

DESARROLLO DE UNA RED GEOFÍSICA Y GEODÉSICA NACIONAL EN URUGUAY

DEVELOPMENT OF GEOPHYSICAL AND GEODETIC NETWORK IN URUGUAY

Sánchez Bettucci, L.¹; Suárez, N.²; Campal, N.³; Curbelo, A.¹; Latorres, E.¹; Rodríguez, M.¹; Castro, H.¹; Loureiro, J.³; Arduin, F.¹; Faraone, M.³; Pascale, A.³; Abelenda, E.³; Saltorio, J.³; Lefebvre, R.³

¹ Observatorio Geofísico del Uruguay, Universidad de la República. leda@fcien.edu.uy

² Servicio Geográfico Militar, Ministerio de Defensa Nacional

³ Dirección Nacional de Minería y Geología, Ministerio de Industria Energía y Minería

RESUMEN

La instalación de una red de instrumentación sísmica en Uruguay, fue iniciada en el año 2013 por el Observatorio Geofísico del Uruguay (OGU) y ha generado un avance significativo en el conocimiento de la sismicidad en nuestro país. Durante los últimos cuatro años, el número de sensores sísmicos en funcionamiento ha aumentado sustancialmente, de uno a once. Cuatro de estos sensores son sismómetros de banda ancha de 120 segundos (tres de marca Nanometrics y uno marca Guralp) y los siete restantes son acelerómetros (Guralp). Los datos son gestionados a través del software Seiscomp3, y los sensores son monitoreados en tiempo real mediante el uso de Internet 3G. La distribución espacial de las estaciones cubre la mayor parte del país, y todas excepto la estación OGAUY, se encuentran junto a estaciones permanentes de la red GPS del Servicio Geográfico Militar (SGM). El OGU, en colaboración con el Sistema Nacional de Emergencias (SINAE) y otras autoridades nacionales, trabaja para aportar información con premura ante cualquier emergencia relacionada a eventos sísmicos. Los objetivos actuales son: mejorar la calidad de los datos; aumentar la densidad de sensores de la red añadiendo nuevas estaciones y reducir el tiempo de procesamiento incorporando herramientas para la automatización del pre-procesamiento y el manejo de datos. Esta estrategia debería mejorar en gran medida el rendimiento de la red en los próximos años.

Palabras clave: Sismología, Observatorio Geofísico del Uruguay, Red Geodésica, Uruguay.

ABSTRACT

The installation of a new seismic instrumentation network in Uruguay was initiated at 2013 by the Geophysical Observatory of Uruguay (OGU) and has caused a significant progress in the knowledge of the seismicity in our country. During the last four years, the number of seismic sensors in operation has increased substantially from one to nine. Four of these sensors are 120 seconds broadband seismometers (three Nanometrics and one Guralp) and the remaining seven are accelerometers (Guralp). The data is managed through Seiscomp3 software, and the sensors are monitored in real time using 3G internet. The spatial distribution of the stations covers most of the country, and all of them except the station OGAUY, are installed next to permanent stations from the GPS network of the Geographic Military Survey (SGM). The OGU, in collaboration with Civil Defense (Sistema Nacional de Emergencias, SINAE) and other national authorities, works to react promptly to any emergency related with this kind of events. The current objectives are: improve data quality; increase the sensor density of the network by adding new stations and reduce processing time incorporating automation tools for data management and pre-processing. This strategy should greatly improve the network performance in the next years.

Key words: Seismology, Observatorio Geofísico del Uruguay, Geodesic Network, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

Las principales unidades tectónicas precámbricas de Uruguay incluyen a los terrenos tectonoestratigráficos de Piedra Alta (PATT) y Nico Pérez (NPTT) (FIGURA 1), separados por la zona de cizalla de Sarandí del Yí. Ambas unidades tectónicas están bien expuestas en el cratón del Río de La Plata y son geográficamente pequeñas (SÁNCHEZ BETTUCCI et al. 2010). El PATT está constituido por cinturones metamórficos de bajo a medio grado (ca. 2,1 Ga), un complejo máfico débilmente estratificado, magmatismo tardío a post-orogénico (1,9-2,3 Ga), granitos tipo A (2,08 Ga) y finalmente un enjambre de diques máficos (1,78 Ga). El NPTT consta de secuencias metamórficas de alto grado de edades Paleoproterozoicas (ca. 2,2 Ga) afectadas por el evento orogénico Brasiliano – PanAfricano (Cinturón Dom Feliciano, DFB), expuesto en la porción oriental del Uruguay y sur de Brasil (FIGURA 1), desarrollado entre los 750-550 Ma aproximadamente (SÁNCHEZ BETTUCCI et al. 2010). El Fanerozoico está representado por la Cuenca del Paraná cuya frontera oriental corresponde a una región de corteza intensamente afectada por el rifting del Atlántico Sur. El registro sedimentario paleozoico abarca desde el Devónico Inferior al Pérmico superior (VEROSLAVSKY et al. 2006; de SANTA ANA & VEROSLAVSKY 2003; de SANTA ANA et al. 2006). Este evento tensional importante se relaciona con la ruptura de Pangea a mediados del Triásico y está representado por el magmatismo cretácico relacionado con la provincia de Paraná-Etendeka. También, asociado a este gran evento mesozoico, en el Sur y Este del Uruguay, en sentido E-NE, se desarrollan las cuencas de Santa Lucía y Laguna Merín (FIGURA 1). En Uruguay, no se han realizado estudios neotectónicos, pero existen algunas evidencias. Estudios en Brasil sugieren que durante el Eoceno-Oligoceno se produjeron deformaciones tectónicas relacionadas con la orogenia andina (BEZERRA & VITA-FINZI 2000). Hasui (1990) sugirió que la edad máxima de las deformaciones neotectónicas en Brasil es Oligocena y que corresponde a los últimos impulsos extensionales de la apertura del Atlántico Sur. Sin embargo, la profundidad a la que se localizan las unidades Cenozoicas sugiere un hundimiento dominante en la parte oriental mientras que en la región occidental domina la elevación. Los datos históricos de sismicidad en Uruguay y en la cuenca del Plata muestran al menos 14 eventos sísmicos sentidos por la población

