	Colaboración y Financiamiento	40
Estaciones de Monitoreo Geodésico	14	Redes Contribuyentes	41
Investigaciones	16	Personal RSPR	42
Proyectos Operacionales	21	Mensajería de Tsunami	43

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 y las Islas Vírgenes.

BREVE HISTORIA DE LA RED SÍSMICA DE PUERTO RICO

La Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) es parte del Departamento de Geología de la 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, por sus siglas en inglés). 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 Isote. 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 y las Islas Vírgenes (Americanas y Británicas).

MENSAJE DEL DIRECTOR

2

Hace un siglo, nuestra querida Isla de Puerto Rico fue devastada por un evento sísmico destructivo localizado en la zona oeste. El 11 de octubre de 1918, un día como cualquier otro, los niños y niñas atendían a sus maestros en las escuelas y los adultos en las fábricas, el campo, hogares o deberes oficiales, atendían sus labores cotidianas. Para ese entonces en el Colegio de Agricultura y Artes Mecánicas (CAAM), hoy conocido como el Recinto Universitario de Mayagüez de la UPR, el día transcurría sin mucha novedad. Sin embargo, el reloj de la Torre del CAAM se detuvo a las 10:14 de la mañana. El estudiante Luis Stefani Raffucci, quien cursaba su primer año universitario y que años más tarde fue vicerector de este Recinto, declaró: “...la residencia de ladrillos que allí había, estaba hecha escombros y unos hombres removían afanosamente los pedazos porque alguien estaba preso debajo de la tremenda carga de ruinas. Al oír los quejidos, pusimos los libros en la acera y empezamos a sacar ladrillos también...”.

Cinco minutos más tarde, alguien trepado en el faro de Aguadilla gritó que el agua se estaba retirando. Fue cuestión de minutos cuando una ola de 20 pies de altura se abalanzó sobre Aguadilla causando más muertes, destrucción y zozobra a la ya maltrecha población. El 11 de octubre de 2018, en Mayagüez, conmemoramos estos sucesos históricos, cuando junto a autoridades civiles, religiosas y a la comunidad rendimos homenaje a quienes perdieron sus vidas aquel trágico día. Igualmente honramos la gallardía del Pueblo que sobrevivió y se recuperó dándonos lecciones de resiliencia.

“...Recordar es vivir nuevamente la historia, y la historia aprendida es una lección de vida” nos reitera la coordinadora de la División de Educación de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR). En la RSPR nuestro norte es aprender de la historia de los terremotos y tsunamis, y enseñar a las próximas generaciones sobre estos eventos naturales para hacer de nuestra Isla un lugar más educado, preparado y resiliente. Construir acorde a los códigos establecidos y seguir una buena planificación, implementar en los currículos de enseñanza el tema de terremotos y tsunamis. Estas son, sólo algunas recomendaciones que en coordinación con la preparación de la comunidad pueden ser útiles y salvar vidas. Es por esto, que la RSPR les exhorta a tener su plan de emergencia familiar y a participar anualmente del Ejercicio Regional de Tsunamis *Caribe Wave* (que se realiza en marzo) y el Ejercicio de Terremotos Gran *ShakeOut* de Puerto Rico (realizado en octubre).

En la RSPR, seguiremos cumpliendo con nuestra misión primordial que es, monitorear la actividad sísmica y de tsunamis en Puerto Rico y las Islas Vírgenes, e informar de manera confiable y oportuna a nuestras autoridades, a los medios de comunicación y por supuesto al público en general. A modo de ejemplo, el pasado 10 de enero de 2018 fue la primera vez que ha sido necesario emitir una Advertencia de Tsunami, durante la activación del protocolo de tsunamis para Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Esto debido a la ocurrencia de un terremoto de magnitud 7.5 en el Caribe Hondureño. Si bien seguimos el protocolo establecido, fue evidente que no todo salió como en los ejercicios. Por lo tanto, con los programas de capacitación, se está reforzando a los oficiales de primera respuesta de los Puntos Focales de Alerta de Tsunamis y a las comunidades costeras. De igual manera, continuamos con el programa *TsunamiReady* y la implementación del Programa *TsunamiReady Supporters*, que brinda apoyo a la comunidad en la eventualidad de un tsunami.

El trabajo e informe aquí presentado, es posible gracias a la entrega y dedicación de nuestro personal, al cual le estoy muy agradecido. Igualmente, mis reconocimientos a quienes nos dan apoyo técnico y financiero, como son: el Gobierno Central del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (ELA), el Negociado de Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (NMEAD), la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA), la Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos (NOAA), el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el consorcio de geodesia UNAVCO, la Universidad de Puerto Rico (UPR) y su Recinto Universitario de Mayagüez (RUM).

Sinceramente,

Victor Huérfano Moreno

Víctor Huérfano Moreno, PhD

RESUMEN DE LA SISMICIDAD DURANTE EL AÑO 2018

Durante el 2018, la RSPR localizó un total de **3,974 sismos** (Figura 1) en el área de responsabilidad (ADR) conocida como la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (entre las latitudes 17.0° N, 20.0° N y las longitudes 63.5° O a 69.0° O). En comparación con el año 2017 (**3,129 sismos**), la sismicidad detectada y localizada aumentó con **845 temblores (27%)** más que en el año anterior. En este año, el mes de mayor sismicidad fue **diciembre** con **549 temblores** y el mes de menor sismicidad fue **febrero** con **227 sismos** (Figura 2). Del total de eventos del 2018, **29 temblores (0.72%)** fueron reportados como sentidos, 25 de los mismos fueron localizados dentro de nuestra ADR y 4 eventos fuera de nuestra ADR (regionales). Por otro lado, las magnitudes de los eventos sísmicos (calculadas) por la RSPR, para este año, se distribuyeron entre **0.63 Md a 4.67 Md**. Mientras que para los eventos sentidos las mismas fluctuaron entre **2.37 Md a 5.9 Mw**. Durante el año 2018, las profundidades observadas variaron entre **2 km a 185 km**. Para los sismos sentidos las profundidades variaron desde **5 km a 127 km**. Los sismos con profundidades de **0 a 25 km** fueron los más frecuentes con **1,904 temblores**. Los sismos entre las profundidades **175 km y 200 km** fueron los de menor ocurrencia durante este año (Figura 3). La región con mayor sismicidad registrada durante el 2018, fue la **Región Sur de Puerto Rico** con **412 eventos sísmicos**, seguida por la **Zona de la Falla de 19°N** con **349 sismos**.

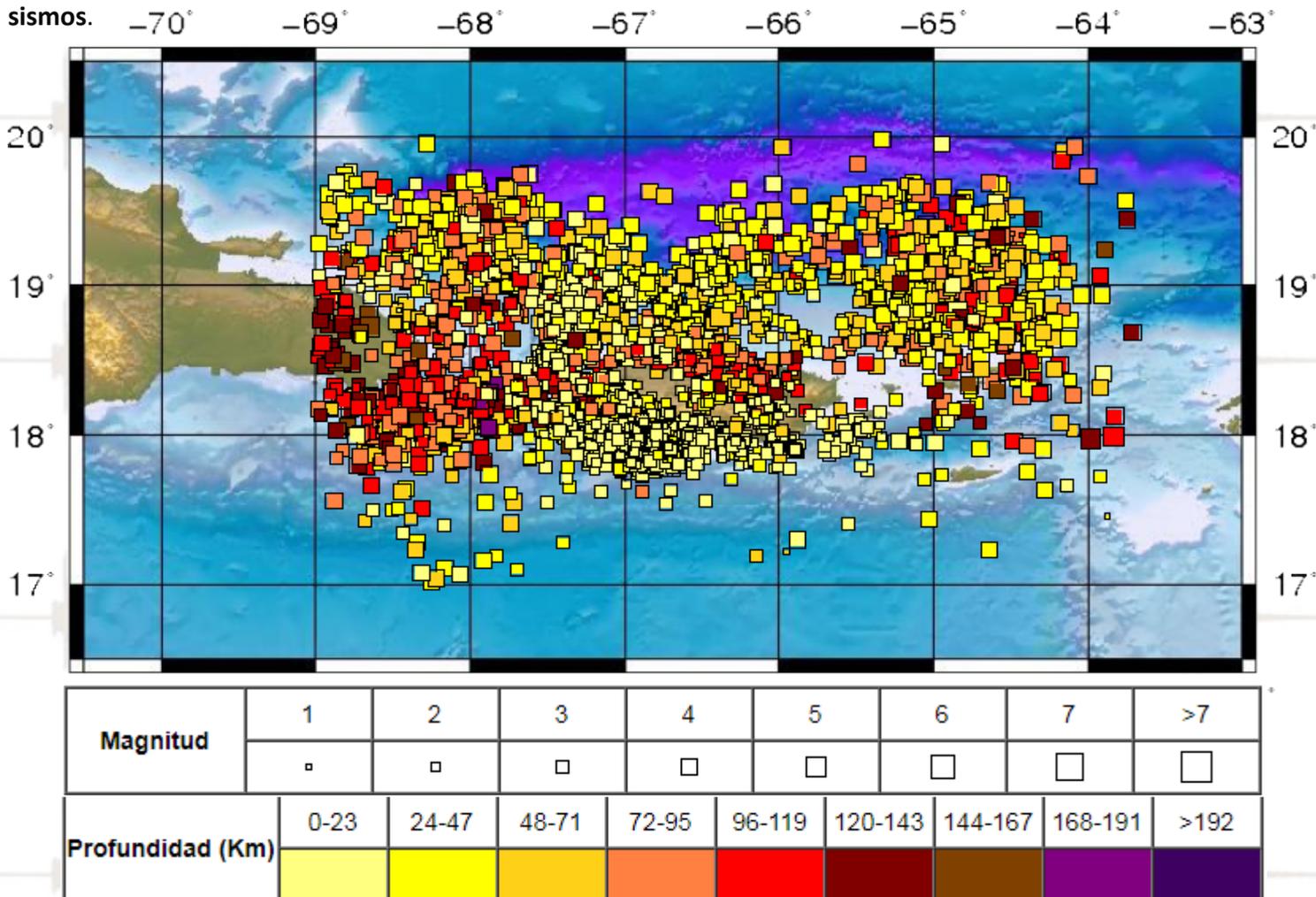


Figura 1. Mapa epicentral de los sismos localizados por la Red Sísmica de Puerto Rico para el año 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

Para conocer la descripción de las magnitudes visita el siguiente enlace:
<http://redsismica.uprm.edu/Spanish/educacion/terremotos/tamano.php>

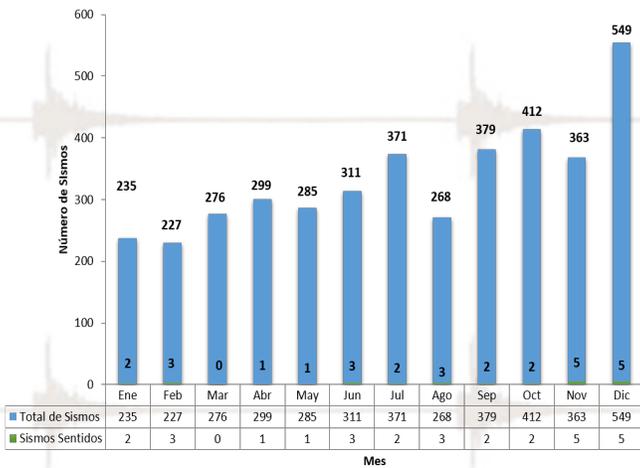


Figura 2. Distribución mensual de sismos localizados y reportados como sentidos durante el 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

De los últimos 10 años, este es el año de mayor sismicidad con 3,974 temblores, le sigue el 2016 con un total de 3,948 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 2009 al 2018), muestra que el rango de magnitudes (Md) con mayor número de sismos es de **2.0 a 3.0 (Md)** con un total de **15,680 temblores** (Figura 5). Este rango de magnitudes fue seguido por magnitudes de **3.0 a 4.0 (Md)** con **10,234 sismos**. Las magnitudes calculadas por la RSPR durante el 2018 variaron de **0.63 (Md) a 4.67 Md** (Figura 6). Para los eventos sentidos las mismas

fluctuaron entre **2.37 Md a 5.9 Mw**. En el 2018, el rango de **magnitudes calculadas con mayor número de sismos** se mantuvo igual al del año anterior (2017). El mismo va de **2.0 a 3.0 (Md)** con **1,994 sismos**, seguido por magnitudes de **3.0 a 4.0 (Md)** con **1,102 sismos**. La concentración de sismicidad para el 2018 estuvo ampliamente distribuida en toda la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (Figura 7).

Las regiones sísmicas con mayor actividad fueron la **Región al Sur de Puerto Rico con 412 temblores**, la **Zona de la Falla de los 19° N con 349 temblores** y la **Zona Sísmica de Sombrero con 346 temblores** (Tabla 1). Las regiones de menor actividad sísmica durante este año fueron: Santa Cruz y la Dorsal de Santa Cruz, con un evento en cada una de ellas.

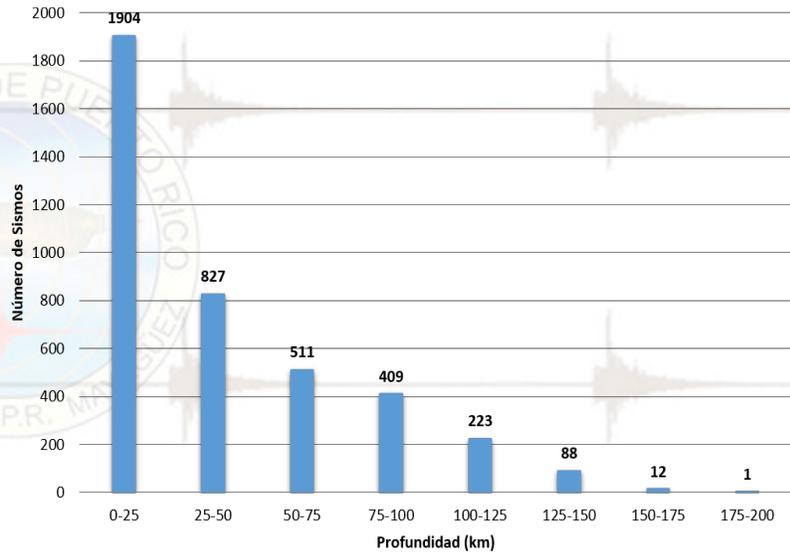
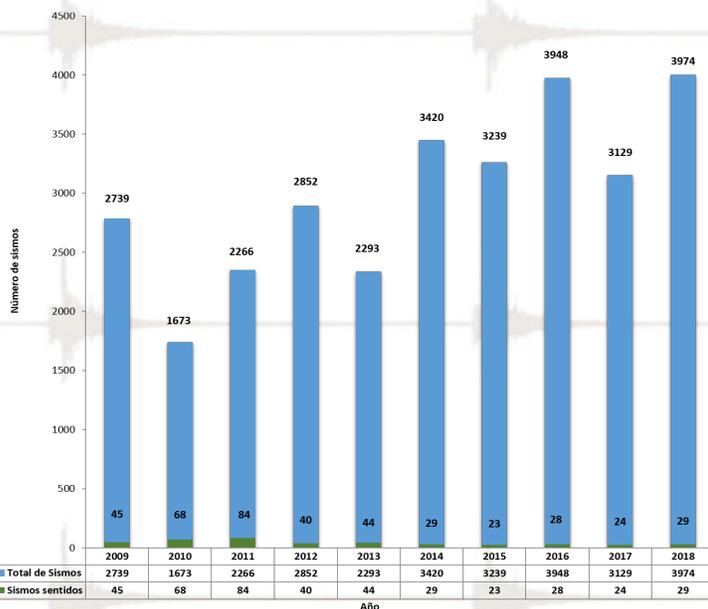


Figura 3. Distribución de sismos por profundidad para el 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).



La región con mayor número de sismos sentidos fue la **Plataforma de Islas Vírgenes** con **5 sismos sentidos**. Durante el mes de enero, se emitió por primera vez una **Advertencia de Tsunami** para la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes, esto a raíz del terremoto de magnitud **7.6 Mww**, localizado al Norte de Honduras el 10 de enero de 2018; este terremoto no causó tsunami para nuestra región.

Figura 4. Distribución anual de sismos localizados y reportados como sentidos desde el 2009 hasta el 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

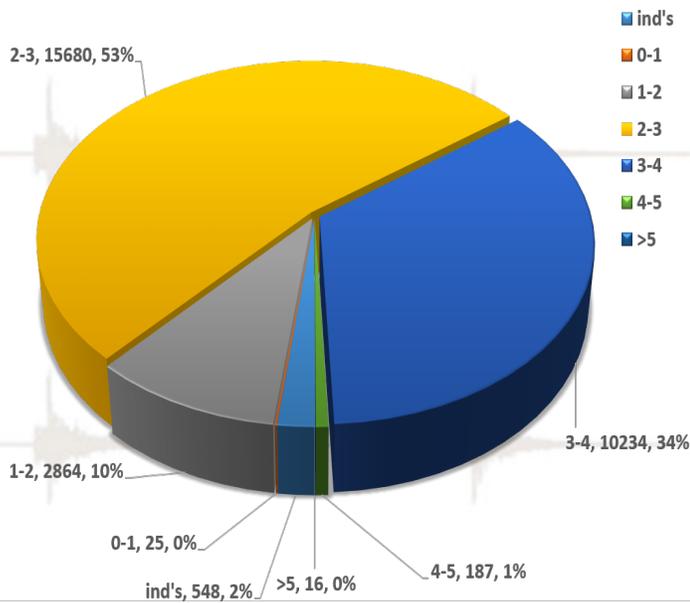


Figura 5. Distribución anual de sismos localizados y reportados como sentidos desde el 2009 hasta el 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

Tabla 1. Distribución de la sismicidad por regiones en el 2018 dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

Región Sísmica	Total de Sismos 2018	Total de Sismos Sentidos 2018
1. Región Central de PR	251	2
2. Región Sur de PR	299	0
3. Región Sureste de PR	7	0
4. Región Este de PR	12	0
5. Región Noreste de PR	2	0
6. Región Norte de PR	37	0
7. Región Noroeste de PR	9	0
8. Región Oeste de PR	187	0
9. Región Suroeste de PR	170	4
10. Región Al Sur de PR	412	2
11. Región Al Oeste de PR	200	0
12. Región Al Norte de PR	246	2
13. Región Al Este de PR	29	0
14. Trinchera de PR	211	2
15. Trinchera de Muertos	40	0
16. Islas de Barlovento	10	1
17. Plataforma de Santa Cruz	5	0
18. Dorsal de Santa Cruz	1	0
19. Región Oriental de la RD	229	1
20. Zona de la Falla Septentrional	220	1
21. Pasaje de la Mona	249	0
22. Cañón de la Mona	264	0
23. Zona de la Falla de los 19° N	349	0
24. Zona Sísmica del Sombrero	346	3
25. Plataforma de Islas Vírgenes	148	5
26. Santa Cruz	1	0
27. Depresión de las Islas Vírgenes	25	1
28. Pasaje de Anegada	15	1
Fuera de la Región de Puerto Rico	0	4
Total	3974	29

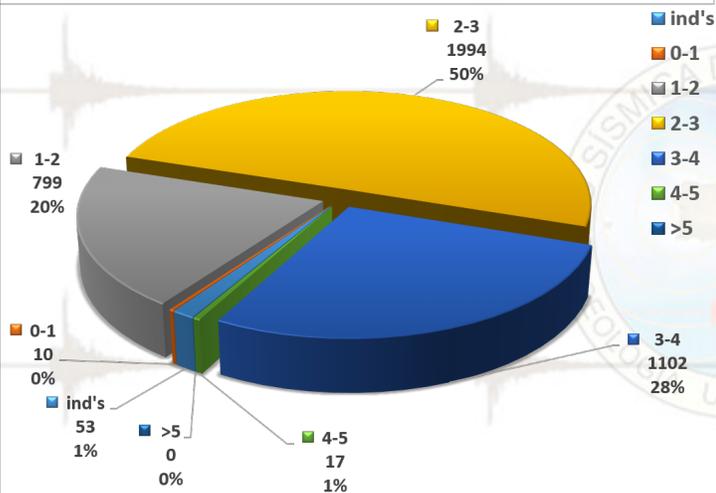


Figura 6. Distribución de magnitudes de los sismos localizados durante el 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

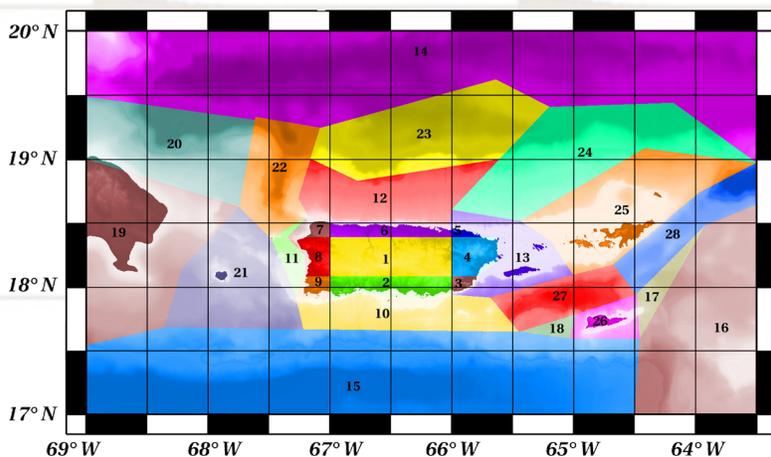


Figura 7. Mapa de las zonas sísmicas de la región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Cada una corresponde al número en la región sísmica de la tabla 1 (RSPR-UPRM).

SISMOS SENTIDOS

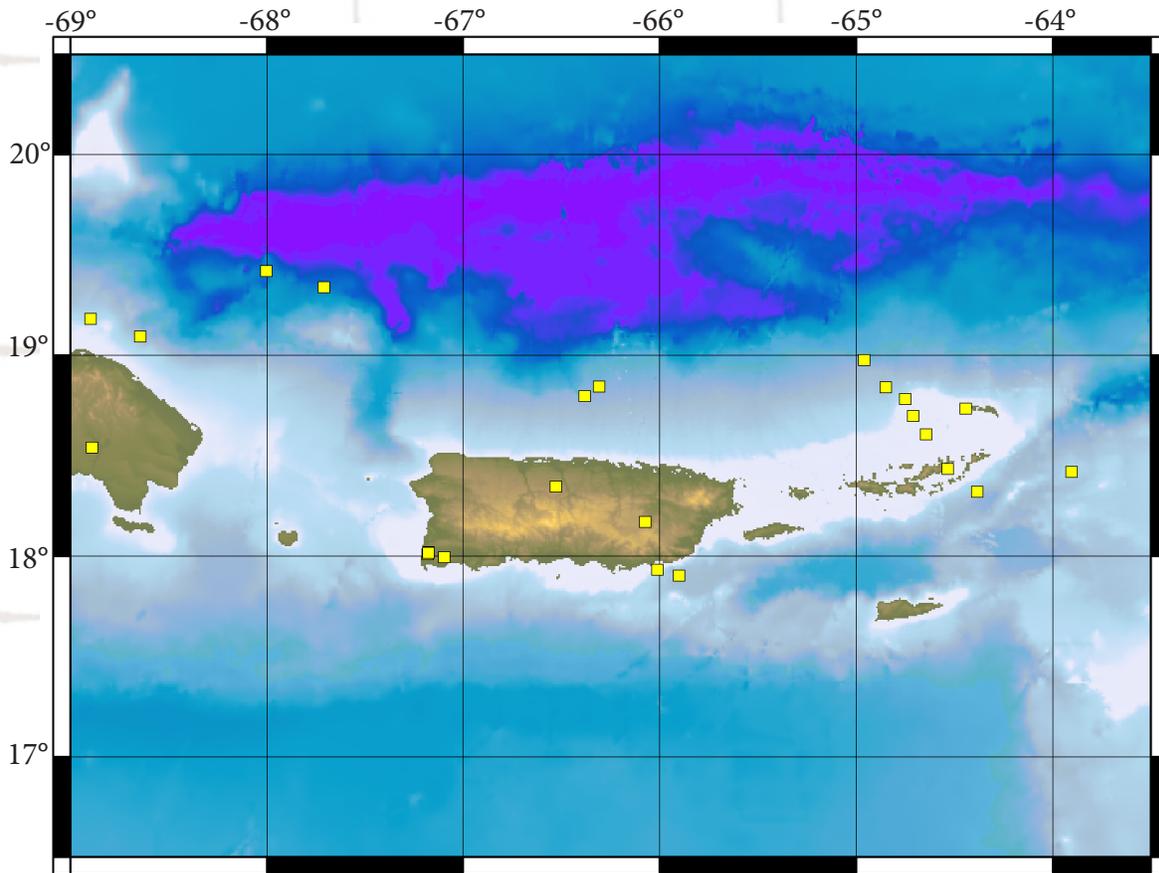


Figura 8. Mapa epicentral de los sismos sentidos en Puerto Rico y las Islas Vírgenes durante el año 2018 (ADR: latitud 17.0° N a 20.0° N y longitud 63.5° O a 69.0° O) (RSPR-UPRM).

Durante el año 2018, **29** temblores fueron reportados como sentidos a la RSPR (Figura 8). El **sismo sentido de mayor magnitud** para este año, fue localizado fuera de nuestra ADR y ocurrió el **7 de octubre de 2018 a las 05:13:20** (hora local de Puerto Rico y las Islas Vírgenes). Este sismo regional de magnitud **5.9 Mw** ocurrió en Haití, con epicentro a 679 km al Oeste-Noroeste de Mayagüez, Puerto Rico (en la latitud 20.013° N y la longitud 73.006° O), a una profundidad de 15.3 km. Este **sismo moderado** fue sentido, según los reportes, con una intensidad máxima de II (Escala Mercalli Modificada) en Mayagüez, Puerto Rico (Figura 9).

Por otro lado, el **sismo sentido de mayor intensidad del año 2018** se localizó en la **Zona al Sur de Puerto Rico**, dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (ADR). Este sismo ocurrió el **10 de mayo de 2018 a las 15:48:36** (hora local de Puerto Rico y las Islas Vírgenes) y fue localizado a 9.61 km al Sur-Sureste de Arroyo, Puerto Rico (en la latitud 17.9283° N y la longitud 66.0126° O), a una profundidad de 13 km, con una magnitud de **3.90 Md**. Este **microsismo** fue sentido ampliamente en todo Puerto Rico, con intensidades que variaron de II a IV en la Isla Grande (según los reportes recibidos en la RSPR). La intensidad máxima fue de IV (en la Escala Mercalli Modificada) y se reportó en el pueblo de Gurabo, Puerto Rico (Figura 10).

Para más información sobre sismos sentidos en nuestra Área de Responsabilidad (ADR), Favor de referirse al catálogo de Sismos Sentidos en nuestra página de internet: <http://redsismica.uprm.edu/Spanish/php/CatalogS/Felts.php>

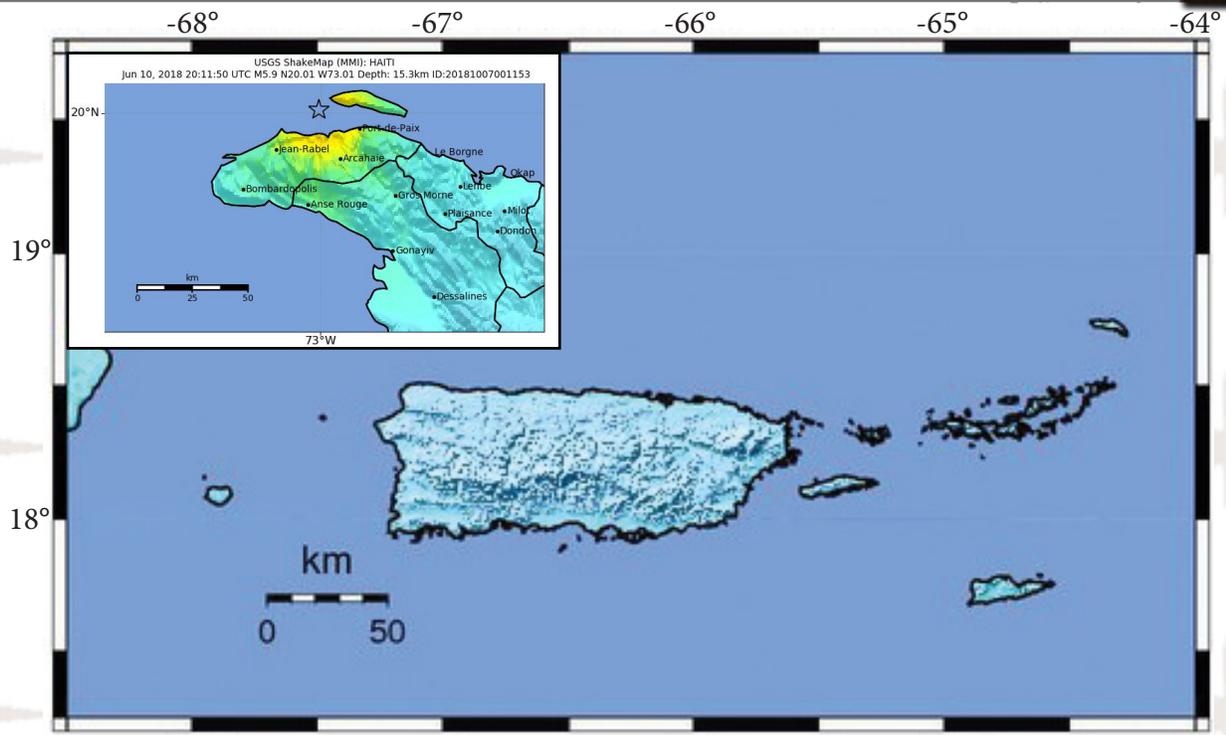
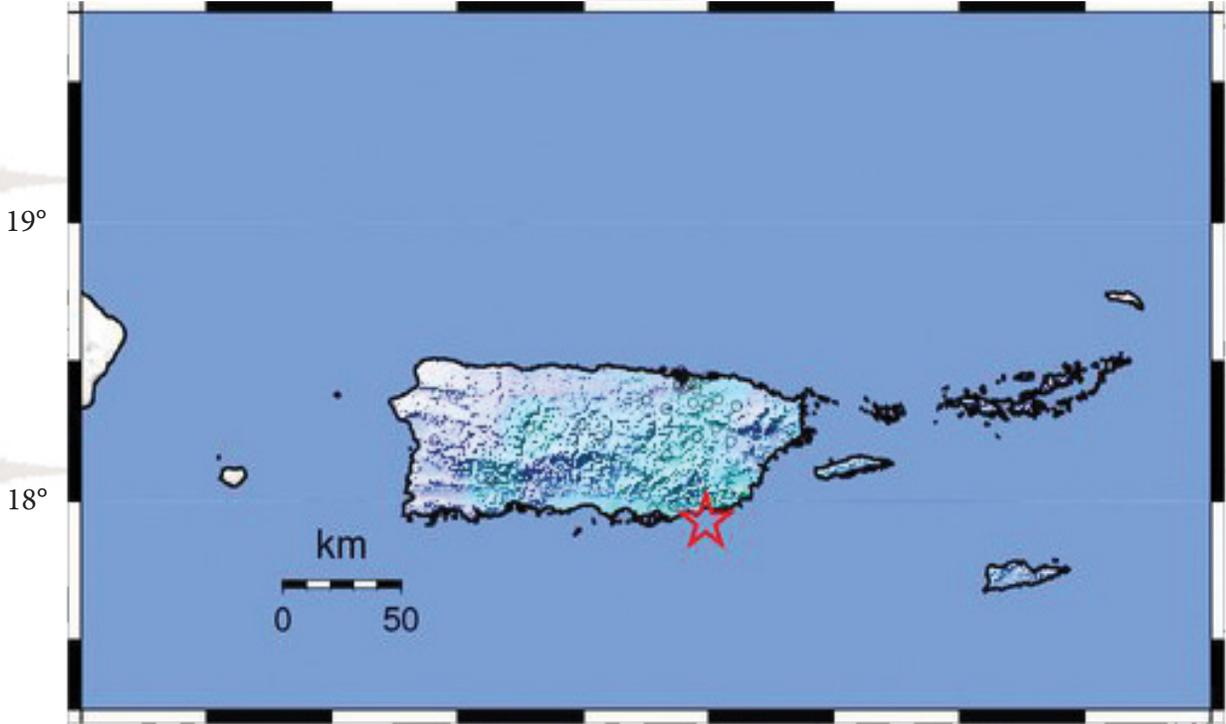


Figura 9. *Shakemap* para el sismo sentido en Puerto Rico el 6 de octubre de 2018. Este evento tuvo epicentro en Haití (recuadro superior izquierdo; RSPR-UPRM).



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.(%g)	<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. *Shakemap* para el sismo sentido del 10 de mayo de 2018 (RSPR-UPRM).

Tabla 2. Descripción de los enjambre sísmicos ocurridos durante el 2018 en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (RSPR-UPRM).

Periodo (Fecha)	Región del Enjambre	Eventos	Duración	Sentidos
25 al 26/enero	Región AL Sur de Puerto Rico (E)	24	27 hrs	0
8/febrero	Al Oeste de Puerto Rico (E)	3	1 hora	0
9/febrero	Zona Sísmica del Sombrero (E)	7	4 hrs	0
5 al 6/marzo	Zona Sísmica del Sombrero y Zona de la Falla de los 19°N(E)	9	22 hrs	0
11 al 12/marzo	Zona Sísmica del Sombrero, Zona de la Falla de los 19°N y Trinchera de Puerto Rico (E)	5	5 hrs	0
29 al 30/marzo	Pasaje de la Mona (SS)	4	17 hrs	0
4/abril	Central de Puerto Rico (E)	20	16 hrs	0
10 al 11/abril	Zona Sísmica del Sombrero, al Norte de Puerto Rico y Trinchera de Puerto Rico (E)	21	48 hrs	0
23 al 24/abril	Sur de Puerto Rico (E)	13	26 hrs	0
10 al 11/mayo	Sur y Al Sur de Puerto Rico (E)	9	13 hrs	1
12 al 13/mayo	Sur y Al Sur de Puerto Rico (E)	13	23 hrs	0
13/mayo	Sur y Al Sur de Puerto Rico (E)	4	3 hrs	0
13/junio	Central de Puerto Rico (E)	8	6 hrs	0
17 al 18/junio	Al Sur de Puerto Rico (E)	9	7 hrs	0
30/junio	Zona Sísmica de Sombrero y Plataforma de Islas Vírgenes (E)	9	4 hrs	0
1/julio	Zona de la Falla de los 19°N (E)	5	4.5 hrs	0
1/julio	Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de las Islas Vírgenes (E)	12	13 hrs	0
30 al 31/julio	Zona Sísmica del Sombrero y Plataforma de las Islas Vírgenes (E)	41	17 hrs	0
3/agosto	Región Suroeste de Puerto Rico (E)	6	4.5 hrs	0
13/septiembre	Sur de Puerto Rico (E)	4	2.5 hrs.	0
18/septiembre	Zona de Falla de los 19°N (E)	7	2 hrs.	0
23/septiembre	Plataforma de Islas Vírgenes (E)	3	1 hr.	0
25 al 27/septiembre	Zona de la Falla Septentrional (E)	4	3 hrs.	0
27/septiembre	Trinchera de Puerto Rico (E)	7	5 hrs.	0
30/septiembre	Zona Sísmica del Sombrero (E)	23	9 hrs.	0
2/octubre	Sombra Sísmica del Sombrero (E)	3	14 min	0
5/octubre	Zona de Falla de los 19°N (E)	3	10 min	0
13 al 14/octubre	Pasaje de Mona (E)	3	1 hr. 26 min	0
17 al 19/octubre	Regiones Al Oeste y Oeste de Puerto Rico(E)	73	48 hrs	0
28/octubre	Oeste de Puerto Rico (E)	4	3 hrs.	0
14/noviembre	Sur de Puerto Rico (E)	4	4 hrs	0
19/noviembre	Plataforma de Islas Vírgenes (E)	7	1 hora	0
28/noviembre	Zona de Falla de los 19° N (E)	11	5.5 hrs	0
17 al 19/noviembre	Regiones Al Oeste y Oeste de Puerto Rico(E)	73	48 hrs	0
28/noviembre	Oeste de Puerto Rico (E)	4	3 hrs.	0
10/diciembre	Zona de Falla de los 19° N (E)	9	3 hrs	0
15 al 20/diciembre	Al Sur, Sur y Suroeste de Puerto Rico (E)	144	5 días y 16 hrs	0
28/diciembre	Cañón de Mona (E)	5	3 hrs	0
30 al 31/diciembre	Central de Puerto Rico (E)	4	5hrs.	0

ENERGÍA LIBERADA

Durante el 2018 la mayor liberación de energía ocurrió en el mes de **diciembre** con un equivalente a **0.57** kilotones (Figura 13). En el mismo, la liberación de energía estuvo dominada por catorce (14) eventos con magnitudes mayores o igual a 3.5, tres (3) de estos con magnitudes de 4.4 Md, 4.6 Mb y 4.67 Mb y cuatro (4) enjambres sísmicos con una suma total de 549. Por otro lado, el mes de **abril** fue el segundo con mayor energía liberada con **0.413** kilotones, en este mes ocurrieron 13 eventos de magnitudes 3.5 o mayor, incluyendo un evento sentido de 3.52 Md. En el año 2018, con 3.08 kilotones, hubo un aumento de 0.18 kilotones de energía liberada en comparación con el año anterior (2017, 2.9 kilotones). La distribución de la energía liberada durante los pasados 10 años muestra que el año con mayor liberación de energía fue el 2014 con 77.3 kilotones (Figura 14). Esto se debe a la generación del sismo de magnitud 6.4 Mwp del mes de enero de ese mismo año, (el sismo de mayor magnitud en los últimos seis años) y el sismo de 5.4 Ml del mes de mayo. El total de la energía liberada durante el 2018 es aproximadamente una sexta parte de la energía liberada por la bomba de Hiroshima. Esto sería equivalente al total de la energía liberada por un terremoto de magnitud 5.5; como por ejemplo los terremotos de: a- Moca (16 de mayo de 2010), b- Aguas Buenas (24 de diciembre de 2010), c- *Little Skull Mountain* (Nevada, USA) de 1992 y d- *Chino Hills* (Sur de California, USA) del 2008. Para el terremoto 7.1 ocurrido en el Cañón de la Mona, el 11 de octubre de 1918, se liberaron alrededor de 680 kilotones (680,000 megagramos de explosivos) de energía (Figura 15).

Durante el 2018, DICIEMBRE fue el mes de mayor energía liberada con un total de 0.567 kilotones de energía liberada.

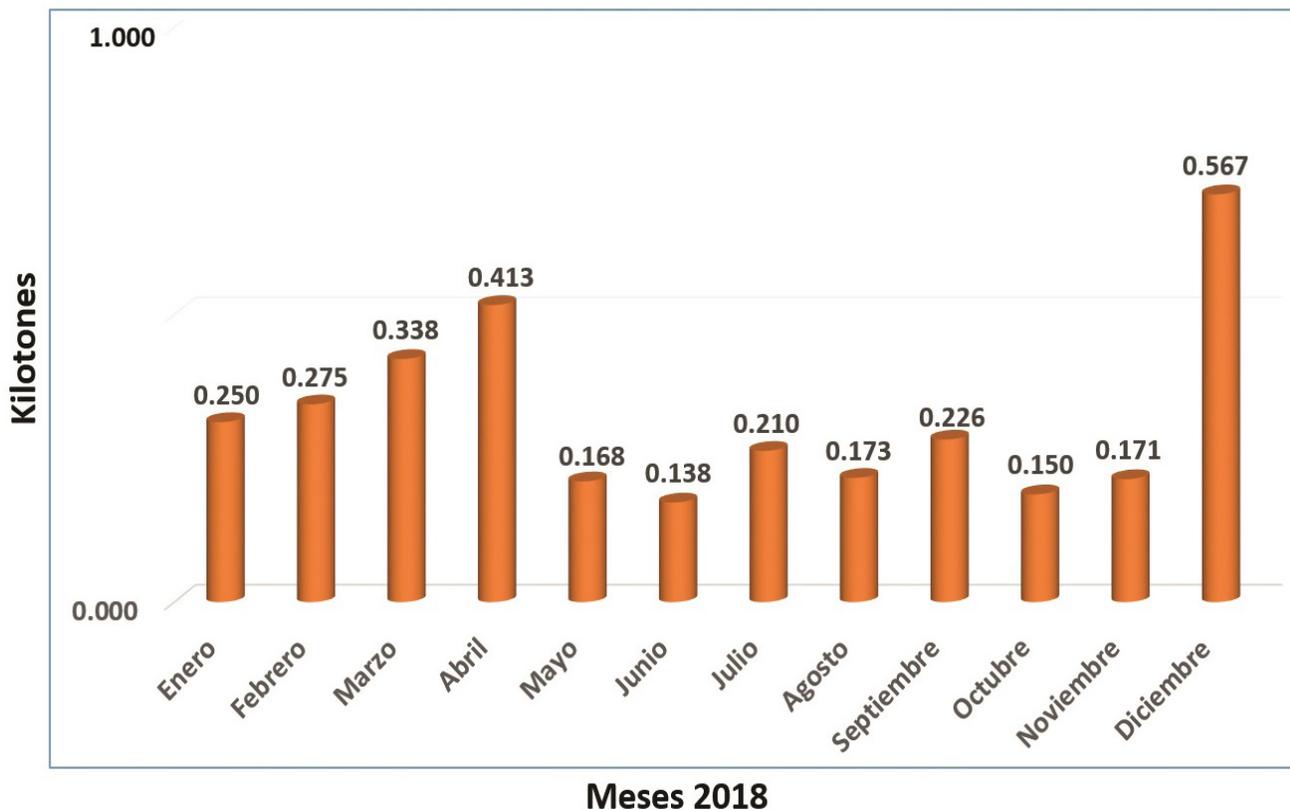


Figura 13. Energía sísmica liberada en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes durante el 2018 (RSPR-UPRM).