desde el 1800. Entre ellos se destacan los eventos de 1848, 1884, 1888 (BENAVIDEZ 1998) 1948, 1988 y 1990. El primero fue percibido por la población en la zona de la costa Este del país, mientras que el evento de 1888 fue percibido en todo el país y en Provincia de Buenos Aires. Cabe destacar que este evento produjo además un seiche (onda estacionaria que afectó al estuario del Plata por tratarse de un cuerpo de agua parcialmente cerrado). El sismo de 1884 fue acompañado por un pequeño tsunami y fallecimientos relacionados fueron reportados en una breve nota en NATURE (1884). El evento de 1948 fue percibido en las cercanías de la triple frontera entre Uruguay, Brasil y Argentina. Estudios posteriores al evento sugieren que pudo haber tenido una magnitud local cercana a 5 (BRUNETTO & ALVARADO 2017). El primer evento sísmico registrado de forma instrumental en territorio uruguayo ocurrió en 1988 (ASSUMPÇÃO 1998) en la plataforma continental uruguaya (Lat. -36.27, Long. -52.73) con una magnitud mb de 5.2 y profundidad hipocentral de 17.7km. El sismo de 1990 también fue registrado instrumentalmente por el Centro de Sismología de la Universidad de San Pablo cuya magnitud local de 2, 8. Más recientemente, en el año 2016 dos eventos fueron percibidos por una parte de la población en Montevideo los días 23 de Marzo y 24 de noviembre. El evento del 26 de marzo fue registrado instrumentalmente aunque no se pudo determinar los distintos parámetros correctamente debido a la falta de estaciones sismológicas. El segundo fue registrado en siete estaciones (dos de ellas de Brasil). La zona epicentral fue determinada al norte de la ciudad de Las Piedras y presentó una magnitud regional de 3 (CASTRO et. al. 2017; CURBELO et. al. 2017). En Uruguay se han reconocido estructuras con desplazamiento horizontal y fallamiento inverso de escasa extensión. Basado en el conocimiento geológico y en eventos sísmicos históricos y recientes podemos sugerir que algunas reactivaciones de fallas precámbricas y mesozoicas podrían ser los responsables de los eventos antes mencionados. Nuestra sismicidad se caracteriza por ser baja a moderada, sin embargo, es capaz de causar daños significativos en los centros urbanos, particularmente en Montevideo donde se ubica la mayor concentración de población del país. El Observatorio Geofísico del Uruguay (OGU) gestiona la red sísmica nacional, la cual está constituida actualmente por cuatro sismómetros de banda ancha (Nanometrics) y siete acelerómetros (Guralp) de la Dirección

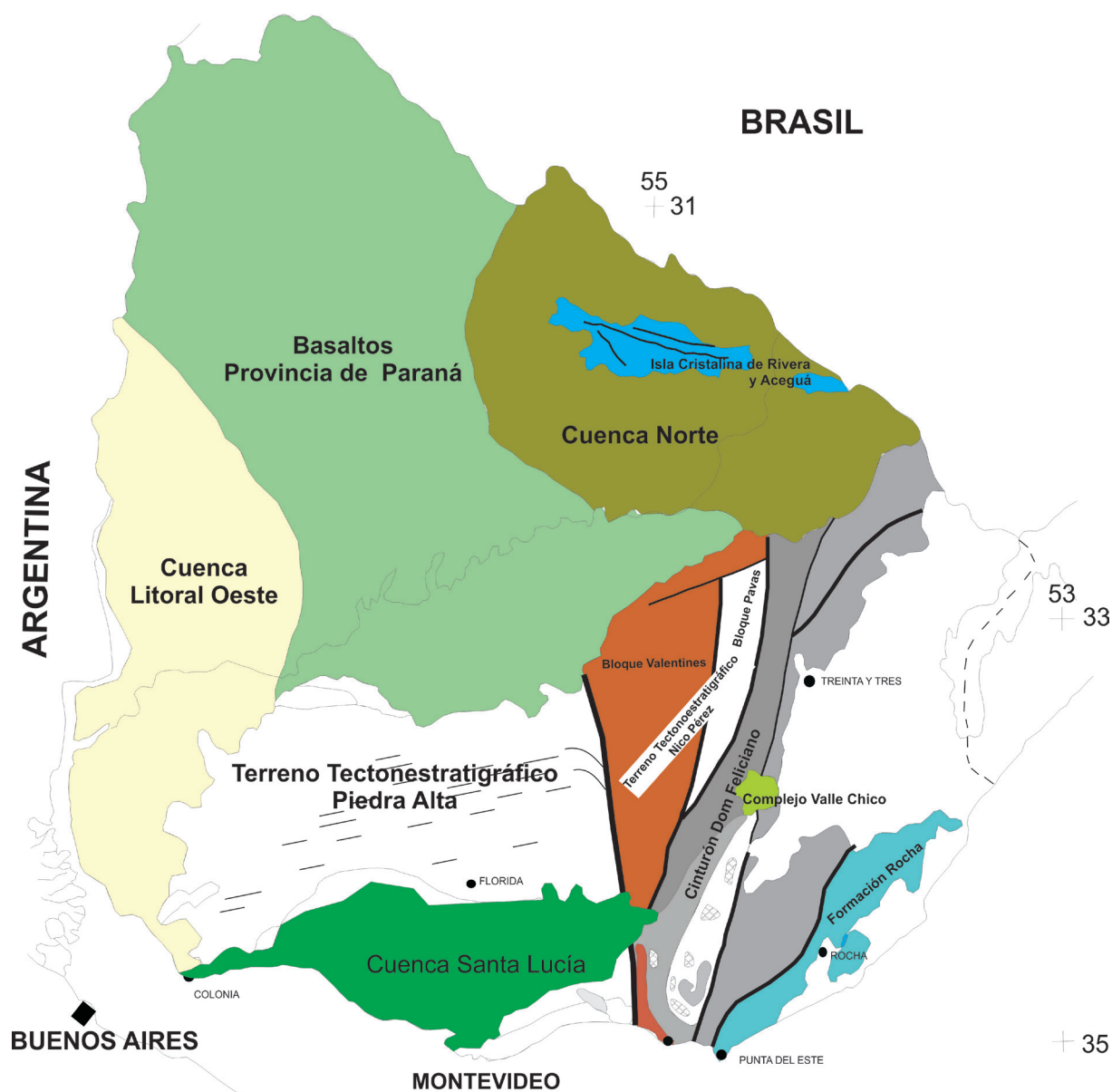


FIGURA 1. Esquema geológico del Uruguay.
FIGURE 1. Geological sketch of Uruguay.

Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE-MIEM) y se espera que a la brevedad forme parte del Sistema Nacional de Observaciones Geofísicas y Geodésicas (SNOGG-UY) propuesto por el Gobierno del Uruguay.

HISTORIA DE LA RED SÍSMICA DE URUGUAY Y CONFIGURACIÓN DE LA RED

El Observatorio Geofísico del Uruguay instaló la primera estación sísmica en la localidad de Aiguá en el año 2013 con el objetivo de registrar y localizar terremotos locales y proporcionar datos a servicios internacionales sobre eventos telesísmicos. También en este lugar se instalaron dos magnetómetros, un riómetro y una cámara todo cielo. En junio de 2016 el número de

estaciones de monitoreo sísmico aumentó a cinco y en 2017 a ocho (FIGURA 2), constituida por acelerómetros y sismómetros banda ancha. Tres estaciones sismológicas están equipadas con un sismómetro de banda ancha y un acelerómetro colocados a una profundidad de 20 - 90 cm (según las condiciones geológicas del sitio). Dos de los cuatro sismómetros fueron instalados en el marco del proyecto Tres Cuencas -Pantanal-Chaco-Paraná- (PCPB): Estructura y evolución sísmica de la corteza y del manto superior (Fundação de Amparo à Pesquisa del Estado de São Paulo-FAPESP, Brasil). Estos sismómetros triaxiales -Trillium 120QA Nanometrics-, registran a 100 muestras por segundo (sps). Los sensores están conectados con un digitalizador Centaur

DESARROLLO DE UNA RED GEOFÍSICA Y GEODÉSICA NACIONAL EN URUGUAY

CTR-3. El tercer sismómetro, instalado al este de Montevideo consiste en un Nanometrics Trillium compact y también está conectado a un digitalizador Centaur CTR-3. Todos los acelerómetros son marca Guralp -CMG-5TD- y registran a 200 sps. El acelerómetro Guralp CMG-5TD ha demostrado que puede producir registros valiosos de eventos pequeños dentro de una región epicentral cercana.

un protocolo general para la instalación de estaciones sismológicas siguiendo sugerencias internacionales pero teniendo en cuenta las condiciones geológicas, hidrogeológicas y meteorológicas del Uruguay. La instalación previa (configuraciones tipo barril) resultó infructuosa para las estaciones permanentes debido a la humedad y las condiciones hidrogeológicas del país. Así, a los sensores se