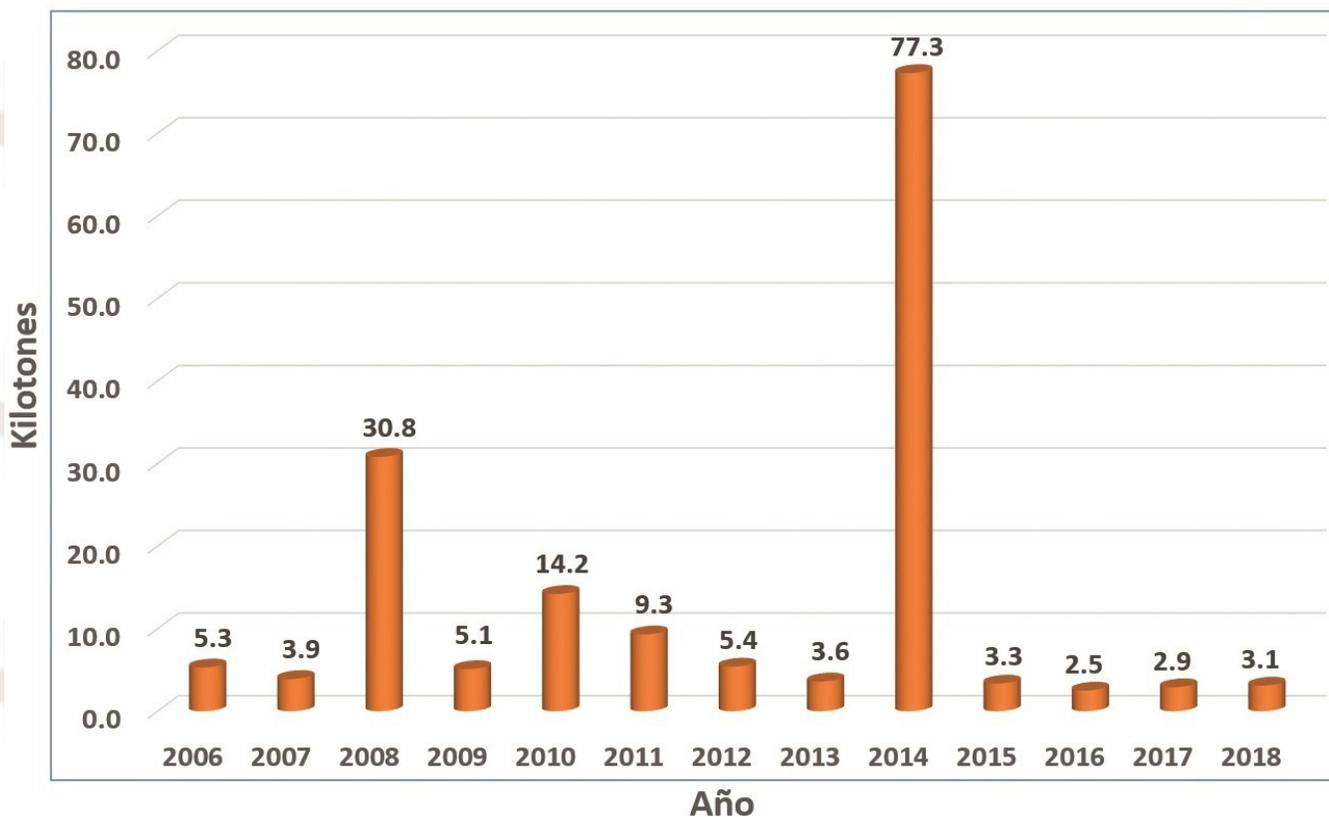


Figura 14. Energía sísmica liberada en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes desde el 2009 hasta el 2018 (RSPR-UPRM).

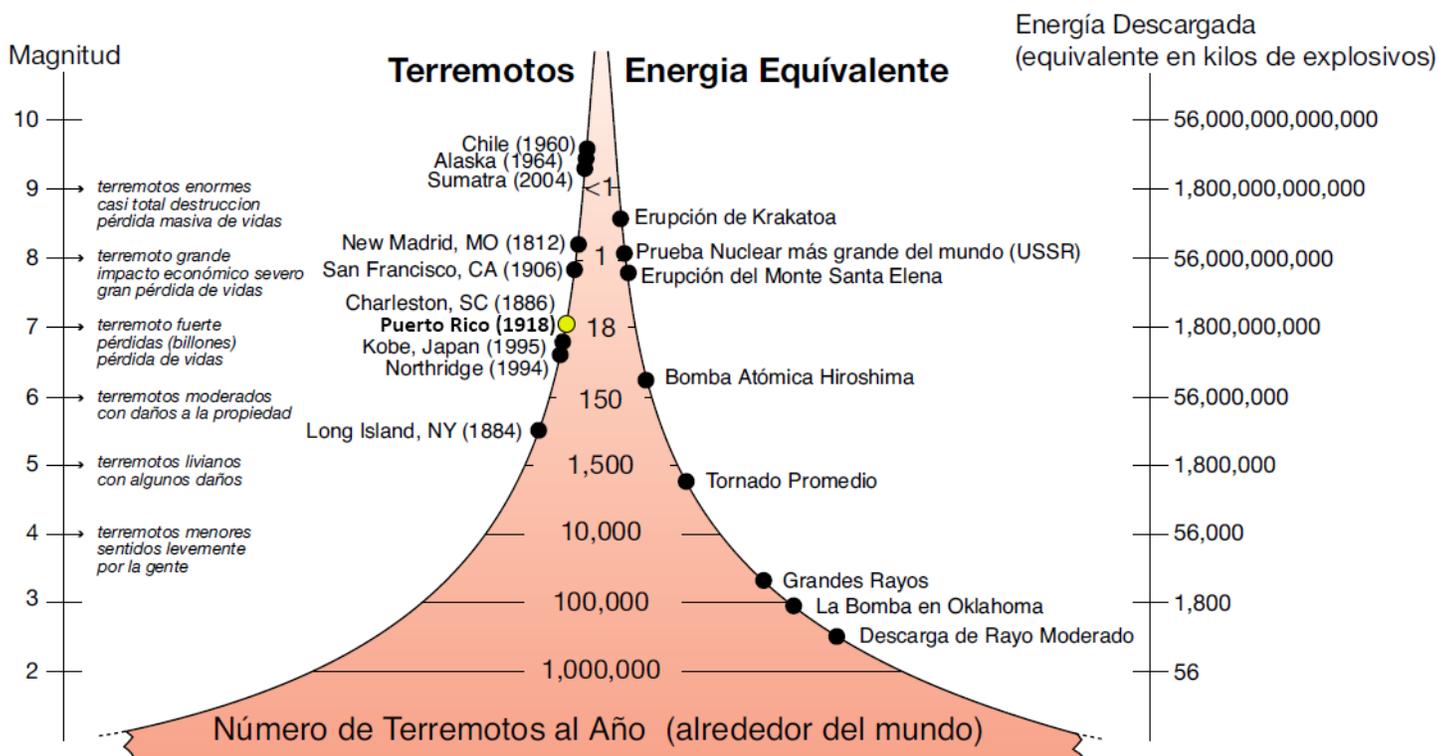


Figura 15. Comparación de magnitudes de terremotos y energía liberada, con eventos naturales vs. actividad humana (modificado y adaptado de Gavin Hayes-USGS).

SISTEMA DE MONITOREO SÍSMICO Y MAREOGRÁFICO

JUAN LUGO TORO

En el 2018, la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) operó **32 estaciones sísmicas** de las cuales 28 son sensores de banda ancha y 3 de periodo corto (Figura 16). De estas, 30 están localizadas en nuestra área de responsabilidad (ADR), 2 en la República Dominicana (Samaná y Punta Cana) y 1 en la Isla de Aruba. Este año, se continuó con la instalación de estaciones nuevas y se brindó mantenimiento de rutina a las estaciones sísmicas existentes dentro y fuera de Puerto Rico. También se dio mantenimiento a la red de mareógrafos, que tiene la capacidad de detectar tsunamis (*TsunamiReady Tide Gauges*). La red de mareógrafos en nuestra ADR, actualmente cuenta con 16 estaciones. Diez de estas estaciones son operadas por la *National Ocean Service (NOS)* del *National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)* y seis (6) por la RSPR. En adición, la RSPR opera 2 estaciones mareográficas fuera de Puerto Rico localizadas en la República Dominicana. Estas estaciones fueron financiadas por *FEMA* y son operadas con fondos de *NOAA* y locales. Cada una de estas estaciones mareográficas consta de dos sensores de nivel de agua y equipo meteorológico. Los datos de estas estaciones están incorporados a los procesos rutinarios de la RSPR.

Como consecuencia del paso de los huracanes Irma y María por el Caribe, nuestra red de estaciones de monitoreo sísmico, mareográfico y geodésico sufrió daños; algunos irreparables. Durante el transcurso de este año, se logró coordinar un proyecto con el *USGS* para reemplazar y reforzar la mayoría de las estaciones sísmicas en y fuera de Puerto Rico. Hasta el momento, logramos restablecer el sistema de comunicaciones entre las estaciones y la RSPR (15 estaciones sísmicas, 10 unidades de GPS y 3 mareógrafos).



GEOL. BENJAMÍN COLÓN RODRÍGUEZ

El sistema de monitoreo de nivel del mar (para tsunamis) de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) consiste básicamente en una recopilación de datos de estaciones de mareógrafos y boyas DART (*Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*). Estos datos son transmitidos en diferentes métodos y formatos. Los métodos de transmisión de datos más utilizados son: internet y satélite. Los mareógrafos de Puerto Rico forman parte de las estaciones que son transmitidas en ambos métodos. La redundancia, de recibir los datos en ambos métodos, es con el fin de recibir los datos en caso de que un método falle durante un evento. Las estaciones mareográficas locales están instaladas a lo largo de las costas de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (Figura 16), las regionales en las costas del Caribe (Figura 17) y las internacionales en las costas del Atlántico. Para cada estación nueva es necesario realizar unas actualizaciones al sistema, que nos permiten los siguientes procesos: adquisición de los datos, procesamiento y decodificación de datos y graficar o desplegar los datos para el monitoreo. Para el año 2018, se instalaron aproximadamente 4 estaciones nuevas en el área del Caribe. Estas estaciones fueron añadidas con el fin de fortalecer más nuestro sistema.

Por otra parte, muchas de nuestras estaciones se vieron afectadas tras el paso del Huracán María por Puerto Rico. Actualmente, se trabaja con las estaciones afectadas por el paso del huracán. Se continúa trabajando y actualizando el enlace web, en donde estarán disponibles los datos de la mayoría de estas estaciones. Los datos adquiridos de las estaciones mareográficas son utilizados con diferentes fines. En la RSPR la data es utilizada principalmente para el monitoreo de tsunamis y generación de tiempos estimados de arribo de tsunamis (o Tsunami ETAs, por sus siglas en inglés). Además, la data es utilizada por: autoridad de puertos o muelles, agencias de embarcaciones comerciales, en investigaciones científicas, pescadores, agencias de meteorología, etc. Finalmente, trabajamos las actualizaciones y mantenimiento a bases de datos de nuestros sistemas.

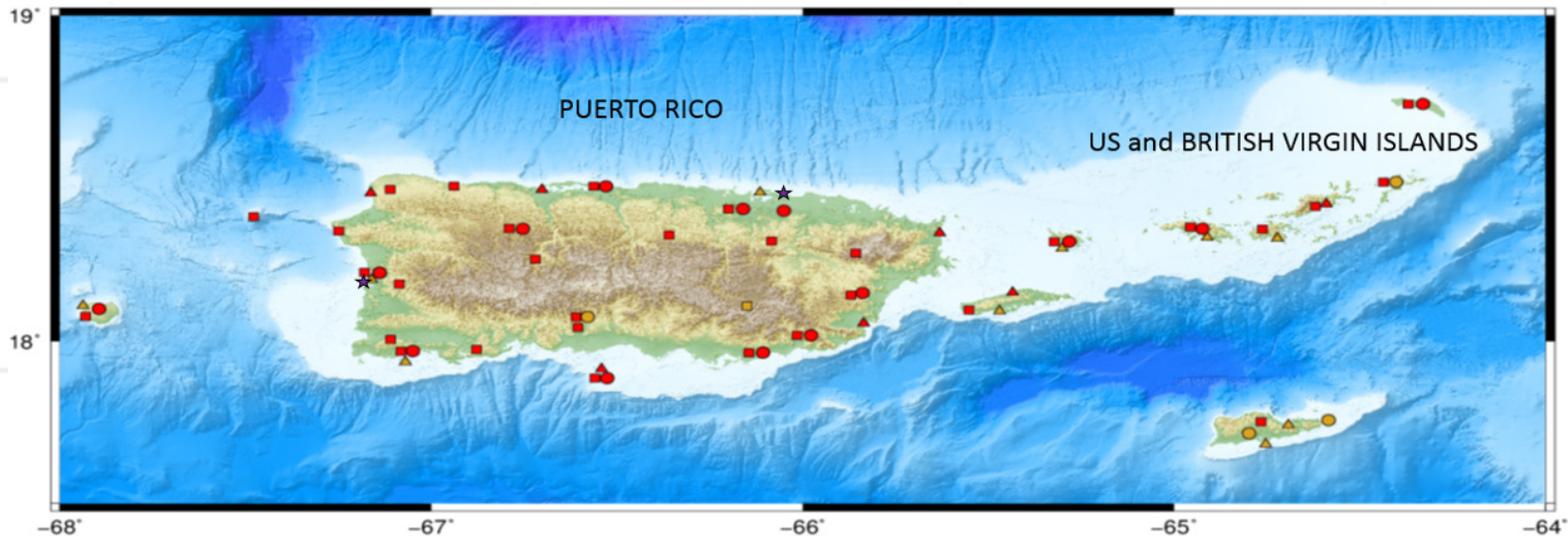


Figura 16. Mapa de Puerto Rico y las Islas Vírgenes con estaciones sísmicas y acelerómetros (cuadrados), mareógrafos (triángulos), estaciones geodésicas (círculos) y cámaras de monitoreo de tsunamis (estrellas). Estaciones de la RSPR en color rojo y estaciones de otras agencias en anaranjado (V. Huérfano, RSPR-UPRM).

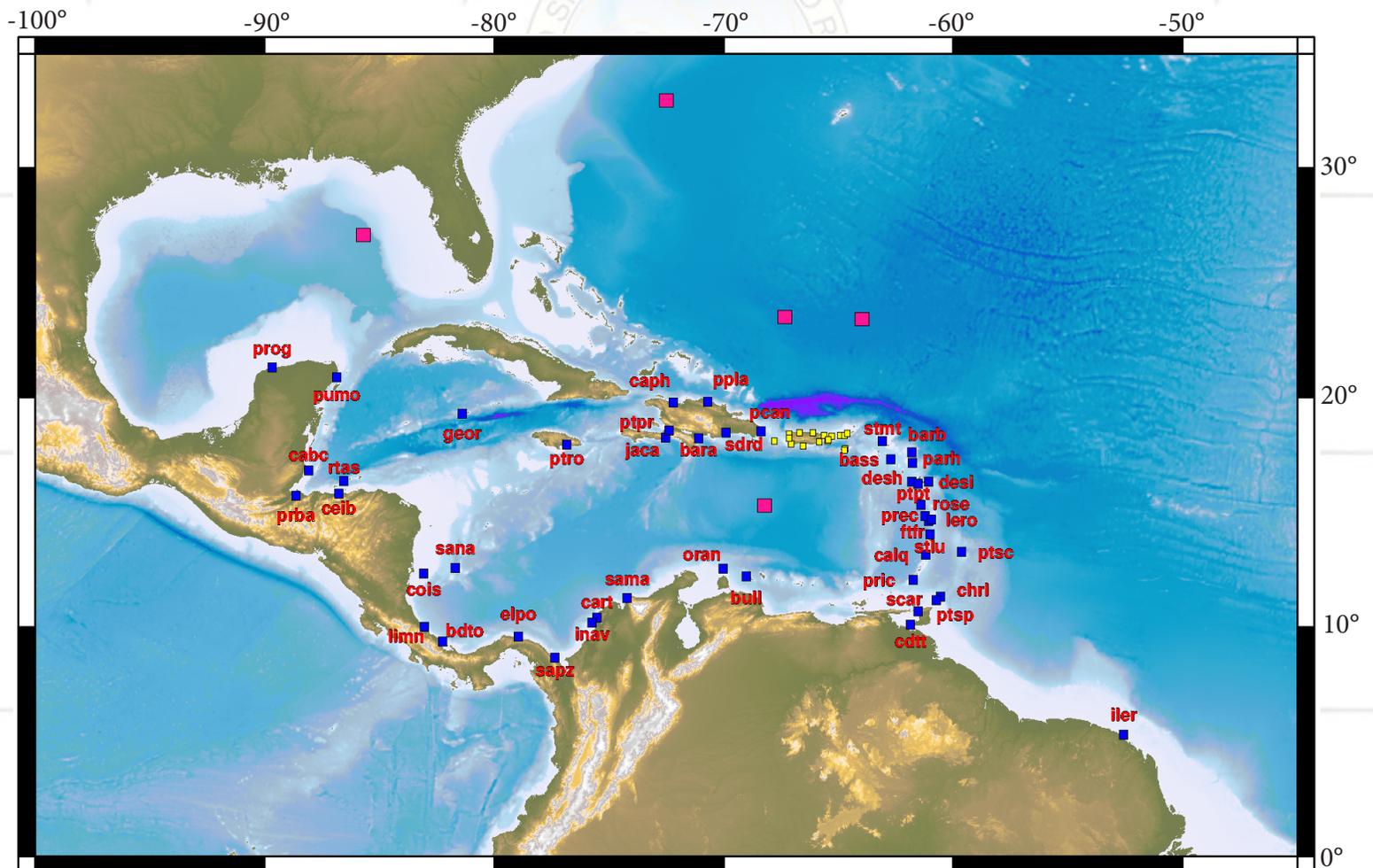


Figura 17. Mapa de mareógrafos utilizados por la RSPR para el monitoreo regional de tsunamis (B. Colón, RSPR-UPRM).

SISTEMA DE MONITOREO GEODÉSICO

DR. ALBERTO M. LÓPEZ VENEGAS

La RSPR cuenta con 15 estaciones de GPS (Figura 16) transmitiendo datos en tiempo real. Durante el año 2018 se trabajó mayormente en el desarrollo del módulo del sistema de acopio de datos de GPS que permite visualizar cualquier desplazamiento instantáneo en las fallas. Por otro lado, se logró actualizar el servidor que recibe, procesa y archiva los datos de todas nuestras estaciones de GPS. En el ámbito de las estaciones en el campo se realizaron refuerzos a los paneles solares para asegurar un funcionamiento ininterrumpido en caso de un evento catastrófico futuro. Además, la RSPR sigue trabajando para actualizar y crear un portal cibernético más completo e informativo para el público en general. Estos avances y otros más forman parte de las actividades relacionadas a la red de posicionamiento global de la RSPR.