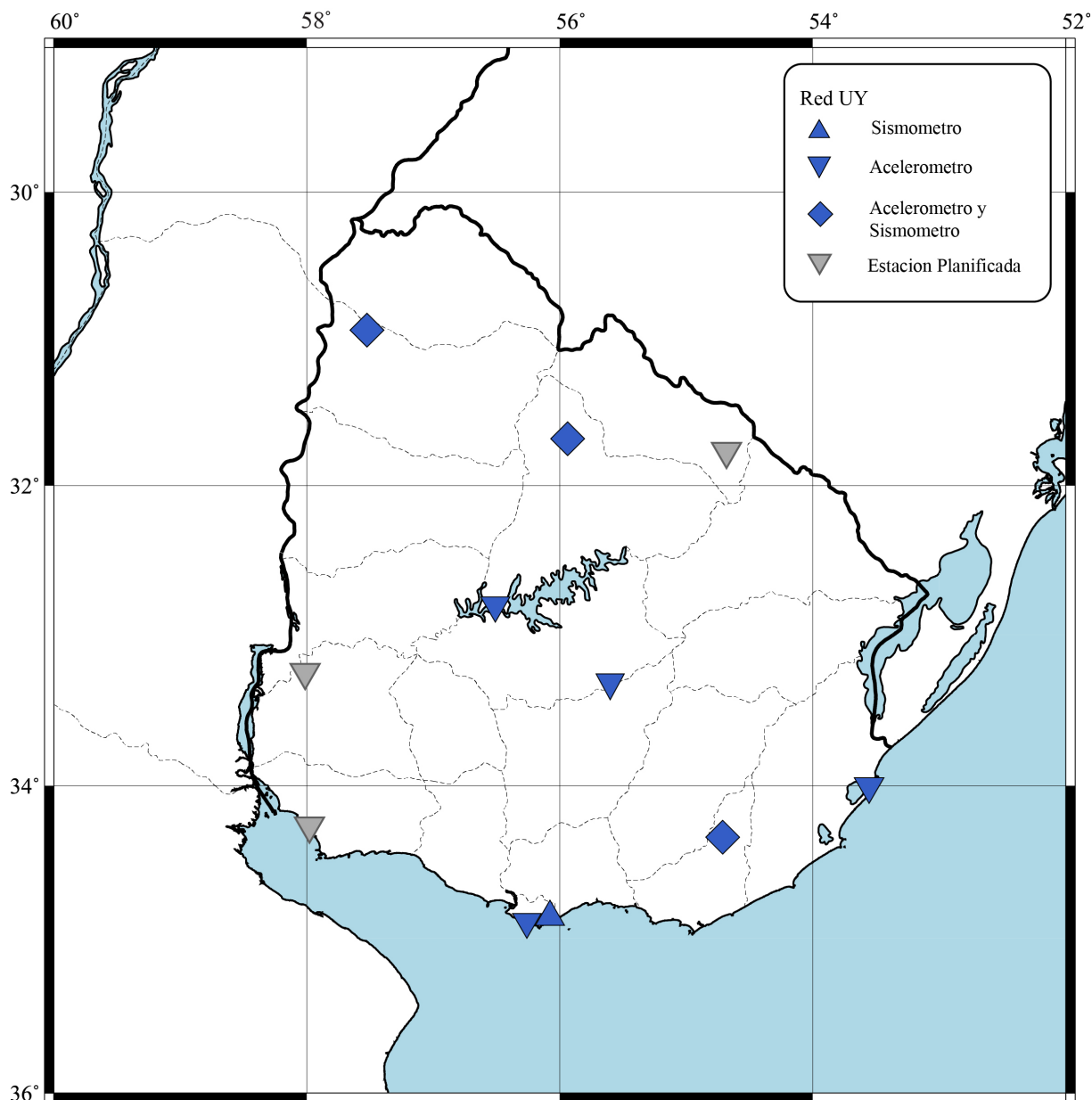


FIGURA 2. Localización de las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa del Servicio Geográfico Militar (SGM-MDN) y estaciones sísmicas y acelerométricas de la red UY (Facultad de Ciencias-DINAMIGE).

FIGURE 2. Locality map of the Active National Geodesic Stations of the Military Geographic Service (SGM-MDN) and seismic and accelerometric stations of the UY network (Faculty of Sciences-DINAMIGE)..

MODELO DE INSTALACIÓN DE LAS ESTACIONES

El Observatorio Geofísico del Uruguay definió

los ubica en una cámara de hormigón a la que se le arma un piso con una capa de cemento de 10-15 cm, preferentemente con arena fina, para proporcionar una base estable. Encima de esta base, una cámara prefabricada de concreto de

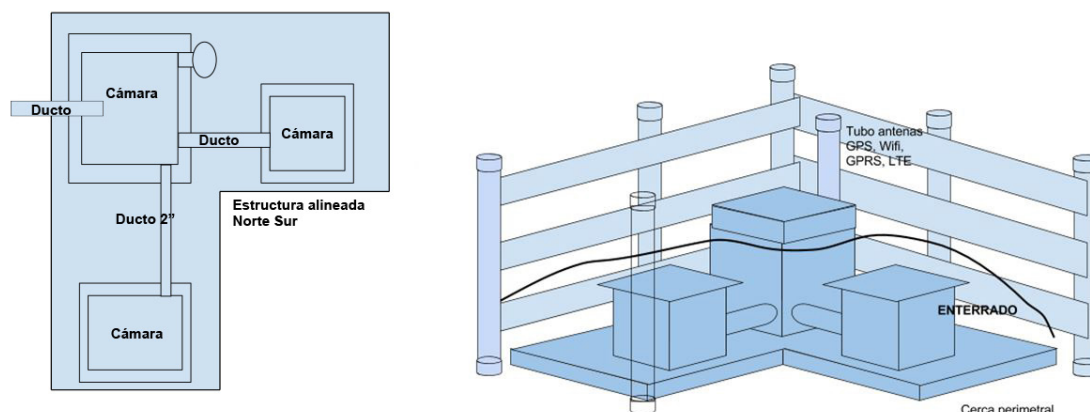


FIGURA 3. Diseño de construcción e instalación de estaciones sísmicas en Uruguay.
FIGURE 3. Design of construction and installation of seismic stations in Uruguay.