Portal cibernético, Red Geodésica RSPR

Está en desarrollo el portal cibernético de la Red Geodésica, operada y mantenida por la RSPR. Este nuevo diseño ofrecerá mayor información a los usuarios, visitantes o investigadores que quieren aprender más de nuestra instrumentación y estaciones. Varios estudiantes de la División de Cómputos de la RSPR, fueron parte de la iniciativa, en donde desarrollaron: páginas dinámicas, rutinas para desplegar mapas interactivos usando bases de datos, información y acceso a los datos, e información de la instrumentación vigente. La página ahora cuenta con información útil para aquellos interesados en recibir los datos de posicionamiento en tiempo real, tales como agrimensores y usuarios de datos de navegación y posición. Durante el año entrante se realizarán actualizaciones que muestren las investigaciones pasadas y actuales realizadas con los diversos tipos de datos que se generan en la RSPR.

Desarrollo de sistema *gps2ew*

Siguiendo el desarrollo preliminar del año pasado, la RSPR contrató a la compañía *Boritech Solutions* para desarrollar el módulo que facilita el transporte de los datos de posicionamiento en tiempo real a 1Hz al sistema de monitoreo sísmico y de acopio de datos *EarthWorm*. Este trabajo busca cumplir con el propósito de sacar provecho al sistema de posicionamiento en tiempo real provisto por la compañía *Trimble*, llamado RTX e integrarlo con el sistema actual que nuestros analistas monitorean a diario. Los datos de posicionamiento de punto preciso (PPP), a diferencia de los sísmicos, proveen la posición de la estación como función de tiempo. Lo que, a su vez, nos ayuda a determinar algún desplazamiento. Es decir, si un terremoto fuerte mueve la estación, entonces, podremos determinar ese desplazamiento instantáneo a los pocos segundos de que suceda el terremoto y así poder determinar su magnitud. En esta primera fase de desarrollo se instaló el sistema y se validó mediante experimentos de desplazamiento de la antena que simularán un desplazamiento real. De esta forma observar si lo que se visualiza en el centro de análisis concuerda con lo realizado en el campo. La validación tuvo lugar en los predios de la RSPR y consistió en dos experimentos realizados a través del año (Figuras 18A y 18B). Los resultados de ambos experimentos fueron presentados en los congresos anuales de la Sociedad Sismológica de América (SSA) en mayo de 2018 y la Unión Geofísica Americana (AGU) en diciembre de 2018. La segunda fase del desarrollo conlleva utilizar los datos para cuantificar mediante rutinas computacionales los parámetros que caracterizan el proceso de ruptura de los terremotos, tales como la magnitud, largo y ancho de la falla, la profundidad de ruptura y su desplazamiento (buzamiento). Poder determinar estos parámetros en el menor tiempo posible es fundamental para alertar a la ciudadanía si un evento sísmico ha hecho ruptura en el lecho marino y se ha generado un tsunami. El poder determinar con el menor tiempo posible una alarma fidedigna y confiable es de gran importancia para salvaguardar vidas.

Actualización en el servidor de GPS

Para lograr el acopio, procesamiento y almacenaje datos en tiempo real, se requieren de servidores con alta capacidad y que puedan funcionar continuamente. El servidor de GPS existente, aunque con un funcionamiento aceptable, no cumplía con la capacidad que requieren sistemas que van creciendo con el tiempo. Durante el último trimestre del 2018 se logró instalar y configurar el nuevo servidor para el sistema de GPS de la RSPR. El servidor cuenta con un amplio espacio de almacenaje con redundancia, mayor poder computacional y memoria para soportar la carga de transferencia de datos a tiempo real, su procesamiento y almacenaje y la demanda de la utilización de datos. De igual forma, la versión del programa de acopio de datos NTRIP se actualizó, lo que permite estar al día con las nuevas características y correcciones para un mejor funcionamiento.

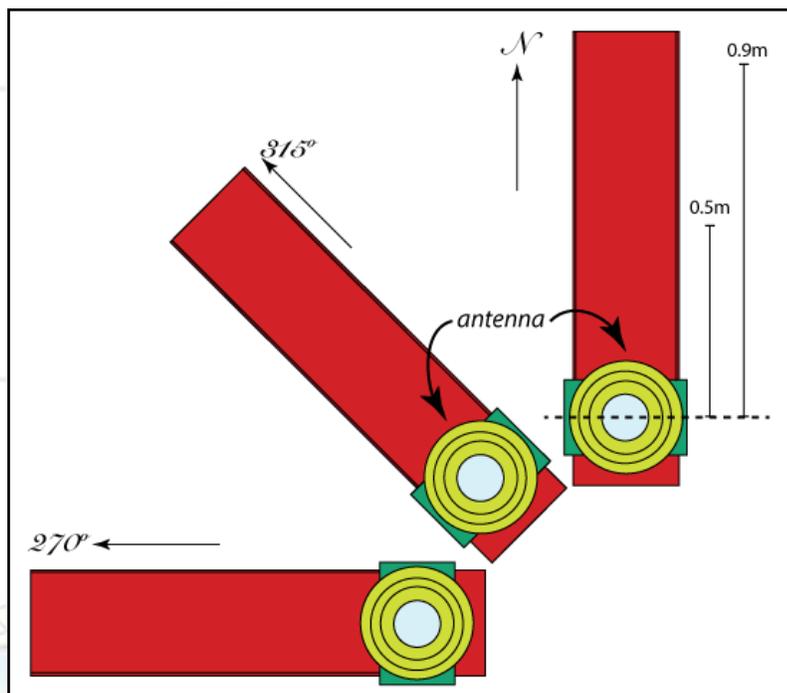


Figura 18A. Diagrama esquemático mostrando la configuración del experimento con GPS y como se realizaron los desplazamientos con la antena (RSPR-UPRM).



Fortalecimiento de la infraestructura

Durante este año, con la ayuda de la División Técnica de la RSPR, se mejoró la infraestructura de alimentación eléctrica (se pudo identificar diseños de soportes a los paneles solares) de las estaciones, esto debido a los daños causados por los fuertes vientos del Huracán María. Con esta forma de fortalecer la instalación de los paneles solares se busca maximizar el tiempo de operación de la estación luego de un evento atmosférico con potencial catastrófico. No se ha culminado aún el trabajo de reforzar las diversas estaciones. Se espera que para el año entrante todas las estaciones dispongan de un mejor estado para recibir cualquier evento, incluyendo un terremoto.

Figura 18B. Experimento con GPS y como se realizaron los desplazamientos con la antena (RSPR-UPRM).

DRA. ELIZABETH VANACORE Y DR. ALBERTO M. LÓPEZ VENEGAS

Sismología

Greater Antilles Seismic Program

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

Enjambres de Terremotos

Esta investigación es parte del proyecto del estudiante graduado, Francisco Hernández del Departamento de Geología (UPRM), supervisado por el Dr. Alberto López. En este proyecto se han utilizado datos de la RSPR para el periodo del 2004 al 2016. Se busca identificar el comportamiento de los enjambres sísmicos asociados a nuestra región con el objetivo de determinar dependencias espaciales y temporales que nos ayuden a entender el régimen tectónico del Caribe Nororiental (donde la placa de América del Norte subduce bajo la del Caribe). Durante el 2018, Hernández completó su maestría y presentó su trabajo investigativo en el congreso internacional de la Sociedad Americana de Sismología (SSA, por sus siglas en inglés).

Tensores de Momento

Los tsunamis en el Caribe han afectado a varios países, incluyendo América Central y el norte de Suramérica. Por ejemplo, en el pasado dos grandes terremotos produjeron tsunamis que causaron muertes y cuantiosas pérdidas económicas en Puerto Rico (1918) y las Islas Vírgenes Estadounidenses (1867). Para reducir o evitar las víctimas en caso de terremotos tsunamigénicos es importante mejorar los sistemas de alerta de tsunamis. Para lograrlo es fundamental caracterizar de manera rápida y precisa el terremoto. Es decir, determinar parámetros como la localización, la magnitud y el mecanismo focal. Dos estudiantes de maestría del Departamento de Geología (UPRM) laboran en proyectos asociados a la determinación de los parámetros de ruptura de terremotos en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. El estudiante Fernando Martínez, supervisado por el Dr. Alberto López, ha culminado su trabajo de investigación utilizando el programa **Time-Domain Moment Tensor (TDMT)**. Mientras que el estudiante Iván Casallas, bajo la supervisión del Dr. Víctor Huérfano, utilizó la **Fase W** del tren de ondas en un sismograma (una fase de periodo largo que llega entre la Onda P y la Onda S) para caracterizar rápidamente y de forma fiable terremotos moderados y grandes. Una buena caracterización del evento sísmico se puede obtener utilizando la inversión de la Fase W, en un período de tiempo oportuno dependiendo de la escala de implementación (regional o global). Este proyecto busca aplicar esta inversión 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. Basados en estos resultados explorar la posibilidad de una eventual implementación en la operación rutinaria de la Red Sísmica de Puerto Rico. Los primeros resultados después de haber aplicado la inversión de Fase W a 40 terremotos, demuestran que es el método apropiado para calcular la magnitud y mecanismo focal, inclusive para eventos con $M_w \geq 5.8$.

Global Earthquake Model

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

Geodesia

Deformación de la corteza

La estudiante graduada Margarita Solares, del Departamento de Geología (UPRM), bajo la asesoría del Dr. Alberto López, está por culminar su proyecto de investigación referente a la estimación de la deformación de la corteza terrestre de la microplaca de Puerto Rico y las Islas Vírgenes utilizando datos continuos y de campaña de estaciones del sistema de posicionamiento global (*GPS*, por sus siglas en inglés). Un total de 15 estaciones (que recopilan datos continuos) son utilizadas para determinar los cambios en posición a través del tiempo y poder cuantificar la deformación de Puerto Rico. Esta deformación ocurre a lo largo de fallas dentro de Puerto Rico, y se cuantifica mediante estaciones permanentes que suman cinco años, mientras que las estaciones de campaña tienen un periodo de observación que suma dos décadas. El estudio concluye varios puntos importantes, entre ellos: la porción suroeste de Puerto Rico posee un movimiento diferencial con el resto de la isla. Esto postula interesantes conclusiones sobre las fallas en el sur oeste de Puerto Rico.

Tsunamis

Puerto Rico National Tsunami Hazard and Mitigation Program (NTHMP)

Por los pasados 10 años, el Programa de Tsunamis de Puerto Rico ha sido administrado por la RSPR, con la subvención de NOAA y del Programa Nacional de Mitigación de Tsunamis de los Estados Unidos (*NTHMP*, por las siglas en inglés). Este programa incluye varios componentes tales como: modelaje numérico, *TsunamiReady*, educación y disseminación. En Puerto Rico el Servicio Nacional de Meteorología (*NWS*, por las siglas en inglés) ha reconocido como *TsunamiReady* a 46 municipios (44 costeros y 2 no costeros, pero que pueden ser impactados por tsunami según los modelos). Además, 6 entidades han sido reconocidas como *TsunamiReady Supporters por el NWS*. El programa educativo de la RSPR ha logrado impactar de manera directa a miles de personas. La RSPR también coordina, a nivel local, los ejercicios de tsunamis (*CaribeWave*) y de terremoto (*ShakeOut*). Gracias a este programa, la isla cuenta con un Protocolo de Alerta de Tsunamis y se ha instalado la tecnología necesaria para mantener las capacidades de recepción y disseminación de las alertas. Este es un elemento vital para mantener las comunidades informadas en caso de cualquier emergencia por tsunami.

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

La UNESCO y su programa de tsunamis se dieron a la tarea de coordinar un grupo intergubernamental para el Caribe (*ICG*, por sus siglas en inglés) con el objetivo de minimizar la pérdida de vidas y propiedades durante tsunamis. Esta iniciativa surge luego de la desafortunada experiencia del tsunami de 2004 en el Océano Índico. El ICG CARIBE-EWS, es el programa de alerta ante tsunamis y otras amenazas costeras, en el cual participan sobre

48 estados miembros de la región. Este grupo intergubernamental está compuesto, a su vez, por cuatro grupos de trabajo: el primero es relacionado al monitoreo y sistemas de detección, el segundo se encarga del estudio de la amenaza, el tercero coordina los servicios de alerta que se ofrecen a la región, y el cuarto se encarga de ayudar en la preparación y la resiliencia de la región. Estos grupos de trabajo cuentan con la participación activa de expertos de la RSPR. La RSPR participa de manera directa en este esfuerzo como institución experta, proveyendo datos en tiempo real y la experiencia para ayudar con el sistema regional. Según los protocolos de la UNESCO, la RSPR es un punto focal alterno de información de tsunamis para Puerto Rico y las Islas Vírgenes.

Deslizamientos submarinos

Con el fin de revelar evidencia de deslizamientos submarinos, ocurridos en el pasado en el entorno de nuestra región, se realiza análisis de batimetría (o topografía del suelo marino de alta resolución) recopilada por diferentes expediciones. Si estos deslizamientos ocurrieron en el pasado de forma súbita, es de esperarse que hayan generado tsunamis que afectaron las costas de Puerto Rico. Alguno de estos casos de forma catastrófica. El Dr. Alberto López ha estado modelando deslizamientos submarinos de forma numérica en las mismas áreas, simulando tsunamis para cuantificar sus efectos y estimar posibles daños. Actualmente se han generado deslizamientos submarinos hipotéticos al norte de la costa de Puerto Rico para estimar las alturas de las olas de tsunami y la inundación de las zonas costeras. Los efectos estimados se cuantifican para luego incorporarlos en los mapas de inundación existentes.

Red de estaciones GPS - Visualización de datos a tiempo real

Las estaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), se han convertido en una herramienta indispensable para extraer información vital sobre el proceso de ruptura de un terremoto. Con el interés de poder visualizar los desplazamientos instantáneos de las estaciones de GPS en Puerto Rico, el grupo de desarrollo de la RSPR ha realizado pruebas (Figuras 18 y 19A) y ha estado trabajando para desplegar en las pantallas de monitoreo la posición de las estaciones en tiempo real (Figura 19B). Este proyecto utiliza los programas del BKG (Agencia Federal Alemana para la Cartografía y Geodesia) para recopilar y distribuir los datos de las estaciones en el campo (*NTRIP Server*) y para estimar el posicionamiento de punto preciso (PPP) de cada una de las estaciones. Cualquier desplazamiento observable en las estaciones puede ayudar a nuestros analistas a determinar a simple vista el lugar (según la estación) en donde mayor movimiento ha ocurrido. En una próxima fase de este proyecto, se busca utilizar los diagramas de desplazamiento para computar parámetros de falla de manera rápida y eficaz.

Archivo de datos y *Geodetic Seamless Archive Center*

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

Portales de Red GPS y Portal de Investigación de la RSPR

El portal cibernético de la red GPS se encuentra en desarrollo. Busca exponer y facilitar la información referente a los equipos de GPS de la RSPR. Se está habilitando con información actualizada de las estaciones, equipos, proyectos activos e inactivos (que hayan utilizado datos y acceso a los mismos por servicio NTRIP o

GSAC). Por otro lado, el portal de investigación (en desarrollo) pretende exponer los trabajos investigativos, proyectos, informes científicos, afiches (presentados en congresos nacionales e internacionales) y otros productos de la División de Investigación de la RSPR. Este portal se ha organizado por las secciones científicas en las que opera la RSPR: sismología, geodesia, tsunamis y mareógrafos. Con el objetivo de proveer, información de estas investigaciones a colegas científicos y al público en general.



Figura 19: A. Visualización en tiempo real de las estaciones de GPS durante las pruebas (RSPR-UPRM).

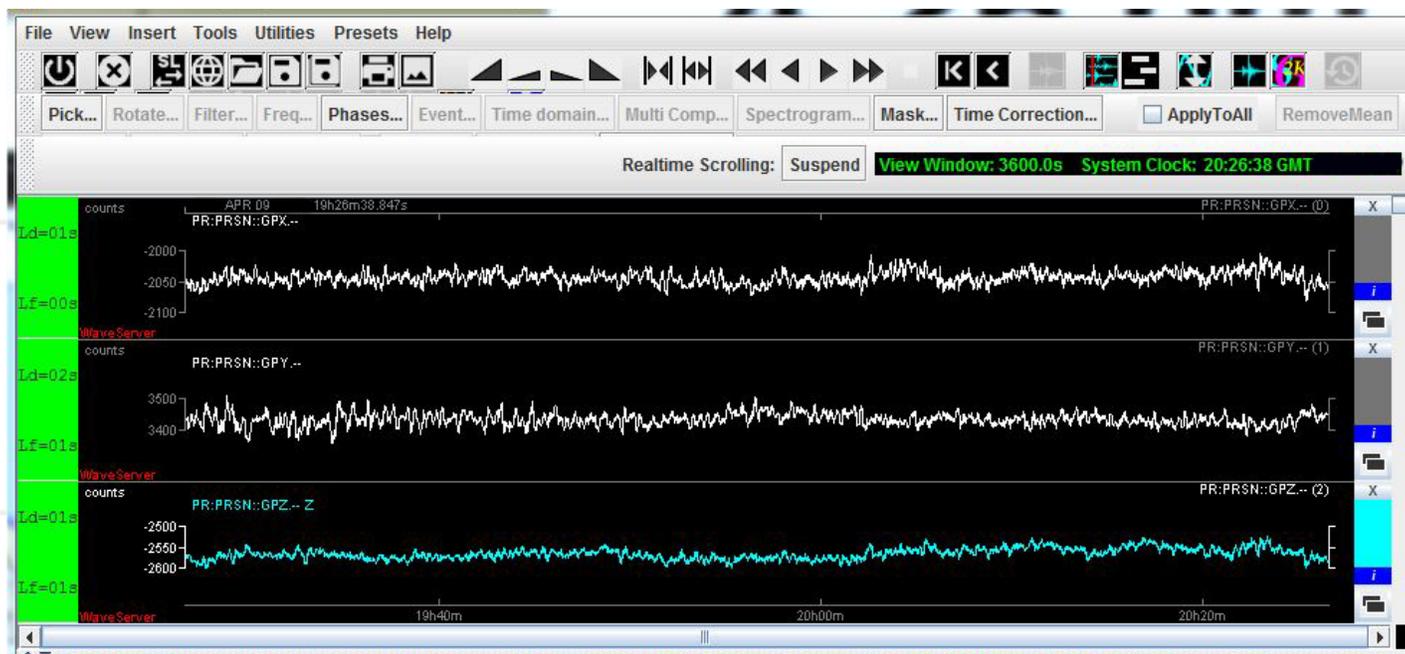
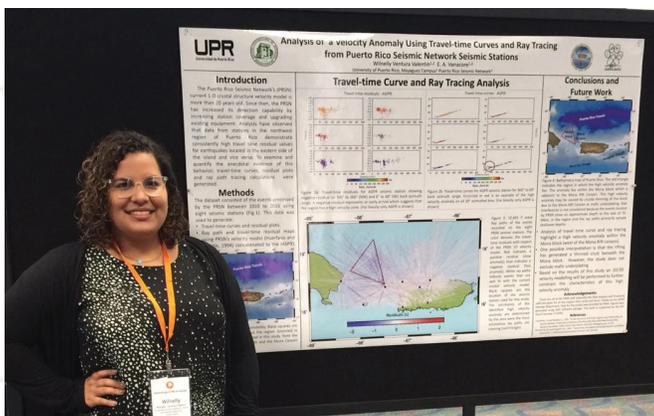


Figura 19: B. Visualización en tiempo real de las estaciones de GPS en el área de operaciones de la RSPR. Se pueden observar 3 componentes correspondientes a desplazamientos en longitud (GPX), latitud (GPY) y vertical (GPZ) (RSPR-UPRM).