60 x 60 cm se coloca con una terminal como se muestra en la FIGURA 3. Se designa una cámara para la ubicación del sensor y otra para el equipamiento eléctrico. A su vez, se adjunta una caja de plástico o caño de PVC contenedora de las antenas GPS, y el router proveedor de internet para garantizar el buen estado de estos equipos y una buena conexión 3G. Todas las conexiones entre los diferentes sectores de la instalación están hechas con tubos de plástico de PVC. Después de ubicar y sellar los tubos, la caja de hormigón es recubierta con una membrana asfáltica de 5 mm y se sellan todas las juntas para evitar la infiltración de agua y mejorar el aislamiento térmico dentro de la caja (FIGURA 3). Finalmente, se cubren enteramente todas las cámaras con tierra excepto la destinada al equipamiento electrónico, donde la cobertura es menor para facilitar el acceso a la misma en caso de extracción de datos y control del estado de la instalación (FIGURA 4). Ya que todos los sitios de instalación se encuentran dentro de predios del Ejército Nacional y se tiene acceso a la red eléctrica, la electrónica está conectada a 220V y ha mostrado menos problemas con la transmisión y adquisición de los datos que con paneles solares. La evaluación de ruido de las estaciones ha demostrado un nivel de ruido de fondo bajo en el período de funcionamiento de las mismas. La conectividad es financiada por Presidencia de la República, ANTEL (Administración Nacional de telecomunicaciones) y la DINAMIGE (Dirección Nacional de Minería y Geología). Esta última es además, junto con la Facultad de Ciencias, el organismo de enlace ante el Centro regional de Sismología para América del Sur (CERESIS).

ALMACENAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Uno de los requisitos importantes de la red sísmológica es la transferencia de datos al centro de control lo más rápido posible para que la señal pueda procesarse en modo "on-line". Para lograr el objetivo mencionado anteriormente, los mismos se transmiten a través del protocolo seedlink a un servidor que los recoge y almacena como archivos miniseed en una unidad de disco duro compartida por Seiscomp3. Los datos también se almacenan en una unidad de disco duro cuando se trata de tarjetas SD y se extraen manualmente en su formato original (GCF o MSEED) a través del puerto serial o Internet. Las extracciones manuales a través del puerto serial se realizan una vez cada 4 meses como mínimo y un formulario de control es llenado por los participantes con el fin de crear un registro de extracciones. Todos los digitalizadores tienen un GPS para la sincronización del tiempo. Los archivos seed contienen información sobre las características de las estaciones sísmicas y se almacenan en una carpeta compartida en la nube para la facilidad de acceso de todos los participantes y con la idea de hacerlos públicos en el sitio web del OGU (ogu.fcien.edu.uy). Por último, vale la pena mencionar que si un canal SOH (state of health) está disponible para grabarse, se almacenará junto con los datos miniseed y los datos originales. Los datos de cada digitalizador Centaur se almacenan en la tarjeta SD de 16 Gb. El acelerómetro tiene una memoria interna, que consta de dos discos