DRA. ELIZABETH VANACORE

Three-Dimensional Seismic Velocity Structure of the Puerto Rico-Virgin Islands Microplate

En el 2018, continuamos trabajando en los modelos de velocidad sísmica para obtener una mejor representación visual (imagen) de la estructura de velocidad sísmica de la microplaca de Puerto Rico-Islas Vírgenes. En adición, junto a la estudiante subgraduada Wilnelly A. Ventura-Valentín (Figura 20A), han analizado los datos (aproximadamente 18,500 eventos y más de 200,000 picados individuales de ondas P y S) generados por la RSPR, entre 2010-2016, para desarrollar un control de calidad. La información de los datos de tiempo de viaje se utilizó para realizar un análisis preliminar utilizando; análisis de curvas de tiempo de viaje y las técnicas de trazado de rayos. Este análisis dio lugar al descubrimiento de una anomalía de alta velocidad debajo del Bloque de Mona. Por lo tanto, se utilizó para el desarrollo inicial de un modelo 1D para inversiones topográficas avanzadas (Figura 20B). La tomografía de tiempo de viaje es un método que produce una imagen de velocidad sísmica 3D que se estará utilizando en la región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Es un procedimiento similar a cómo se toma una imagen del cuerpo humano en una tomografía computarizada (*CT Scan*, por sus siglas en inglés). Las imágenes generadas en este estudio revelan la estructura regional del manto superior y la corteza terrestre. Este año se realizó una tomografía preliminar del área donde se determinó la estructura de velocidad 3D, así como la reubicación del catálogo de la RSPR para los eventos entre 2010/2016, simultáneamente. La imagen 3D combinada con la relocalización de los terremotos en el catálogo, proporcionará una visión robusta de los procesos tectónicos que impulsan la actividad sísmica observada en la región. Además, de proveer información para futuros modelos tectónicos. Los resultados, preliminares, de este estudio han sido presentados en la reunión de la Sociedad Sismológica de América (SSA, por sus siglas en inglés) en mayo 2018 y Unión de Geofísica Americana (AGU, por sus siglas en inglés) en diciembre 2018. Los resultados obtenidos en esta investigación son: el catálogo de terremotos relocalizados y el modelo de velocidad sísmica. Con esto no solamente se aumenta el conocimiento científico, sino que se mejora el conocimiento de amenazas de terremotos y tsunami locales. La relocalización de eventos locales, permitirá la identificación de las fallas más activas en la región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes, especialmente la Gran Falla de Sur de Puerto Rico y la Gran Falla del Norte de PR. Este proyecto, agilizará la actualización del mapa de peligro sísmico de Puerto Rico, que no ha sido revisado desde 2003. En adición, el modelo de velocidad sísmica 3D, se usará para determinar si el modelo de velocidad 1D de la RSPR requiere ser actualizado.



A.

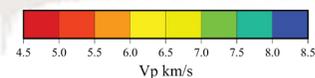
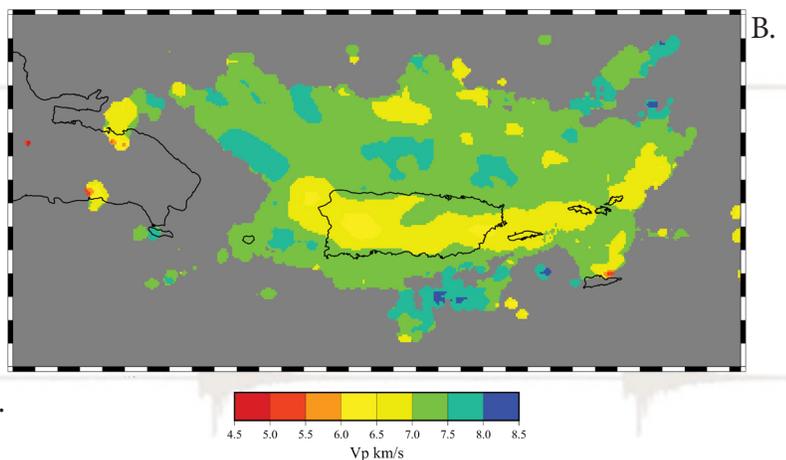


Figura 20:A. Estudiante Wilnelly Ventura Valentín en *Seismological Society of America*. **B.** Presentó su trabajo titulado *P-wave velocity calculated at 35km depth from a local tomography (RSPR-UPRM)*.



GEOL. BENJAMÍN COLÓN RODRÍGUEZ

Exploring Broad Usage of Sea Level Data Provided by The Puerto Rico Seismic Network as a Natural Laboratory

Durante el periodo del 1 al 7 de julio de 2018 se participó en el curso *Sea Level Futures Conferences & Task Course* que se llevó a cabo en Liverpool, Reino Unido (Figura 21). El curso fue organizado por *National Oceanography Center* del Reino Unido. En este curso se discutieron nuevos estudios e investigaciones que se están llevando a cabo relacionadas a los cambios en el nivel del mar, bajo un enfoque a largo plazo. Se promovió el mantenimiento, nivelación, procesamiento, transmisión y control de calidad de datos, así como predicciones de marejadas, entre otros temas de importancia para los operadores de estaciones de mareógrafos.

El 4 de julio de 2018, se presentó el poster *Exploring Broad Usage of Sea Level Data Provided by The Puerto Rico Seismic Network as a Natural Laboratory*. En el mismo, se dio la oportunidad de exponer el trabajo de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) en cuanto a nuestro sistema de monitoreo de Tsunamis. Se expuso, además, la importancia de los registros de nuestros mareógrafos para ver los cambios de nivel del mar a largo plazo y durante fenómenos naturales, como, por ejemplo: tormentas, meteo-tsunamis y huracanes. También se participó de varias conferencias de interés geológico para el División de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos. Se identificaron varias conferencias de interés relacionadas al procesamiento y adquisición de datos mareográficos, que se reciben en tiempo real y a largo plazo en la RSPR. Por otra parte, este curso permitió ampliar la comunicación entre los operadores de las estaciones instaladas a lo largo del Atlántico, permitiendo una mejor colaboración para la adquisición de datos y así fortalecer los sistemas de monitoreo regional.

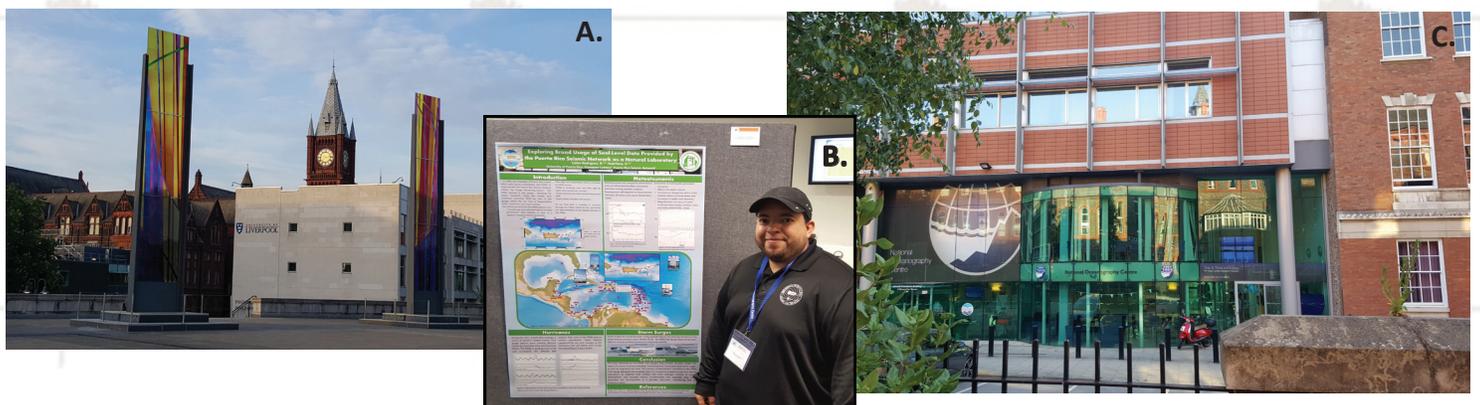


Figura 21:A. Fotos de la Universidad de Liverpool, UK. B. Presentación del Poster RSPR en Taller de Mareógrafos. C. Centro Nacional de Oceanografía (RSPR-UPRM).

GEOL. MARÍA TORRES VEGA

Broadcast Server y ShakeMaps

El sistema *BroadCast Server* (BC-Server) es un programa desarrollado en la RSPR. Este sistema 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, RSS, mensaje de texto, web page, y las redes sociales. Durante el 2018, se continuó la labor de implementación y documentación de las nuevas interfaces de este programa. Se espera que para el año 2019 se esté usando en su totalidad esta nueva versión, la cual ayudará a emitir la información de eventos de forma más rápida y efectiva. La RSPR adquirió un sistema de almacenamiento para guardar los datos de los sistemas automáticos de adquisición, que a su vez son los encargados de detección rápida de los eventos. El *EarlyBird* es un sistema de detección rápida, localización automática y revisada de eventos sísmicos. En adición, los datos de las estaciones sísmicas remotos son guardados en sus formatos nativos para salvaguardar la integridad de los mismo. Todos los datos se almacenan en sistemas robustos en la RSPR. Los datos de la RSPR se encuentran disponibles para todos aquellos investigadores que lo soliciten. También sirven para estudios que se realicen en la RSPR.

Los *Shakemaps* o mapas de movimiento fuerte son una representación gráfica del movimiento de la tierra producido cuando ocurre un evento sísmico. Estos mapas ayudan a estimar la intensidad de un evento sísmico, utilizando datos geológicos y velocidad de onda S, entre otros. La RSPR tiene instalada actualmente la versión de *Shakemaps* 3.5, que fue creada por un grupo de investigadores del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Durante el mes de junio, se participó en el taller de *Shakemap* coordinado por la Universidad de Berkeley en California en conjunto con el Servicio Geológico de los Estados Unidos de Colorado (Figura 22). En este taller se presentó la nueva herramienta *Shakemap* 4.0. Este programa fue diseñado por un grupo de investigadores del USGS que incluyen a David Wald y a Bruce Worden. El objetivo de este taller fue adiestrar sobre la instalación de este programa *Shakemap* 4.0, conocer los avances logrados por el mismo, ponerlo a prueba para detectar sus fallas y corregirlas. Esta nueva versión *Shakemap* 4.0 se encuentra instalada en la RSPR en fase de prueba.



Figura 22. Participantes del taller *Shakemap* coordinado por la Universidad de Berkeley en California en conjunto con el USGS (RSPR-UPRM).

ING. JAVIER CHARÓN RAMÍREZ

Tidal Bench Mark - Agrimensor Harry Charón

Tras el paso del Huracán María por Puerto Rico la Red Sísmica de Puerto Rico perdió en su totalidad tres de sus seis mareógrafos. Los equipos destruidos por el huracán estaban ubicados en el Muelle de Fajardo, *Crash Boat* en Aguadilla y en el muelle de la Isla de Cajade Muerto. El mantenimiento de los demás mareógrafos, Arecibo, Yabucoa y Vieques se realizó según se han planificado en los últimos años. Los trabajos en Vieques incluyeron llevar la nivelación hasta el Museo Fuerte Conde de Mirasol para asignarle elevación a tres *benchmark (BM)* conmemorativos que fueron instaladas por Instituto de Agrimensores. En el caso de Arecibo se instaló un *Tidal Bench Mark (TBM)* adicional para cumplir con los requerimientos de la NOAA donde se requiere 10 TBM como referencia para el mareógrafo. Este TBM fue dedicado a la memoria del Agrimensor Harry Charón. Es una chapa de



Figura 23. Tidal Bench Mark - Dedicado al Agrimensor Harry Charón (RSPR-UPRM).

bronce de 3.5 pulgadas de diámetro rotulada en su círculo exterior con la inscripción “UNIV. DE P. R. MAYAGUEZ TIDAL BENCH MARK” y en su círculo interior “RED SISMICA DE P. R. DEPTO. DE GEOLOGIA” (Figura 23). Varios días después de su instalación se realizaron observaciones con receptores de los sistemas de posicionamiento global *Global Navigation Satellites Systems* (GNSS, por sus siglas en inglés) de frecuencia doble. Ese mismo día se realizaron los trabajos de nivelación del mareógrafo con la colaboración de estudiantes del Campamento del Programa de Agrimensura del UPR-Mayagüez.

El TBM con el nombre del Agrimensor Charón es un humilde homenaje dedicado a su trayectoria y reconociendo su ejemplo como agrimensor. El agrimensor Charón fue el último empleado del Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico, que trabajó como Agrimensor Licenciado a tiempo completo. Nació en marzo de 1954, en una familia humilde y numerosa, de 6 hermanos. Según surgían oportunidades de empleos para su padre, el Sr. Francisco Charón, su familia debía mudarse en sin número de ocasiones alrededor de la isla. Salió de las montañas de Maricao, llegando a vivir en Santurce y luego 10 años en Nueva York, ciudad a la que se mudaron cuando él tenía apenas 7 años. Al cumplir 17 años regresaron a la isla y a los 18 años comenzó a trabajar en los almacenes de materiales del Colegio de Agricultura y Arte Mecánicas (CAAM), hoy UPR Recinto de Mayagüez (RUM). Completó su grado asociado en agrimensura en 1981, para ese entonces ya contaba con esposa y dos hijos. Varios años más tarde tuvo la oportunidad de unirse como Agrimensor Licenciado a la sección de Ingeniería, del Departamento de Edificios y Terrenos del RUM, donde trabajó por más de 30 años, hasta el 2011. Durante sus años como agrimensor colaboró en múltiples proyectos en la UPRM y en distintas facilidades de las estaciones experimentales del Servicio de Extensión Agrícola alrededor de la isla. Algunos de estos proyectos son: levantamiento topográfico del área en donde hoy se ubica la imprenta, el edificio de Administración de Empresas, el Edificio de Biología y la Finca Alzamora. Otros proyectos fuera del Recinto fueron: el replanteo de la zona marítima terrestre de la Reserva Natural Caño Boquilla en Mayagüez y del Río Grande de Añasco. Perteneció a la directiva del Capítulo de Mayagüez del Instituto de Agrimensores y fue orientador del capítulo estudiantil del mismo. Es por este esfuerzo, dedicación y ayuda desprendida en el proceso de enseñanza que el Programa de Agrimensura que se le dedico este TBM al Agrimensor Harry Charón.

GEOL. FRANCIS PÉREZ RAMOS

Desarrollo e implementación de módulos para el entrenamiento de analistas nuevos, catálogo sísmico histórico y protección de colección sísmica

En el año 2018 continuamos con el desarrollo e implementación de los módulos para el entrenamiento de analistas. Estas herramientas y recursos disponibles proveen a los analistas de nuevo reclutamiento y estudiantes; las capacidades, destrezas y competencias necesarias para obtener el conocimiento científico y poder tomar decisiones importantes en el área de trabajo. El entrenamiento fue desarrollado como módulos educativos que tiene dos objetivos principales. El primer objetivo es obtener una medida cuantitativa de los conocimientos y/o habilidades que posee en geología, procedimientos y protocolos de la División de Análisis y Procesamientos de Datos Geofísicos. De esta forma se obtiene una evidencia sustancial para determinar si el analista está capacitado o no para cumplir con los requisitos y expectativas de respuesta operacional durante un turno. El segundo objetivo es que los participantes puedan comprender, evaluar, tomar decisiones, procesar e informar de manera oportuna sobre terremotos y tsunamis en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Finalmente, se incorporó dentro de este segundo objetivo el ámbito teórico-práctico. En este el analista debe tener la capacidad de gestionar conocimientos aprendidos de diferentes envergaduras, desenvolverse adecuadamente y tomar decisiones importantes, utilizando la herramienta *Broadcast Dummy*. Este último objetivo es de suma importancia, ya que el tiempo es un factor fundamental en la respuesta a una emergencia de terremotos y tsunamis debido a la naturaleza de nuestro trabajo.

Continuamos trabajando con la recopilación de datos históricos encontrados en diferentes catálogos. Buscando información de los eventos históricos, como, por ejemplo: magnitud, profundidad, intensidad, pueblos en donde fueron sentidos, entre otra información. Se comenzó a trabajar con el desarrollo de una propuesta para eventualmente incorporar el catálogo histórico de una manera dinámica e interactiva que muestre la información sobre los eventos históricos y significativos para la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Este proyecto se subdivide en varias etapas. Para la primera etapa se estará trabajando con la verificación y corroboración de los datos obtenidos a través de referencias. Luego, se trabajará con la plataforma interactiva donde podemos hacer búsquedas y desplegar la información que necesitamos. Por último, se considerará la opción de enlazar nuestro catálogo interactivo a las bases de datos históricas de Puerto Rico, a través de algún acuerdo colaborativo dentro de la UPR.

A finales de 2018, como parte del nuevo proyecto de Protección de Documentos y Colección de Sismogramas Históricos, los geólogos Francis Pérez Ramos y la Gisela Báez- Sánchez participaron y se certificaron en el “Taller sobre cuidado y almacenamiento de colecciones” (Figura 24). Este taller fue ofrecido el 9 de diciembre por la Srta. Miriam Centeno, Coordinadora de Cuidado de Colecciones de la Universidad de Illinois (Urbana) en coordinación con la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. El taller nos provee un espacio introductorio para conocer y recopilar información básica que nos permita desarrollar e implementar un plan de acción con la misión de proteger y conservar el material histórico que posee la Red Sísmica de Puerto Rico. Durante el 2019, continuaremos con el proceso de capacitación tomando talleres de conservación y protección de material histórico, para eventualmente comenzar a trabajar con nuestras colecciones que son de incalculable valor histórico-científico para la Región. Esto se sumara a los esfuerzos de conservación de sismogramas análogos (Proyecto Escáner), liderados por V. Huérfano.



Figura 24. Taller sobre cuidado y almacenamiento de colecciones (RSPR-UPRM).

GEOL. JOSÉ F. MARTÍNEZ COLÓN

Cápsulas educativas, monitoreo de sistemas de detección automática y entrenamiento de analistas

Durante el 2018 continuamos con los trabajos de difusión y educación, que son el enlace entre las divisiones de Educación y de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos. Se desarrollaron y diseminaron cápsulas informativas semanales a través de la emisora Radio Casa Pueblo, las redes sociales de la RSPR y recientemente, a través del podcast Repaso Noticioso. Estas intervenciones semanales contienen información de sismos recientes, tanto a nivel local como mundial, y ofrecen un dato educativo de interés para la población. Todos los viernes a las 9:25 am por la estación 1020 AM (Radio Casa Pueblo), se transmiten nuevas cápsulas educativas. Esta información se publica además en las redes sociales *Facebook* y *Twitter* de la RSPR. Al igual que cualquier promoción de actividades públicas o trabajos realizados por el personal de la RSPR con otras agencias y la comunidad. Nuestra colaboración para el podcast Repaso Noticioso se encuentra disponible por internet. Este programa se transmite todos los jueves a las 2:00 pm. El impacto de estas colaboraciones ha quedado evidenciado en las reseñas publicadas a través de la plataforma *iTunes*.

Por otro lado, además de las aportaciones realizadas en el entrenamiento introductorio durante el año 2018, se ha investigado y planificado una serie de oportunidades para el beneficio profesional de los Analistas de Datos Geofísicos con más experiencia. El nuevo programa de educación continua para Analistas de Datos Geofísicos, a presentarse en 2019, se basa en los métodos de la Oficina de Educación Continua del Recinto Universitario de Mayagüez. Durante este año preparamos una encuesta exhaustiva para determinar el interés y necesidades de entrenamiento. Este cuestionario tenía como objetivo determinar las áreas a las que se le dará mayor prioridad a nivel de desarrollo profesional, mientras que se continúa practicando o implementando nuevas técnicas a nivel operacional. Los resultados de la encuesta mostraron un mayor interés en la adquisición de conocimiento académico, destrezas de programación y sistemas de información geográfica. Además del interés general en presentar sus proyectos operacionales en conferencias científicas o profesionales. Se continuó con el trabajo de monitoreo de los sistemas de localización automática. Comparando la calidad de las detecciones del sistema automático de localización *EarlyBird* con las localizaciones manuales realizadas por nuestros Analistas de Datos Geofísicos. El objetivo de este procedimiento es asegurar un mejor funcionamiento y precisión en este sistema automático.

FIS. JOSÉ M. RIVERA TORRES

Desarrollo de herramientas para el procesamiento de datos geofísicos

En el 2018, como parte de los proyectos, se realizaron actualizaciones en la configuración y verificación de los parámetros de las estaciones que se utilizan en el sistema de procesamiento de sismos locales PRDANIS. También trabajamos en el desarrollo y reestructuración de las herramientas utilizadas para el entrenamiento dentro de nuestra división. Se diseñó y desarrolló el programa *Broadcast Dummy* (Figura 25), con el objetivo no sólo de entrenar a los nuevos analistas sino de mantener óptimas habilidades de respuesta de los analistas con mayor experiencia. Y, por último, se trabajó en la documentación y configuración de la herramienta *Digital Drums II*, esta herramienta es utilizada por los analistas para verificar los autopicados de las estaciones de la RSPR, buscando eventos que no fueron detectados por el sistema automático de localizaciones, *EarlyBird*.

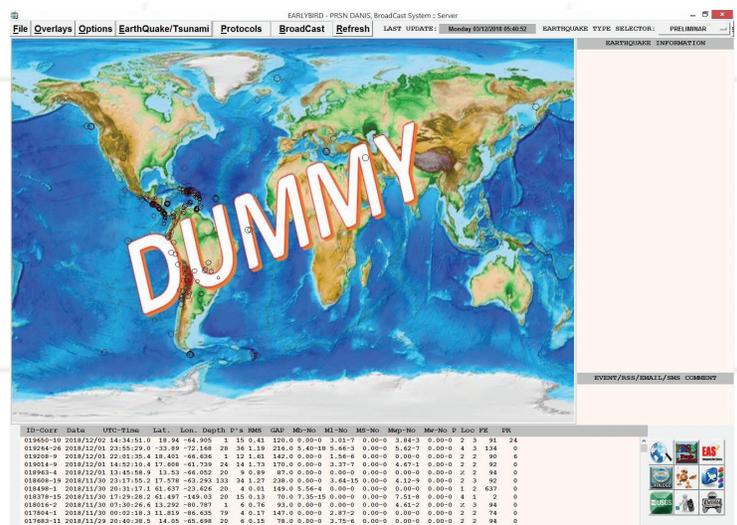


Figura 25. Programa Broadcast Server DUMMY o simulador de respuestas (RSPR-UPRM).

GEOL. VIRIDIS MIRANDA BERROCALES

Proyecto *Emergency Management Weather Information Network*

El Sistema EMWIN (*Emergency Managers Weather Information Network*) permite la llegada de mensajería cuyo contenido puede ser de tipo meteorológico o relacionado a boletines de Tsunami, que indican un nivel de alerta para Puerto Rico y las Islas Vírgenes las cuales son: boletín informativo, vigilancia, advertencia o aviso. Los mensajes son utilizados por los manejadores de emergencia para la toma de decisiones, como por ejemplo activar sirenas costeras o los planes de desalojo. Este sistema recibe información de agencias autorizadas por la *National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)*, bajo el *National Weather Service (NWS)* y los centros de tsunamis, *Pacific Tsunami Warning Center (PTWC)* y *National Tsunami Warning Center (NTWC)*. El EMWIN opera tanto por internet como por satélite. Este último es fundamental en caso de que ocurra un evento atmosférico, como fue el Huracán María, capaz de afectar la señal transmitida vía internet. El software encargado de procesar los mensajes enviados por NWS y los TWCs es *Weather Message*. Este contiene tres módulos: *Weather Message Server*, *Weather Message Client* y *Weather Message Map*. La función de los últimos dos es diseminar información a los usuarios.

Es importante mencionar que los segundos martes de cada mes se realizan pruebas con el sistema RSS (*Really Simply Syndication*) de la RSPR. Este opera con el software "*RSSOwl*" y les permite a los usuarios recibir mensajes de emergencia en tiempo real. Este sistema permite a cada zona de NMEAD y OMME reciba mensajería relacionada a simulacros de Terremotos y Tsunamis (*ShakeOut* y *Caribe Wave*, respectivamente), eventos significativos, sismos sentidos y protocolos de tsunami. Esta herramienta, instalada en las computadoras con sistema EMWIN, es sumamente importante para los manejadores de emergencia dado que es una fuente complementaria para transmitir información oficial en adición al *Weather Message Client*.

GEOL. JOSEAN BARBOSA TORO

Mapa de Desalojo por Tsunamis

Como parte de este proyecto operacional, se ha comenzado a trabajar con los Mapas de Desalojo e Inundación por Tsunami utilizando la herramienta de GIS. Estas actualizaciones seguirán las guías de la NOAA/NWS. Los mapas de inundación y desalojo están diseñados para ayudar a las comunidades que se encuentran en áreas costeras a identificar y reducir su vulnerabilidad ante el efecto de inundaciones causadas por tsunamis. Durante el mes de noviembre se procedió con la instalación del programa ArcGIS, para comenzar en el desarrollo del proyecto de mapas. Actualmente, nos encontramos en la segunda fase del proyecto, que consiste en descargar los archivos necesarios para la elaboración de estos mapas. Se ha descargado alrededor de 130 GB de data, los cuales contienen información pertinente para la elaboración del proyecto.

GEOL. ANGEL L. ALICEA LEÓN

Plan de Emergencias de la Red Sísmica de Puerto Rico

Basado en las guías de Desarrollo y Mantenimiento de un Plan de Operaciones de Emergencias de FEMA, se estará actualizando el Plan de Emergencias de la Red Sísmica de Puerto Rico. Este plan requiere la evaluación detallada de riesgos antes, durante y después de un terremoto, incendios, escapes de gas y/o materiales peligrosos, huracanes, explosiones, posibles deslizamientos, falta de electricidad, huelgas/protestas/motines, inundaciones y/u otros incidentes provocados por actividades humanas que potencialmente pudiese impactar las operaciones de la Red Sísmica de Puerto Rico y la salud y seguridad de sus empleados, estudiantes y/o visitantes. Durante los pasados meses se ha evaluado las rutas de desalojo y se ha actualizado el plan de respuesta de emergencias del Recinto-UPRM. En la actualidad se está atemperando el plan de emergencias de la RSPR con el de UPRM. Una vez se haya sometido la versión final del plan se implementará un plan de re-estructuración con el fin de mitigar riesgos (si alguno), un plan de entrenamientos y se ejecutarán ejercicios de práctica.

GEOL. GISELA BÁEZ-SÁNCHEZ

Ejercicios *Caribe Wave* y *ShakeOut* 2018

La Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) es la agencia líder en la coordinación de dos ejercicios de comunicaciones anuales para Puerto Rico y las Islas Vírgenes, durante los ejercicios *Caribe Wave* y *ShakeOut*. El Ejercicio Regional de Tsunamis *Caribe Wave* (Figura 26), se lleva a cabo en el mes de marzo, mientras que el Ejercicio Gran *ShakeOut* de Puerto Rico, se realiza durante el mes de octubre. Estos ejercicios se ejecutan en coordinación con todas las agencias de respuesta de emergencias dentro de la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes (PR/IV), nuestra área de responsabilidad sísmica y son parte integral del mejoramiento continuo de nuestras operaciones y respuestas a emergencia. Durante estos ejercicios se prueban las comunicaciones con: el *Negociado de Manejo de Emergencia y Administración de Desastres* (NMEAD, 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 *Centro Nacional de Sismología* (República Dominicana). Entre los medios de comunicación utilizados por la RSPR, para la difusión de mensajería de emergencia, se probaron los siguientes: el Sistema Broadcast (Sistema de Disseminación de Información de Terremotos y Tsunamis), teléfonos dedicados (*ring downs* y *línea privada*), radio frecuencia de NMEAD, RSS News (RSPR), mensajería de texto (TWFP, *Tsunami Warning Focal Points*), listas de correos electrónico (Emergencia, Prensa y Público), fax, página Web y redes sociales (Facebook y Twitter). Además, se probó un sistema de envío de mensajería masiva, como método redundante de comunicaciones para las listas de servicio de emails, mensajes de texto y llamadas a los TWFP.

El 15 de marzo de 2018, por décimo año consecutivo, se realizó el ejercicio de comunicaciones *Caribe Wave*. Este se trabaja en conjunto con el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC, por sus siglas en inglés), el Programa de Alerta de Tsunamis del Caribe (CTWP, por sus siglas en inglés), SNM-SJ NOAA, NMEAD, FEMA, el Comité EAS de Puerto Rico y la Asociación de Radiodifusores de Puerto Rico, entre otras agencias. En general, en PR/IV la participación en el ejercicio ***Caribe Wave* 2018** fue exitosa. Se realizaron pruebas de comunicación con Radioaficionados voluntarios (WP4DT) por *Ham Radio*, entre la RSPR en Mayagüez y el NWS en San Juan. Trabajamos arduamente en la actualización de la página oficial de la RSPR para el Ejercicio ***CARIBE WAVE* 2018** (<http://caribewave.uprm.edu/>) que contienen los materiales desarrollados para el mismo.

Como parte de la preparación previa al ejercicio y con motivo de anunciar el *Caribe Wave*, se realizaron varias pruebas de los sistemas de comunicaciones los días 28 de febrero, 10 y 14 de marzo. Durante el ejercicio *Caribe Wave* 2018, el 15 de marzo, emitimos un total de 18 mensajes según el escenario de Puerto Rico (basado en el Terremoto y Tsunami 1918). El primer mensaje, se emitió a las 10:00 am anunciando el comienzo del ejercicio. Además, se emitieron 16 Boletines Oficiales de la RSPR con la información de Aviso, Advertencia y Cancelación de Tsunami (en español e inglés), según emitida por el PTWC en los productos domésticos para Puerto Rico y las Islas Vírgenes. En general, la disseminación de los productos a las agencias de emergencia en nuestra región transcurrió en tiempos adecuados de 0 a 2 minutos (por medios primarios como radiofrecuencia, líneas dedicadas, emails, RSS y SMS). Durante el Ejercicio *Caribe Wave* 2018, el SNM-SJ en coordinación con la Asociación de Radiodifusores de Puerto Rico (radio, televisión, cable TV y radios NOAA) activó el sistema EAS, a partir de las 10:05 AM utilizando el código de alerta real de tsunami, TSW. El Registro Oficial del Ejercicio (tsunamizone.org), reportó un total de 118,721 individuos participantes en PR/IV, de los cuales 112,953 fueron de Puerto Rico, 370 de Islas Vírgenes Estadounidenses y 5,398 en Islas Vírgenes Británicas.

El 18 de octubre realizamos, por sexto año, el Ejercicio de Comunicaciones y simulacro de terremotos, **Gran *ShakeOut* de Puerto Rico 2018** (Figura 27). Contamos con la participación de todas las agencias de respuesta a emergencias dentro de nuestra área de responsabilidad sísmica (PR/IV). Para el **Gran *ShakeOut* de Puerto Rico 2018** se trabajó en conjunto con NMEAD y SNM-SJ, entre otras agencias locales. Además, se trabajó en la actualización



Figura 26. RSPR durante el Ejercicio Caribe Wave 2018 (RSPR-UPRM).

de la página oficial del ejercicio de la RSPR (<https://www.uprm.edu/shakeout/>). Los días 28 de septiembre, 8 de octubre y 17 de octubre se realizaron pruebas previas al ejercicio, por todos los medios de comunicación disponibles en la RSPR, para promocionarlo en nuestra región. En general, en la PR/IV la participación en el ejercicio **El Gran ShakeOut de Puerto Rico 2018** también fue exitosa.

Durante el ejercicio **Gran ShakeOut de Puerto Rico 2018**, el 18 de octubre, emitimos dos mensajes. El primero, un recordatorio del ejercicio a las 9:28 am a las listas de servicio de público y redes sociales de la RSPR. La RSPR sólo se emitió 1 Boletín Oficial, a las 10:18 am, como parte del ejercicio de comunicaciones anunciando el comienzo del mismo. La diseminación de productos (por los medios primarios de comunicación) a las agencias de emergencia en nuestra región, transcurrió en tiempos adecuados de 0 a 3 minutos. En el Registro Oficial del Ejercicio (www.shakeout.org) se reportó un total de **494,089** individuos participantes en PR/IV, de los cuales 490,514 fueron de Puerto Rico y 3,575 de Islas Vírgenes Estadounidenses.

Operaciones, Preparación y Continuidad

Durante el 2018, se continuó trabajando la actualización del Manual de Operaciones y Procedimientos de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR). El manual describe 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. Luego del paso de los huracanes Irma y María, hemos buscado optimizar los protocolos para hacerlos más comprensibles a las diversas áreas de la RSPR, en especial aquellos

relacionados al plan de emergencia y la continuidad de operaciones. En adición, se trabajó en la mejora de los sistemas de comunicación y diseminación de nuestros datos y productos de emergencia. Sometimos, además, el *After Action Report* para la Respuesta del Huracán María e iniciamos las tareas de recuperación, restitución y mejoras de nuestros sistemas de monitoreo geofísico y respuesta a eventos detectados en nuestra región. Se participó en el *2018 Hazard Mitigation and Resilience Workshop 2018*, realizado por la Universidad de las Islas Vírgenes en St. Thomas, con el objetivo de levantar la lista de recursos disponibles para la preparación del Plan de Amenazas y Mitigación de las Islas Vírgenes Americanas.

Como parte de los esfuerzos de educación y preparación, se presentó en el *John D. Weaver Lectures Series* del Departamento de Geología de UPRM, la experiencia adquirida en las operaciones durante el Huracán María con la conferencia *Continuity of Operations: The reality during a catastrophic event, How to Operate a Seismic Network and Tsunami Warning Focal Point during NaTech Disaster?* El *Continuity of Operation Plan (COOP)* es un requisito establecido a nivel federal, con el objetivo de mantener la continuidad de operaciones durante y pasada una emergencia. En una situación de emergencia la RSPR tiene que garantizar que se cumplan las siguientes funciones:

- Monitoreo y determinación rápida de la localización y magnitud de sismos en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes.
- Diseminar de manera rápida y oportuna la información sobre la generación y el impacto de terremotos y tsunamis en la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes.
- Apoyar al PTWC en la evaluación de amenazas de tsunami para determinar los niveles de Alerta de Tsunami para la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes.
- Cumplimiento de los requisitos y responsabilidades de un Punto Focal de Alerta de Tsunami (según sus siglas en inglés, TWFP) Alterno designado por el Estado Libre Asociado de Puerto Rico, a través de la NMEAD.

Las responsabilidades de la RSPR incluyen: transferir data en tiempo real desde la RSPR y las redes regionales al NEIC, PTWC y NTWC; diseminar información de terremotos y tsunamis a las agencias de manejo de emergencias y al público general; y asegurar comunicaciones abiertas y funcionales con las agencias de emergencia dentro de nuestra área de responsabilidad. En caso de una emergencia, donde la RSPR pierda comunicaciones o no pueda asegurar el cumplimiento de una de las funciones, se activará el Plan COOP y el Plan de Devolución de Operaciones. Esto en coordinación con las agencias federales (NEIC y PTWC) y con las agencias de emergencias dentro de nuestra área de responsabilidad. Según se implementó durante el paso de los huracanes Irma y María por la Región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes.



Figura 27A. Simulacro de protección ante terremotos de la RSPR durante el ShakeOut 2018 (RSPR-UPRM).



Figura 27A. Desalojo de la RSPR durante el Ejercicio ShakeOut 2018 (RSPR-UPRM).



Figura 28. El Dr. Huérfano, investigador principal de la propuesta pronunció un saludo a los participantes del curso (UPRM).

la portabilidad, facilidad y flexibilidad a la hora de desplegar los equipos. Esto agiliza el proceso de respuesta y recuperación después de una emergencia mayor. A pesar de que la mayoría de los radioaficionados realizan esta práctica por diversión y educación o socialmente, el objetivo de este proyecto es poder coordinar un plan para que su uso sea de ayuda en casos de emergencia.

Este proyecto de comunicaciones durante emergencias, está financiado por la organización no gubernamental “Unidos por Puerto Rico”, la UPRM y sus dependencias (la Red Sísmica de Puerto Rico, el Decanato de Administración y el Departamento de Ingeniería Eléctrica). Uno de los objetivos es brindar apoyo con las comunicaciones a hospitales, oficinas de manejo de emergencia y otras agencias primarias de respuesta en medio de una catástrofe o emergencia mayor. Además, la iniciativa incluye el entrenamiento de un grupo de voluntarios, con el compromiso de que obtengan sus licencias de radiodifusión para nutrir la red de comunicaciones de emergencia (Figura 28 y 29). El centro primario estará instalando en la Red Sísmica de Puerto Rico (Departamento de Geología, UPRM) y tendrá un centro alternativo en el edificio de Ingeniería General (Stefani) y otro en la estación de Ciencias Marinas en Lajas. Contará también con una estación repetidora y proveerá los equipos necesarios para lograr una comunicación adecuada. Nuestra meta es ayudar a crear un grupo de radioaficionados, con las destrezas y equipos necesarios para dar soporte a las agencias de respuesta en casos de emergencia.

Figura 29. Grupo de graduados de Radioaficionados del proyecto EMCOMM hub UPRM (UPRM).



GEOL. GISELA BÁEZ-SÁNCHEZ

Upgrade the PRSN to Provide Local and Regional Tsunami Warning Capabilities

El ambiente tectónico del Caribe es muy complejo, con el potencial de producir diversos escenarios de terremotos y tsunamis catastróficos. En los últimos 500 años, se han confirmado más de 30 tsunamis generados por terremotos en la región caribeña, con aproximadamente 4,466 víctimas (según la base de datos *National Centers for Environmental Information* de la NOAA). La posibilidad de que ocurra un tsunami representa un grave peligro para los 3.4 millones de personas que viven en Puerto Rico y las Islas Vírgenes Estadounidenses, así como para muchas más personas en la cuenca caribeña. Por esta razón, mantener y mejorar el sistema de alerta de tsunamis en el Caribe es importante y necesario. Desde el 2003, la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) ha asumido una parte importante en este rol. La RSPR mantiene acuerdos colaborativos con NOAA, la Universidad de Puerto Rico, el Gobierno de Puerto Rico y el Negociado Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (NMEAD) para mantener operaciones las 24 horas del día, los 7 días de la semana, con personal especializado. Las operaciones y el monitoreo son, en parte, subvencionados por el Proyecto NOAA Operaciones que beneficia, no sólo a los Centros de Alerta de Tsunami de NOAA (TWC), si no a los residentes y visitantes de Puerto Rico, el Caribe y las regiones adyacentes. A través de este proyecto, la RSPR brinda apoyo a los TWC de NOAA manteniendo las siguientes funciones esenciales:

- transferencia de datos en tiempo real
- diseminación de información de terremotos y tsunamis a las agencias de manejo de emergencia y al público en Puerto Rico y las Islas Vírgenes
- operación de canales de comunicación redundantes con las agencias federales y estatales

Como parte de los esfuerzos para la diseminación de información de tsunamis y como *Tsunami Warning Focal Point Alterno* de Puerto Rico, participamos en varias vistas públicas de Cámara y Senado de Puerto Rico. Exponiendo en estas, la respuesta del Terremoto de Honduras del 9 de enero de 2018 (Figura 30) y las labores de la RSPR en la educación y preparación de tsunamis de Puerto Rico (Figura 31). En agosto de 2018, varios geólogos de la División de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos de la RSPR, junto al personal del Programa Tsunami Ready, participamos en el Taller de Operadores de Municipios Tsunami Ready. En este, tuvimos la oportunidad de educar y entrenar a los manejadores de emergencias de los puntos focales de alerta de tsunami costeros. Se les entrenó en el Protocolo de Tsunami de Puerto Rico y las Islas Vírgenes, el Protocolo de Comunicaciones y en la utilización de la información proveniente de los *Tsunami Warning Center* y los *Tsunami Warning Focal Point (TWFP)* de Puerto Rico, según requerido por el Proyecto NOAA Operaciones.

Durante el 2018, la RSPR continuó mejorando sus capacidades para la detección de tsunamis (locales y regionales), mediante la actualización y el mantenimiento de la infraestructura: sísmica, mareográfica, operacional y de comunicaciones. A lo que se suma brindar oportunidades de capacitación para su personal y colegas de otras redes regionales. También se realizaron esfuerzos de colaboración para fortalecer el Sistema de Alerta de Tsunamis del Caribe enmarcado en los trabajos de la Comisión Intergubernamental Oceanográfica de la UNESCO, dentro del *Intergovernmental Coordination Group for the Tsunami and Other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions* (ICG CARIBE EWS).



Figura 30. Vistas públicas de la Cámara de Representantes de Puerto Rico del 31 de enero de 2018 en San Juan (RSPR-UPRM).



Figura 31. Vista ocular del Senado de Puerto Rico el 5 de octubre del 2018 en la RSPR (RSPR-UPRM).

GEOL. YANIRA SANTIAGO PÉREZ

Geomorphometric Analysis of Juvenile Topography to Understand Recent Tectonic Activity in Puerto Rico

Los aspectos geomorfológicos de las cuencas de Puerto Rico son utilizados para examinar los perfiles longitudinales de los ríos y entender los procesos de levantamiento tectónico de la Isla Grande. Para poder llevar a cabo dicho estudio, es necesario enfocarse en un solo marcador geomorfológico que cuente con remanentes de su geometría inicial y que se le pueda asignar su edad. En éste caso, se estarán utilizando los *knickpoints* o cascadas. Los *knickpoints* son identificados como cambios abruptos en el gradiente del río y son indicadores de desequilibrio. El objetivo del proyecto es comprender el impacto de la actividad tectónica y la evolución de los perfiles fluviales de Puerto Rico, al determinar si los *knickpoints* están asociados con tectonismo. Esto se llevará a cabo; identificando *knickzones* en Puerto Rico usando un modelo de elevación digital (DEM) en los programas ArcGIS y MATLAB, desarrollar curvas de hipsometría para clasificar las cuencas entre diferentes estados de evolución y erosión, reconstrucción de los perfiles longitudinales de los ríos para determinar su nivel base antiguo, además, se llevará a cabo χ -plots para proveer predicciones de las elevaciones y su estado estable (*steady-state*) para un punto dado en el canal.