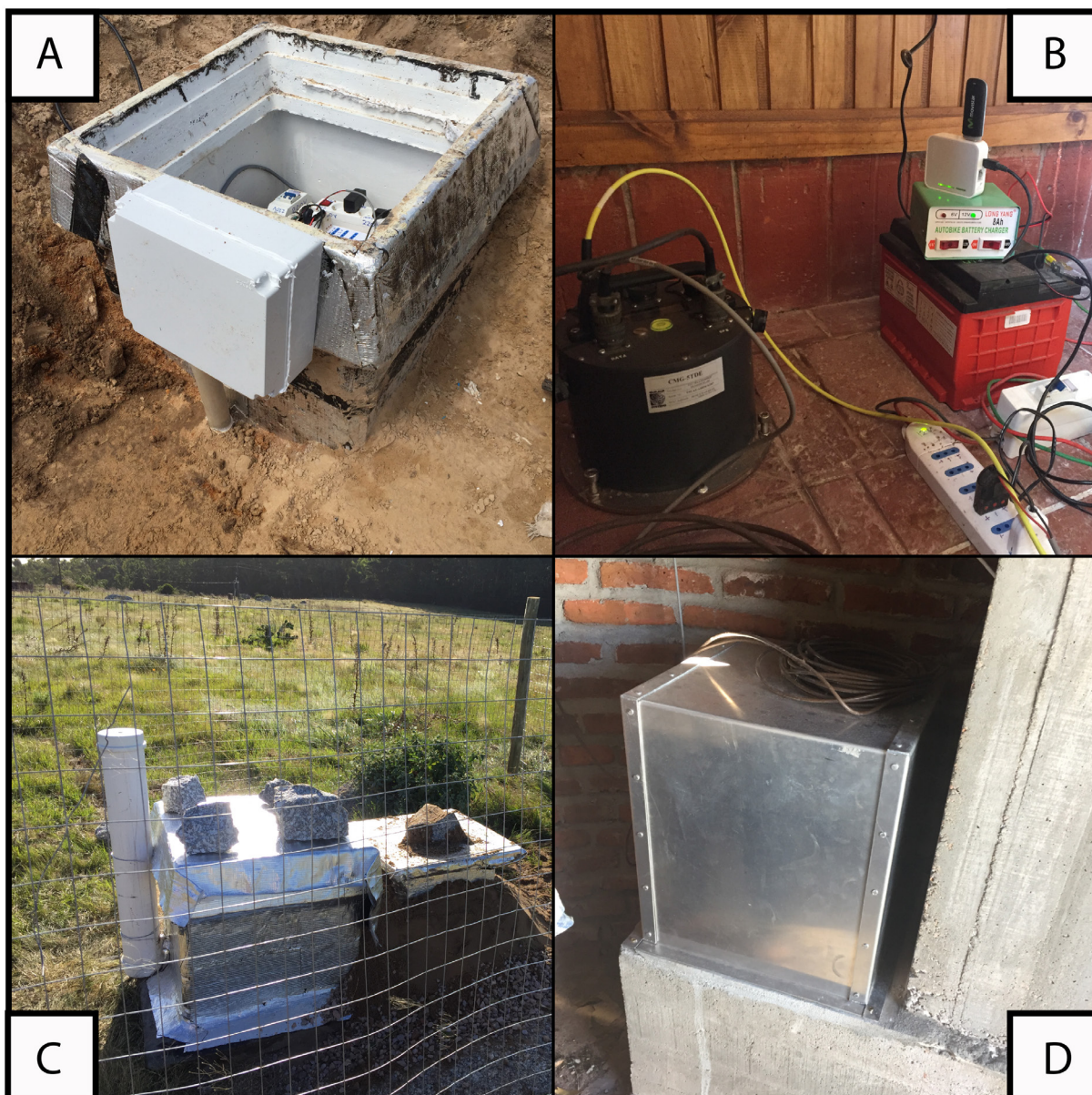


FIGURA 4. Imágenes de algunas de las estaciones de la red sísmológica UY. (a) Estación TBOT; Tacuarembó - Tacuarembó, (b) Estación MVDC; Fortaleza del Cerro de Montevideo - Montevideo, (c) Estación ROST; Santa Teresa - Rocha, (d) Estación PDTT; Paso de los Toros - Tacuarembó.

FIGURE 4. Images of some of the UY seismological network stations. (A) TBOT Station; Tacuarembó - Tacuarembó, (b) MVDC Station; Cerro de Montevideo Fortress - Montevideo, (c) ROST Station; Santa Teresa - Rocha, (d) PDTT Station; Paso de los Toros - Tacuarembó.

compactos CompactFlash con una capacidad de 16 Gb, que están en modo de registro cíclico constante, por lo que el período mínimo de almacenamiento de datos en el sitio es de 90 días.

PROCESAMIENTO MANUAL

Antes de iniciar el procesamiento se realiza para cada equipo una curva de ruido (PSD, véase FIGURA 5) mediante la utilización de un script de Obspy (Python Toolbox for Seismology). Luego, Seiscomp3 transmite continuamente los datos de las ocho estaciones y se procesan

manualmente utilizando SAC y Seiscomp3. Después de la identificación de la fase sísmica, su tiempo de llegada y la lectura de la amplitud, los eventos se separan en tres categorías según la distancia determinada de la estación más cercana de la red al epicentro: a) local, hasta 200 km; b) regional, a una distancia de 200 - 2000 km; y c) telesísmica, a una distancia de más de 2000 km. La atención se centra principalmente en el registro de los dos primeros grupos, con especial énfasis en los eventos locales. Una vez identificados dichos eventos y determinados los tiempos de llegada, el tipo y la amplitud de las

fases, se utilizan estos datos como entrada para el programa HypoFast (LIENERT 1986), que realiza la localización tridimensional de los eventos sísmicos y se calcula la magnitud. Los datos se comparten bajo demanda, en particular con algunos países vecinos como Brasil, Argentina y Paraguay. La red de monitoreo sísmico nacional es denominada UY y está registrada en la Incorporated Research Institute for Seismology (IRIS), además todas las estaciones se encuentran registradas en el International Seismological Centre (ISC). humana así como para explosiones y fuentes sísmicas naturales cercanas. A los 6 segundos de periodo se puede observar un pico en las curvas asociado a los efectos de la marea y el golpeteo de las olas. A periodos altos, mayores a 10 segundos, la amplitud comienza a incrementar superando apenas el ruido de

las curvas de referencia (Peterson 1993). FIGURE 5. Probability Density Function (PDF) plot for OGA station UY network (July 2013). A good response for high frequencies is highlighted, range in which are the sources of noise associated with human activity as well as for explosions and nearby natural seismic sources. At 6 seconds period show a peak in the curves associated with the tide effects and the pounding of the waves can be observed. At high periods, greater than 10 seconds, the amplitude begins to increase, barely exceeding the noise reference curves (Peterson 1993).

TRABAJO FUTURO

La fase actual en el desarrollo del desempeño de la red implica mejorar su capacidad para evaluar mecanismos focales, producir shakemaps y