FIS. SANDRA ROSERO RUEDA

A Preliminary Approach Towards the Implementation of an Early Warning System in the Caribbean

La estudiante graduada, en el Departamento de Geología, Sandra Rosero, trabaja con la calibración para detectar los tiempos de arribo de las ondas sísmicas de manera automática, usando datos de la Red Sísmica de Puerto Rico. El objetivo de este proyecto es mejorar los módulos de localización automática con el fin de generar localizaciones finales confiables. Para lograr esto, se trabajará en modificación de los modelos de detección del programa de *Earthworm* (EW). Este sistema se encarga de hacer auto picados de posibles eventos detectados en tiempo real. Se utiliza la herramienta de *Phase Arrival*, para corroborar que los picados generados automáticamente coinciden con los criterios de localización manual. El sistema de *Earthworm* se compone de diferentes módulos con jerarquía, creados con funciones específicas tales como: entrada y salida de datos, autopicados de señales sísmicas tanto en la zona de

responsabilidad, zona extendida y regional, entre otros. Durante la primera fase se comenzó por la instalación de este sistema de EW dentro de la plataforma Linux (Ubuntu), en un ordenador de uso investigativo. Esto no solamente provee información sobre la configuración del programa, además realiza asociaciones en las fases de ondas sísmicas que define cuando ocurre un evento sísmico y genera la solución del evento (localización y magnitud). Nos encontramos analizando los algoritmos respectivos a los módulos de datos que se procesan en la División de Análisis en la RSPR. Estos algoritmos son tratados dentro de una herramienta llamada *Binder*. Esta herramienta se encarga de asociar las fases de sismos locales y regionales. Se utiliza modelos de velocidades sencillos e identifica nuevos arribos con los tiempos de viaje de la Onda P. Una vez se identifique un set de fases, se procede a la asociación y si se cumplen los criterios, entonces se declara un evento nuevo.

ING. PREISER BRUNAT

Amplificación del Movimiento del Suelo en Mayagüez, Puerto Rico e Implicaciones para las Evaluaciones de riesgo sísmico

La investigación del estudiante graduado de Ingeniería Civil, Preiser Brunat, se enfoca en tener una mejor comprensión sobre los peligros sísmicos en la ciudad de Mayagüez. Para esto, se estudiarán los movimientos del suelo usando arreglos temporales de sismómetros con el fin de visualizar fallas activas utilizando métodos sísmicos poco profundos. La Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) y el Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico (PRSMF) colaborarán en este importante estudio con el Servicio Geológico de EEUU (USGS). En donde esperamos determinar cómo se amplifica la onda dependiendo de la composición del suelo. Para este estudio, se utilizarán aproximadamente de 10 a 15 sismómetros que permitirán medir las amplificaciones de las ondas en depósitos sedimentarios poco profundos. O sea, se calculará la respuesta sísmica en el área de estudio para comprender cómo correlacionan los estratos poco profundos con los movimientos del suelo. En el análisis de datos se estará utilizando los programas *TauP Toolkit* y *SAC*. Es posible, que, en áreas con mayor amplificación, el rango en la fuerza de la vibración del suelo sea muy grande. Por lo que la amplificación del suelo en Mayagüez, podría provocar que los daños moderados aumenten a mayores.

GEOL. BRIAN MINKIN***Geologic Evidence for a Puerto Rico Trench Sourced Paleo-Tsunamis: A Case Study from Three Lagoons on Vieques Island, Puerto Rico***

El estudiante graduado de Geología, Brian Minkin, está trabajando bajo la supervisión del Dr. Alberto López, buscando identificar depósitos de tsunamis en lagunas costeras de la isla de Vieques mediante la extracción de muestras de sedimento. Las muestras de sedimentos serán analizadas para correlacionarse con depósitos ya identificados en la isla de Anegada, con el fin de establecer la ocurrencia de tsunamis regionales. El objetivo de este estudio, es definir los mecanismos de fuentes regionales, ayudar en los esfuerzos para el modelaje de depósitos de tsunami en el área y desarrollar mejores mapas de desalojo. Hasta la fecha, se ha llevado a cabo dos viajes al campo para tomar muestras. El primer viaje fue en agosto de 2018, donde se tomaron cinco muestras a lo largo de un solo transecto en Laguna Arenas (noroeste de la isla de Vieques) utilizando una barrena (*Gouge*) a una profundidad de 1 metro. El contenido del barreno consiste de depósitos de sedimentos de manglar con arena de silicato, fragmentos de conchas, y carbonato de algas. El segundo viaje al campo ocurrió en diciembre de 2018 en donde se realizaron cuatro barrenos (2.5 metros de profundidad) en la Laguna el Pobre y en la Laguna Kiani utilizando una barrena (Livingston). Las muestras de arcilla-limosa, provienen de un ambiente de deposición en el cual la profundidad aumentaba continuamente, por lo tanto, es menos probable que hayan sufrido bioturbación por cangrejos, presentes a lo largo del transecto. Los planes futuros incluyen un muestreo continuo en la Reserva del Noroeste de Vieques. Además, se hará barrenos en la Laguna Kiani y en la Laguna Arenas y se tomará muestras de sedimentos de playa. Entre mayo y junio de 2019 se estará realizando el trabajo de laboratorio y el análisis de los datos.

ING. DIEGO F. CLAROS GÓMEZ**Actualización del Mapa de Amenaza Sísmica para Puerto Rico**

A partir de agosto 2018, el estudiante doctoral de Ingeniería Civil, Diego F. Claros Gómez, trabaja con el proyecto **Actualización del Mapa de Amenaza Sísmica para Puerto Rico**. En este periodo, se adelantaron actividades de marco de referencia (bibliografía), para el cual se estudiaron diferentes metodologías utilizadas a nivel mundial. Estas metodologías están asociadas a la probabilidad de ocurrencia de un terremoto y la generación de espectros de respuesta (utilizados para el diseño de las estructuras). El trabajo realizado hasta el momento, ha permitido parcialmente identificar aspectos generales a realizar en el proyecto y un posible alcance. Por otra parte, se identificaron algunas dificultades para llevar a cabo dicho proyecto como lo son: la falta de información para la incorporación de curvas de atenuación en los modelos y la consolidación de catálogos de sismos para una magnitud unificada. Los documentos analizados durante este periodo son: Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009, Proyecto Piloto para Microzonificación Sísmica en Puerto Rico: El Caso de Mayagüez, *A probabilistic approach for determining submarine landslide tsunami hazard along the upper east coast of the U.S.* y *Evaluation of ground motion models for USGS seismic hazard forecasts: Induced and tectonic earthquakes in the Central and Eastern U.S.* Este último, generado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, en el cual se establece una metodología de evaluación en la incertidumbre del análisis probabilístico de riesgo sísmico (*probabilistic seismic hazard analysis* -PSHA), a partir de dos métodos de puntuación probabilística: probabilidad de registro (log likelihood - LLH) y LLH multivariable (multivariate log likelihood - MLLH), implementado en la generación de modelos de movimiento del suelo (Ground Motion Model - GMM) para algunas zonas de los Estados Unidos y que será implementado en Puerto Rico.

GLORYMAR GOMEZ Y JESENIA FIGUEROA

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 la *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA, por sus siglas en inglés) a través del Programa Nacional de Amenaza y Mitigación de Tsunamis (NTHMP, por sus siglas en inglés).

Durante el año 2018, el Programa Educativo de la RSPR ofreció un total de **174 actividades** educativas tanto en nuestras facilidades como en diferentes municipios de Puerto Rico. La RSPR impactó un total de **25,217** personas en comunidades, escuelas públicas, escuelas privadas, iglesias, agencias públicas (estatales y federales), agencias privadas, oficinas de manejo de emergencias, hospitales, convenciones, expos, centros comerciales, entre otros. Igualmente se ofrecieron **120 entrevistas** a través de diferentes medios masivos de difusión pública. 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. La RSPR continuó con el contrato subsidiado por la NOAA 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.

Personal de la RSPR participó activamente de las reuniones *Tsunami Preparedness Campaigns/TsunamiZone.org*, mediante llamada en conferencia, en la cual se provee la oportunidad para que todos los estados y territorios participantes, incluyan y promuevan sus actividades de preparación en caso de tsunami y sus eventos especiales durante la semana de concienciación de tsunamis. Durante el verano, colaboramos activamente con FEMA y el *Federal Alliance for Safe Homes* (FLASH) en los talleres *QuakeSmart*, que se llevaron a cabo en Fajardo y Ponce. Se impactaron más de 300 personas, entre empresarios, personal de manejo de emergencias y personal de agencias estatales y federales. Este programa desarrolla una iniciativa de recuperación para pequeñas empresas y organizaciones en caso de terremotos. La sismóloga, Dra. Elizabeth Vanacore y la coordinadora, Glorymar Gómez, dieron presentaciones sobre la sismicidad en Puerto Rico y los peligros asociados con los terremotos en nuestra Isla.

Se ofreció un taller junto al programa *Tsunami Ready* en el Hospital Pavía de Yauco a profesionales en salud del hogar y hospicio, en cumplimiento con unos requisitos del Departamento de Salud. Igualmente, participamos en la Convención de la Red de Archivos de Puerto Rico (ArchiRed), la cual tiene como propósito el establecer un sistema coordinado de apoyo entre las diversas entidades archivísticas del país. En este evento, la Geol. Gisela Báez presentó la labor de la RSPR en el mantenimiento y preservación de sismogramas históricos y la disponibilidad de colecciones documentales, archivos y fuentes de datos geofísicos accesibles a profesionales y público en general. También, la Sra. Glorymar Gómez, presentó una reconstrucción histórica del Terremoto de 1918, donde reportó sobre el proceso de investigación de las diferentes fuentes históricas e informativas relacionadas al evento de 1918.

El área de Educación también participó con mesas informativas en Casa Segura, Convención Anual de la Asociación de Manejadores de Emergencia y Profesionales de la Seguridad (AMEPS), *Open House* del Recinto Universitario de Mayagüez, actividades del EcoExploratorio, entre otros. Impactamos también a los miembros del Tribunal Federal mediante orientaciones sobre la seguridad en el área de trabajo, planes de emergencias, desalojos por tsunamis, etc. Colaboramos con el Negociado de Manejo de Emergencias en una actividad de orientación para los directores escolares de la Isla y participamos como conferenciantes en la Convención Anual de Consejería de Profesionales.

El mayor proyecto que se llevó a cabo en el año 2018, fue la actividad de Conmemoración del Centenario del Terremoto y Tsunami de 1918 y la exhibición de fotografías y material educativo relacionado a este evento, en galerías y museos en siete municipios. La actividad conmemorativa del centenario se llevó a cabo junto al Municipio de Mayagüez, donde se desarrolló una tarja conmemorativa permanente en la Bahía de Mayagüez (Figura 27), en homenaje a las víctimas del terremoto y tsunami de 1918 y también a los sobrevivientes. En esta actividad participaron personalidades del gobierno, municipios, el Negociado de Manejo de Emergencias, escuelas, agencias estatales y federales y público en general. Para la promoción de estos eventos se preparó *brochures*, pautas radiales,

entrevistas televisivas y radiales, página de *Facebook*, tarjetas promocionales, entre otros. En el mes de diciembre, presentamos en la actividad anual de la *American Geological Union*, el poster *Curating a Museum Collection on the 1918 Puerto Rico Earthquake and Tsunami: Using Art and History for Education and Outreach* donde se expuso el proceso de selección del material y los métodos utilizados para la restauración de las fotos expuestas en la exhibición.

Figura 32. Develación de la tarja (en Mayagüez) en la Conmemoración del Centenario del Terremoto y Tsunami del 1918 (RSPR-UPRM).



Programa

TsunamiReady

ROY RUIZ Vélez

El programa *TsunamiReady*® es un componente del “*National Tsunami Hazard Mitigation Program*” (NTHMP). El mismo, es un esfuerzo nacional del Servicio Nacional de Meteorología (NOAA), coordinado para documentar la amenaza real de tsunamis en 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 (Figura 33). Para el 2018, doce (12) municipios renovaron su reconocimiento (Tabla 3) como parte del programa *TsunamiReady* del Servicio Nacional de Meteorología (SNM).

En Puerto Rico, 43 municipios costeros y 2 no costeros (Bayamón y Canóvanas) mantienen su reconocimiento y han adoptado las guías del programa *TsunamiReady* como la base para preparar sus planes de respuesta ante eventos de tsunami. Los municipios dentro del programa cuentan con puntos focales de aviso 24/7 y sistemas para recibir y diseminar las alertas de tsunami. La RSPR apoya a los municipios a mantener su reconocimiento; (1) proveyendo talleres y materiales educativos a los manejadores de emergencia; (2) reforzando los puntos focales de aviso con sistemas para recibir las alertas de tsunami; (3) proveyendo apoyo técnico en el desarrollo y revisión de los planes de respuesta a tsunami; (4) desarrollando material educativo y manuales. Durante el 2018 varios municipios recibieron apoyo para su renovación *TsunamiReady* dado que dicho reconocimiento es otorgado por el SNM por espacio de tres años. A estos municipios se les entregaron mapas de desalojo y letreros (para reponer los perdidos o dañados, por los huracanes Irma y María). Desafortunadamente, uno de los municipios perdió su reconocimiento durante este año. Actualmente se trabaja para que obtenga su reconocimiento nuevamente.

Este año, se incorporaron dos nuevas entidades bajo el programa *TsunamiReady Supporters*. Este programa busca reconocer a entidades privadas, agencias de gobierno y oficinas, que se preparan con planes de respuesta ante tsunamis, sistemas para recibir y diseminar las alertas, practican su ruta de desalojo y adiestran su personal sobre cómo responder ante un tsunami. Además de, cómo responde a tsunamis para salvar las vidas de la población a quienes brindan servicio. Estas entidades están mejor preparadas para que de manera independiente, puedan responder a la emergencia. Este reconocimiento lo otorga el SNM por un periodo de 5 años. Este año fueron reconocidos el Hogar San Francisco de Asís en Aguada y el Tribunal Supremo de Puerto Rico en San Juan. Actualmente, Puerto Rico cuenta con un total de 8 entidades *TsunamiReady Supporters*. Siendo uno de los territorios con mayor cantidad de *TsunamiReady Supporters* en el programa *NTHMP* y el primero en tener su tribunal supremo, un centro de salud y un supermercado como reconocidos.

Como parte del trabajo educativo del programa *TsunamiReady* se ofrecieron varios talleres durante el año con el fin de impactar diversos sectores de la comunidad (incluyendo manejadores de emergencia). En el mes de febrero se ofreció un taller sobre preparación ante tsunamis para la Comunidad Marítima. Se ofreció a diversos oficiales regionales de FURA (Fuerza Unida de Rápido Acción), perteneciente al Negociado de la Policía de Puerto Rico. Este taller se llevó a cabo en la Universidad del Este (UNE) en Cabo Rojo y participaron sobre 25 oficiales. Durante el mes de mayo, en la Convención Anual del Negociado de Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (NMEAD), se ofreció un taller (de todo un día) a más de 50 directores de escuelas dentro de las zonas expuestas a tsunamis. El mismo se celebró en el Hotel Intercontinental de San Juan. En este taller se orientó a los participantes sobre cómo desarrollar los planes de respuesta a tsunamis de sus escuelas y se les entregó copia del Currículo de Tsunami (a cada maestro) de acuerdo al nivel educativo que enseñaban.

Durante el mes de agosto se ofreció el Taller de Operadores 2018. Se llevaron a cabo dos (2) secciones del taller en dos zonas de Puerto Rico (Bayamón y Coamo), dirigido al personal de manejo de emergencia y despachadores que laboran en los puntos focales de aviso 24/7. Este personal tendría que atender la emergencia en caso de activarse el protocolo de tsunami para Puerto Rico. El taller contó con una participación de aproximadamente 119 manejadores de emergencias.

La RSPR y su Programa de Tsunamis, participó de vistas de la Cámara de Representantes de Puerto Rico (Figura 30) y el Senado de Puerto Rico (Figura 31). Una de estas vistas se llevó a cabo en las facilidades de la RSPR y participaron miembros de la academia, manejo de emergencias estatal y municipal, así como personal de nuestra oficina y de la Comisión de Desarrollo del Oeste. En la misma, se discutieron diferentes iniciativas que ayuden a continuar creando conciencia sobre preparación y educación en tsunamis y terremotos en Puerto Rico. En nuestro esfuerzo por continuar aportando herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la preparación de nuestras comunidades, se extendió el proyecto de mapas de tiempo de desalojo a pie (conocido como *Pedestrian Evacuation Analysis* en inglés), desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos. Este proyecto comenzó en el 2015 desarrollando el primer modelo de desalojo a pie utilizando los sistemas de información geográfica (SIG). Se inició con la zona de desalojo de Mayagüez como proyecto piloto. Este modelo arrojó resultados muy interesantes que ayudaron a evaluar los tiempos de desalojo de nuestras comunidades costeras. Durante el 2016, se extendió el proyecto a 3 municipios adicionales (Aguadilla, Ponce y Arecibo) permitiendo mejorar la metodología y refinar este nuevo concepto de análisis en Puerto Rico. Durante el 2017, se incluyeron 2 municipios adicionales (Aguada y Rincón) con miras de completar toda el área oeste, próximamente. Ahora en el 2018, se incluyeron tres municipios adicionales: Aguada, Rincón y Loíza. Todos los datos de este análisis, y demás información sobre tsunamis, se puede acceder en un mapa interactivo a través de nuestro portal de internet <http://redsismica.uprm.edu/tsunamiready>.

Otra de las áreas que el Programa de Tsunamis estuvo trabajando de lleno en el 2018 fue la comunidad marítima. Esta comunidad se vería grandemente afectada en caso de un aviso o de una advertencia de tsunami para Puerto Rico. Con el fin de brindar educación y herramientas de preparación se desarrolló un taller intensivo para dicha comunidad y una guía de preparación ante tsunamis. Para este taller se desarrolló la Guía de Preparación para la Comunidad Marítima y Portuaria de Puerto Rico. Dicha guía puede ser descargada de nuestro portal de internet. Este año, trabajamos en la traducción al inglés de esta guía, con el fin de alcanzar a las agencias federales que trabajan con esta comunidad.

El 20 de septiembre de 2018 será un día que quedará grabado en la mente de los puertorriqueños debido al impacto en Puerto Rico del Huracán María. La infraestructura de tsunamis sufrió grandes daños a lo largo de la isla, incluyendo las sirenas fijas de los municipios, las antenas de comunicación, las antenas satelitales del sistema EMWIN y los letreros, entre otros. Los letreros cumplen una función educativa y de salvar vidas, pues identifican las zonas de peligro, las rutas de desalojo y los lugares de asamblea. Las guías del programa nacional de tsunamis NTHMP exigen que las rutas de desalojo estén rotuladas. Luego del paso del Huracán mucho de los letreros de tsunami sufrieron daños. Para eso, la RSPR ha comenzado un inventario con el fin de identificar los letreros perdidos

y reponer los mismos. Durante el 2018, se continuó este inventario completando 29 municipios. Se han podido inventariar cerca de 1,200 letreros utilizando un aparato celular y un sistema de información geográfica (SIG).

Este año trabajamos muy de cerca con el municipio de Loíza. Este municipio es uno de los más vulnerables ya que el 77% de su población (23,111 residentes según el CENSO 2010) viven dentro de las zonas expuestas a tsunamis, esto sumado a los miles de personas que visitan las playas y lugares turísticos durante todo el año. A tales fines, nos propusimos desarrollar un modelo pedestre para calcular los tiempos de desalojo. Este estudio arrojó tiempos entre las 1.5 y 3.5 horas, que tomará desalojar varias comunidades. Otro dato importante es que, dentro de la zona, existen 8 escuelas que se verían afectadas. El municipio no cuenta con edificios lo suficientemente altos para desalojo vertical y su sistema de sirenas fue destruido por el Huracán María. Ante este panorama, el Programa de Tsunami estuvo trabajando diferentes iniciativas, entre estas la creación de mapas de desalojo comunitarios, (únicos en Puerto Rico). Dichos mapas incluyen los tiempos de desalojo y la dirección del desalojo a lo largo de las rutas establecidas. También se lograron acuerdos con los municipios vecinos para acoger a los residentes. Se realizaron varias reuniones, con personal importante, que ayudarán a continuar el trabajo de preparación y mitigación ante tsunamis en el municipio de Loíza. Como parte de las iniciativas, la oficina de manejo de emergencia de Loíza se propone organizar una bicicletada con el fin de practicar las rutas de desalojo (ya que este medio de transporte es bien común en su área). De llevarse a cabo esta actividad sería la primera vez en Puerto Rico.

La actividad de mayor relevancia para el Programa de Tsunamis de la RSPR, durante el año 2018, fue sin duda el desalojo masivo de dos comunidades como parte del ejercicio de tsunamis Caribe Wave 2018. El ejercicio de desalojo denominado “Camina tu Ruta de Desalojo con el Caribe Wave” contó con la participación de unas 500 personas, incluyendo: la Escuela Elemental Segundo Ruiz Belvis, tres centros de *Head Start*, personal administrativo de la Fundación Mayagüez 2010, personal de FEMA, y residentes de las comunidades Ramírez de Arellano y San José, entre otros. Cerca de 10 agencias y oficinas trabajaron durante la actividad incluyendo personal de la oficina nacional de manejo de emergencia de Honduras (COPECO), quienes participaron como observadores del evento.

Durante el próximo año se espera continuar apoyando con las renovaciones de municipio, ampliar el programa para incluir facilidades que quieran apoyar como *TsunamiReady Supporters* (incluyendo agencias gubernamentales). Se continúa trabajando para mantener a Puerto Rico como modelo a seguir, dentro del programa *TsunamiReady*, a nivel nacional y mundial.

Municipio	Fecha de Renovación	Tipo
Dorado	03/05/18	2da Renovación
Quebradillas	07/06/18	2da Renovación
Guayanilla	22/06/18	2da Renovación
Lajas	22/06/18	3ra Renovación
San Juan	26/06/18	1ra Renovación
Carolina	31/08/18	3ra Renovación
Toa Baja	07/09/18	2da Renovación
Loíza	23/10/18	1ra Renovación
Peñuelas	02/11/18	2da Renovación
Guánica	02/11/18	2da Renovación
Guayama	08/11/18	2da Renovación
Juana Díaz	08/11/18	2da Renovación

Tabla 3. Municipios que renuevan su reconocimiento como *TsunamiReady* en el 2018 (RSPR-UPRM).



Figura 33. Actividades del Programa *TsunamiReady* de la RSPR durante el 2018 (RSPR-UPRM).

ÁNGEL J. FELICIANO, HANIEL CORDERO NIEVES Y GISELA BÁEZ-SÁNCHEZ

La División de Cómputos y Sistemas de Información está encargada del diseño, desarrollo, análisis, monitoreo y mantenimiento de los sistemas de cómputos e información (incluyendo la página de internet) de la RSPR. Estos sistemas son parte importante durante la respuesta a terremotos y tsunamis, así como el monitoreo rutinario de los datos geofísicos. El servicio esencial lo brindamos a la División de Análisis y Procesamiento de Datos Geofísicos. Estos 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 el portal de internet 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 ([redsismicadepuertorico](https://www.facebook.com/redsismicadepuertorico)) y twitter ([@redsismica](https://twitter.com/redsismica)). También se distribuye información y contenido por la red social Youtube ([@redsismicapr](https://www.youtube.com/@redsismicapr)).

Durante el 2018, el impacto al público y la comunidad local e internacional a través la página de internet oficial de la RSPR lo podemos observar en las estadísticas anuales (Figuras 34 y 35). Este año tuvimos más de 664,715 visitas a nuestros servidores de internet con sobre 8.4 millones de páginas vistas. El total de la transferencia de datos de nuestros servidores de internet a los usuarios fue de 2.14 Terabytes. Puerto Rico y Estados Unidos fueron los 2 países que más visitaron nuestra página oficial de internet en el 2018. Los meses de mayor visita a nuestro portal de internet fueron enero y agosto (Figura 34). Este comportamiento podría estar relacionado al terremoto ocurrido el 10 de enero, el cual tuvo una magnitud de 7.6 Mww y activó por primera vez una Advertencia de Tsunami para Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Por otra parte, en el mes de agosto la RSPR procesó un total de 3 eventos sentidos y un enjambre sísmico localizado al Suroeste de Puerto Rico.

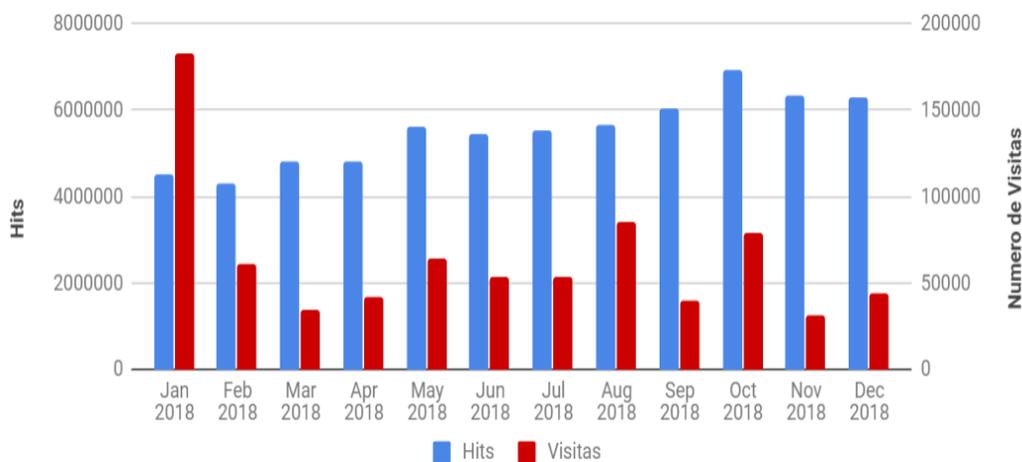
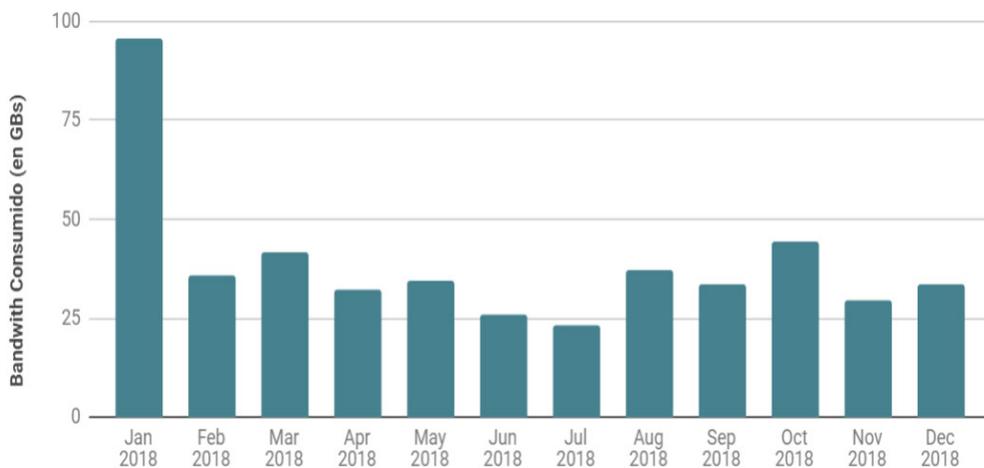


Figura 34. Gráfica mostrando Hits y número de visitas al nodo principal de internet de la RSPR para el 2018. Nota: El total para el año, utiliza los 5 nodos de acceso para la página de la RSPR (RSPR-UPRM).

Figura 35. Gráfica mostrando el ancho de banda utilizado para el 2018 en el nodo principal de internet de la RSPR. Nota: El total para el año utiliza los 5 nodos de acceso para la página de la RSPR (RSPR-UPRM).



Distribución de Fondos

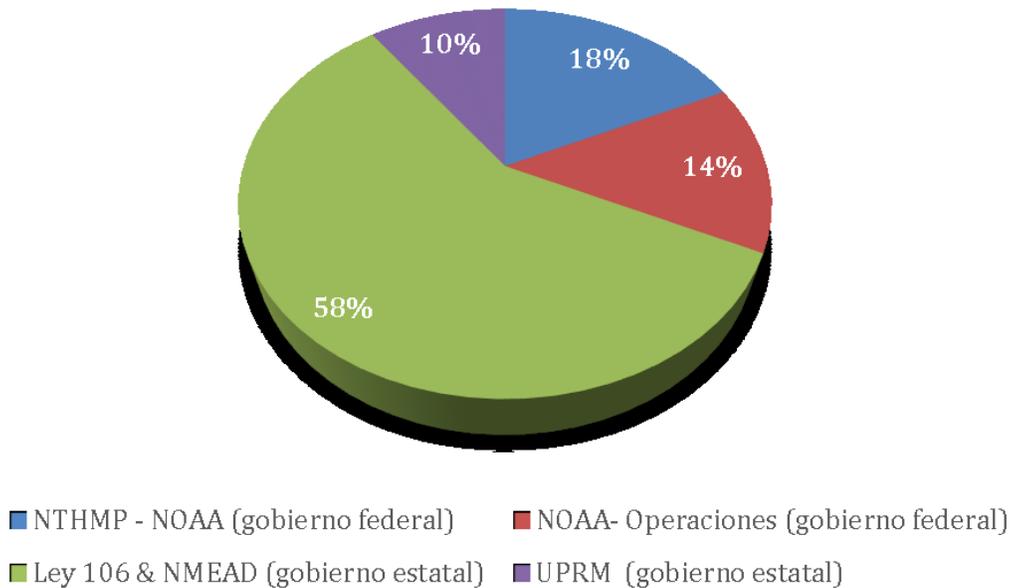


Figura 36. Distribución de fondos asignados a la Red Sísmica de Puerto Rico por agencias estatales y federales para el año 2018 (RSPR-UPRM).

INSTALACIONES DE EQUIPO Y SERVICIOS:

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

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

Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE)

United States Fish and Wildlife (USFW)

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

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

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

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

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

El Obispado, Iglesia Católica de Ponce

Colegio Católico San Antonio Abad de Humacao

County Day School of Saint Croix

Convento Hermanas Misionera del Buen Pastor, Guaynabo

Department of Disaster Management (DDM, British Virgin Islands)

Oficina de Meteorología de Aruba

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

- Centro de Investigaciones Sísmicas, Universidad de las Indias Occidentales (Trinidad y Tobago)
- National Earthquake Information Center (NEIC, USGS)
- Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS, EE.UU)
- Lamont- Doherty Earth Observatory (EE.UU)
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)
- Observatorio GEOSCOPE (Francia)
- Observatorio GEOFON (Alemania)
- International Deployment of Accelerometers (Universidad de California, Recinto de San Diego)
- Centro Nacional de Sismología, Universidad Autónoma de Santo Domingo (República Dominicana)
- Instituto Meteorológico de los Países Bajos
- Observatorio Volcanológico y Sismológico de Guadalupe y Martinica (Antillas Francesas)
- Red Sísmica de las Islas Caimán
- Red Sísmica Nacional de Jamaica

- Red Sísmica Nacional de Colombia (Instituto Colombiano de Geología y Minería)
- Departamento Meteorología de Aruba
- Observatorio Volcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica
- Red Sísmica Nacional, Universidad de Costa Rica
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador
- Servicio Sismológico Nacional de México
- Universidad de Colima (México)
- Universidad Nacional Autónoma de México, Recinto de Querétaro
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua)
- Red Sísmica del Volcán Barú (Chiriquí, Panamá)
- Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá
- Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Venezuela)
- Departamento de Recursos Naturales de Canadá (Red de Haití)
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cuba)
- Centro de Sismología, Universidad de Sao Paulo (Brazil)
- Negociado de Minas, Haití

INFORME ANUAL 2018

EDICIÓN GENERAL

Francis Pérez Ramos

Gisela Báez- Sánchez

DISEÑO GRÁFICO

Benjamín Colón Rodríguez

EDITORES

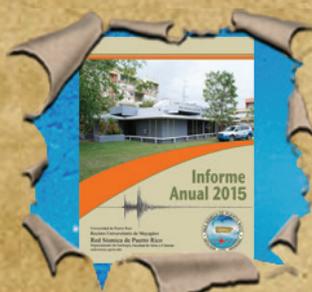
Benjamín Colón Rodríguez

Wilnelly A. Ventura Valentín

Yanira Santiago Pérez

Dalixza Irizarry Martínez

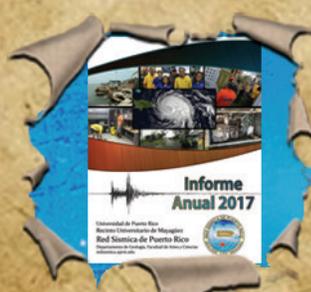
Yamilette Vargas Rivera



2015



2016



2017

Derechos Reservados © 2018

El Informe Anual es una publicación de la Red Sísmica de Puerto Rico. Figuras, mapas y fotos con derechos reservados. Aprobado por el director interino Dr. Víctor Huérfano Moreno.

Personal RSPR

42



Administración e Investigación

Dr. Víctor Huérfano Moreno	Director y Profesor Investigador
Dr. Alberto López Venegas	Catedrático Asociado (Geología)
Dra. Elizabeth A. Vanacore	Profesora e Investigadora Asoc.
Yamilette Vargas Rivera	Asistente Administrativa III
Dalixza Irizarry Martínez	Asistente Administrativa III
Annie M. Plaza Rodríguez	Recepcionista
Amalia M. Molina Plaza	Estudiante Subgraduado
Carlos G. Andrade	Estudiante Subgraduado
Daviela Peguero Beltré	Estudiante Subgraduado
Andrea Rodríguez Rivera	Estudiante Subgraduado
Xiomara C. Herrera Avilés	Estudiante Graduada
Ivelisse Ramos López	Estudiante Graduada
Jorge Ortega Santiago	Estudiante Graduado
Diana Álvarez Vargas	Estudiante Graduada

Análisis de Datos Geofísicos

Gisela Báez Sánchez	Auxiliar de Investigaciones III
Benjamín Colón Rodríguez	Auxiliar de Investigaciones II
María Torres Vega	Auxiliar de Investigaciones II
Javier Charón Ramírez	Auxiliar de Investigaciones II
Francis Pérez Ramos	Auxiliar de Investigaciones II
José F. Martínez Colón	Auxiliar de Investigaciones II
José M. Rivera Torres	Auxiliar de Investigaciones I
Ángel Alicea León	Auxiliar de Investigaciones I
Josean Barbosa Toro	Auxiliar de Investigaciones I
Viridis Miranda Berrocales	Auxiliar de Investigaciones I
Garymar De Rivera Rivera	Auxiliar de Investigaciones I
Ricardo Méndez Yulfo	Auxiliar de Investigaciones I
Javier Romeu Torres	Estudiantes Subgraduado
Rocío Cáliz Padilla	Estudiante Subgraduado
Edwin Burgos Rossy	Estudiantes Subgraduado
Wilnelly A. Ventura Valentín	Estudiante Subgraduado
Edwin Irizarry Brugman	Estudiante Subgraduado
Jonathan Pérez Paulino	Estudiante Subgraduado
Gabriela Rodríguez Acevedo	Estudiante Subgraduado
Sandra Rosero Rueda	Estudiante Graduada
Diego Claro Gómez	Estudiante Graduado
Brian Minkin	Estudiante Graduado
Preiser Brunat	Estudiante Graduado
Yanira Santiago Pérez	Estudiante Graduado

Instrumentación

Juan B. Lugo Toro	Especialista en Inst. Científica
José Cancel Casiano	Especialista en Inst. Científica
Javier Santiago Acevedo	Especialista en Inst. Científica
Celestino Lucena Cabassa	Trabajador

Computación y Telecomunicaciones

Ángel Feliciano Ortega	Especialista en Computación y Telecomunicaciones
Haniel Cordero Nieves	Diseñador de Página de Internet
Christopher Rodríguez	Estudiante Subgraduado
Bryan Muñoz Vázquez	Estudiante Subgraduado
Marcos Santiago Maya	Estudiante Subgraduado
George Pérez Marrero	Estudiante Subgraduado
Jonathan J. Rosado Class	Estudiante Subgraduado
Jonathan Rey Román	Estudiante Subgraduado
Peggy González Ojeda	Estudiante Subgraduado
Wilfredo Acosta	Estudiante Subgraduado
Abedullah A. Abuellouf	Estudiante Subgraduado
Kevin Cubero Horner	Estudiante Subgraduado

Programa Educativo y Tsunami Ready

Glorymar Gómez Pérez	Oficial de Programas II
Wildaomaris González Ruiz	Oficial de Programas I
Roy Ruiz Vélez	Asociado de Investigación
Jesenia Figueroa Nieves	Oficial de Programas I
Alejandro Torres Padilla	Estudiante Subgraduado
Vianca Severino Rivas	Estudiante Subgraduado
Gynelle González Nieves	Estudiante Subgraduado
Emily Silva Brenes	Estudiante Subgraduado
Julie Ramírez Rivera	Estudiante Subgraduado
Raquel Lugo	Estudiante Subgraduado
Cherymar Reyes Álvarez	Estudiante Graduada
Víctor Flores Hots	Estudiante Graduado



Niveles de Alerta de Tsunami para Puerto Rico e Islas Vírgenes



- ¡Peligro!
- ¡Corra a tierras altas!
- Siga las instrucciones de emergencia

Aviso

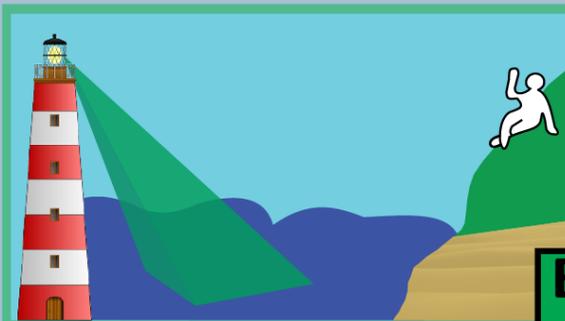
Advertencia

- Posibles corrientes locales fuertes y peligrosas
- Salga de la playa, puertos y marinas
- Esté pendiente para información oficial



- En esta área, se desconoce el impacto esperado de tsunami
- Permanezca alerta para más información oficial

Vigilancia



- Un temblor ha ocurrido, no se ha emitido aviso, advertencia o vigilancia

Boletín Informativo





Tsunami Messages for Puerto Rico and the Virgin Islands



- Danger!
- Run to high ground!
- Follow Emergency Instructions

Warning

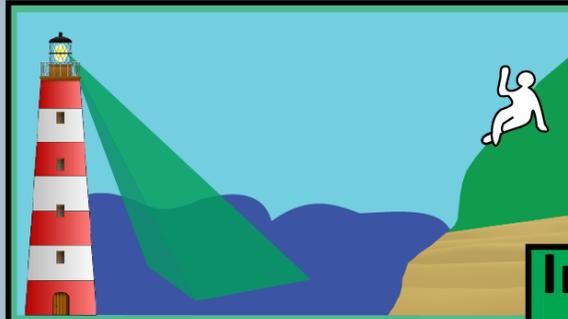
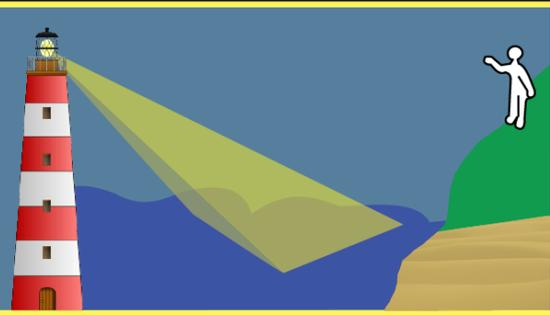
Advisory

- Possible strong and dangerous local currents
- Move off the beach and out of harbors and marinas
- Stay tuned for official emergency guidance



- Expected tsunami impact is unknown for this area
- Stay tuned for more official information

Watch



- An earthquake has occurred, no warning, advisory or watch has been issued

Information Statement





Dirección Postal

Red Sísmica de Puerto Rico

Departamento de Geología

Recinto de Mayagüez

Universidad de Puerto Rico, Call Box 9000,

Mayagüez, Puerto Rico, 00681-9000

E-mail: staff@prsnmail.uprm.edu

Teléfono: 787-833-8433