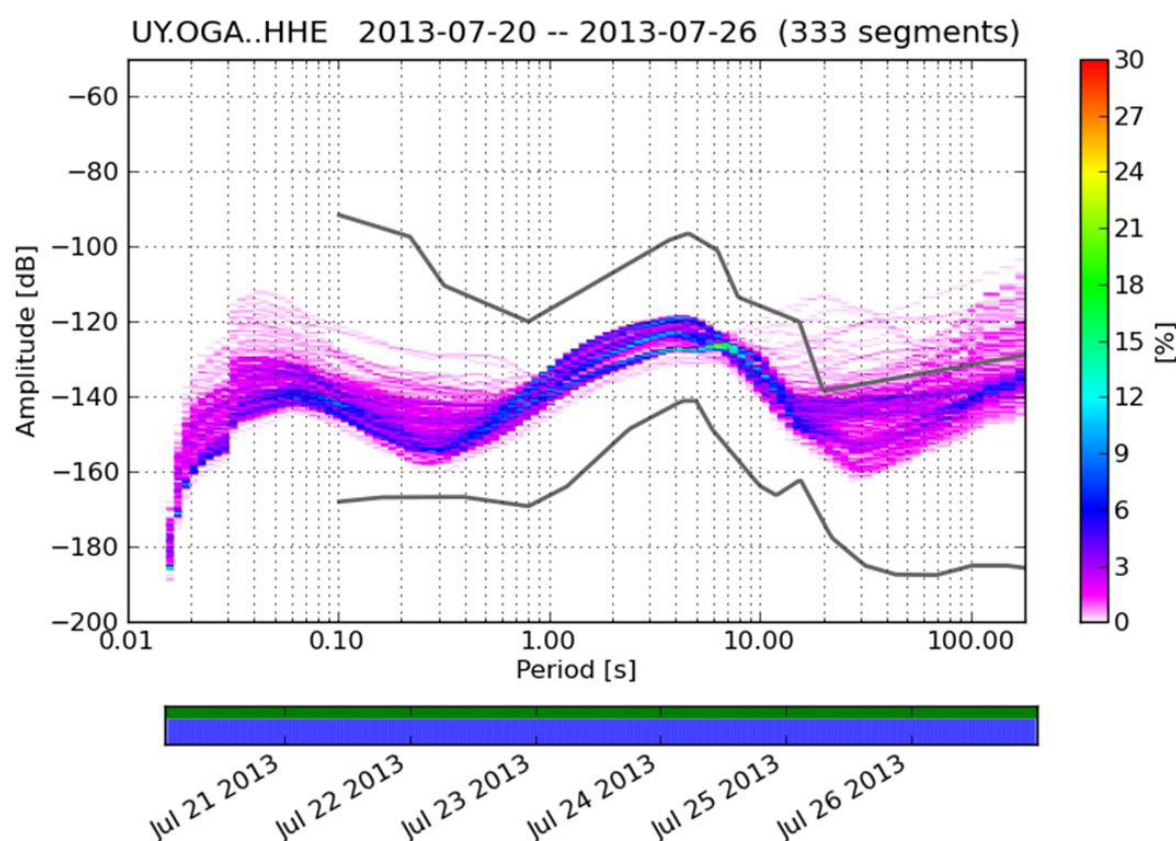


FIGURA 5. Curvas de ruido para la estación OGA de la red UY para julio del 2013. Se destaca buena respuesta para altas frecuencias, rango en el cual están las fuentes de ruido asociadas a la actividad humana así como para explosiones y fuentes sísmicas naturales cercanas. A los 6 segundos de periodo se puede observar un pico en las curvas asociado a los efectos de la marea y el golpeteo de las olas. A periodos altos, mayores a 10 segundos, la amplitud comienza a incrementar superando apenas el ruido de las curvas de referencia (Peterson 1993).

FIGURE 5. Probability Density Function (PDF) plot for OGA station UY network (July 2013). A good response for high frequencies is highlighted, range in which are the sources of noise associated with human activity as well as for explosions and nearby natural seismic sources. At 6 seconds period show a peak in the curves associated with the tide effects and the pounding of the waves can be observed. At high periods, greater than 10 seconds, the amplitude begins to increase, barely exceeding the noise reference curves (Peterson 1993).

DESARROLLO DE UNA RED GEOFÍSICA Y GEODÉSICA NACIONAL EN URUGUAY

mejorar el servicio de páginas web para los usuarios. Es así que la mejoría de la calidad de los datos, en conjunto con la existencia de receptores GPS (REGNA-ROU, Servicio Geográfico Militar) situados junto a estaciones sismológicas (FIGURA 2) permitirá conocer más sobre la deformación y los procesos de ruptura de terremotos (SUÁREZ 2012; SÁNCHEZ & DREWES 2016). Así también, se tiene como objetivo estudiar la estructura de la corteza por debajo de Uruguay utilizando diferentes métodos como la función receptora, el análisis de dispersión de ondas superficiales, tomografía sísmica, entre otros. Cabe destacar que ya se ha realizado un estudio preliminar de inversión de la estructura cortical con datos de la red en Rodríguez et. al. 2017. Por otra parte, se espera aumentar la cantidad de estaciones de banda ancha en el sur de Uruguay. También, se planifica que las estaciones acelerométricas (junto a las sismológicas) sirvan como elemento para fiscalizar y regular la utilización de explosivos y ser una herramienta de detección de minería ilegal. En un futuro próximo, la red se ampliará con la instalación de alrededor de siete acelerómetros, mejorando la distribución del equipamiento en el territorio nacional.

CONCLUSIONES

La instalación de la red UY permite un muy buen monitoreo de la actividad sísmica en el país. La serie de mejoras realizadas a la red durante el último año permiten que se generen una gran cantidad de datos de alta calidad. Estos datos posibilitan la determinación de los diferentes parámetros de cada evento sísmico (magnitud, mecanismo focal, profundidad) con una mayor precisión y además son imprescindibles para la realización de estudios e investigaciones sobre la corteza. El crecimiento de la red permitió en el año 2016 caracterizar los dos eventos sísmicos más importantes de los últimos 25 años, ocurridos en el sur del país (Área Metropolitana). Por otro lado, se trabaja con el gobierno tanto para difundir la información de eventos sísmicos a los medios de comunicación y a la población, como para el establecimiento de un Sistema Nacional de Observaciones Geofísicas y Geodésicas (SNOGG-UY).

Agradecimientos

Se agradece a todos aquellos que participaron en este proyecto, particularmente, a la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE-MIEM) en la adquisición de los acelerómetros y su apoyo para la realización de los trabajos

de campo por control y mantenimiento de las estaciones. Al Servicio Geográfico Militar (SGM) y al Ejército Nacional por brindarnos su bienvenida y permitirnos realizar las instalaciones en sus predios. También, a la Administración Nacional de Telecomunicaciones (ANTEL) que nos provee y garantiza conexión a las estaciones, a Presidencia de la República y al Sistema Nacional de Emergencias (SINAE) quienes trabajan en garantizar el desarrollo y difusión del proyecto y también se agradece a la Facultad de Ciencias (UdelaR) nuestra casa de estudios y punto de partida del Observatorio Geofísico, a la Universidad de Sao Paulo por su apoyo al desarrollo de la red, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y al Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). Finalmente, por sus aportes en la mejoría de este artículo, se agradece a Carlos Jorge Chernicoff y Estela Minaya.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUMPÇÃO M. (1998). Seismicity and Stresses in the Brazilian Passive Margin. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 88, 160-169.
- BENAVIDEZ, A. (1998) Sismicidad y sismotectónica en Uruguay. **Física de la Tierra**, 10, 167-186
- BEZERRA, F.H.R. & VITA-FINZI, C. (2000) How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. **Geology**, 28, p. 591-594.
- BEZERRA, F.H.R.; AMARO, V.E.; VITA-FINZI, C. & SAADI, A. (2001) Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 14, p. 61-75.
- BEZERRA, F.H.R.; BARRETO, A.M.F. & SUGUIO, K. (2003) Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. **Marine Geology**, 196, p. 73-89.
- BRUNETTO, E.; ALVARADO, P.M (2017); Estudio del terremoto de intraplaca de Chajari-Montecaseros 1948 (Argentina): análisis geofísico, estratigráfico, y geomorfológico integrado. **XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas**. Libro de Resúmenes, p. 234
- CASTRO, H.; CURBELO, A.; RODRÍGUEZ, M.; LATORRES, E.; CASTRO ARTOLA, O.; NÚÑEZ, P. AND SÁNCHEZ BETTUCCI, L. (2017) Caracterización del evento sísmico UY24112016 - Las Piedras (Uruguay) **XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas**. Libro de Resúmenes, p. 235.
- CURBELO, A.; RODRÍGUEZ, M.; CASTRO, H.; ARDUIN, F.; LATORRES, E.; CASTRO ARTOLA, O. AND SÁNCHEZ BETTUCCI, L.

- (2017) Percepción por parte de la población del evento sísmico UY24112016 - Las Piedras (Uruguay) **XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas**. Libro de Resúmenes, p. 243
- DE SANTA ANA, H.; VEROSLAVSKY, G. (2003) La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay, Edad Jurásico-Cretácico temprano. En: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M.; MARTÍNEZ, S. (eds.) **Cuencas Sedimentarias del Uruguay, Geología, Paleontología y Recursos Naturales, Mesozoico**. Montevideo, DIRAC-Facultad de Ciencias, p. 51-74.
- DE SANTAANA, H.; VEROSLAVSKY, G.; FULFARO, V. & ROSELLO, E. (2006) Cuenca Norte: Evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero-Pérmico. EN: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M.; MARTÍNEZ, S. (eds.) **Cuencas Sedimentarias del Uruguay, Geología, Paleontología y Recursos Naturales, Paleozoico**. Montevideo, DIRAC-Facultad de Ciencias, p. 209-256.
- HASUI, Y. (1990) Neotectónica e tectônica ressurgente no Brasil. En: 1º **Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Continental Cenozóica no SE Brasil, Junio 1990, Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Minas Gerais**. Belo Horizonte, 11, p. 1-32
- LIENERT, B. R.; BERG, E.; & FRAZER, L. N. (1986) HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively damped least squares. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 76, p. 771-783.
- NATURE (1884) Brief note on Montevideo earthquake, **Nature**, vol 29, p.437.
- PETERSON, J. (1993) Observations and modeling of seismic background noise. **U.S. Geological Survey Open-File Report** 93-322, p. 95.
- RODRÍGUEZ, M.; CASTRO, H.; CURBELO, A.; LATORRES, E.; CASTRO ARTOLA, O.; ASSUMPÇÃO, M. AND SÁNCHEZ BETTUCCI, L. (2017) Modelización 1D de la estructura de velocidades para la corteza en las cercanías a la localidad de Aiguá – Uruguay mediante inversión de función receptora, **XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas**. Libro de Resúmenes, p. 246
- SÁNCHEZ BETTUCCI, L.; PEEL E. & MASQUELIN H. (2010) Neoproterozoic tectonic synthesis of Uruguay. **International Geology Review**, 52(1), p. 51–78
- SÁNCHEZ L.; DREWES H. (2016) Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America. **Journal of Geodynamics**, 102, p. 1-23.
- SUÁREZ, N. (2012) Red Geodésica Nacional Activa de la República Oriental del Uruguay (REGNA-ROU). Infraestructura al servicio del desarrollo de nuevas capacidades mediante el empleo de Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). Biblioteca Nacional. **Cuaderno de Geografía. Los desafíos actuales de la Geografía**, 1, p. 23-28.
- VEROSLAVSKY, G.; FULFARO, V. & DE SANTA ANA, H. (2006) El Devónico en Uruguay: estratigrafía, correlación geológica y recursos minerales. En: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M.; MARTÍNEZ, S. (eds.) **Cuencas Sedimentarias del Uruguay, Geología, paleontología y recursos naturales, Paleozoico**. Montevideo, DIRAC-Facultad de Ciencias, p.107-132.