

PRIMER CATÁLOGO DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA EN URUGUAY Y LA CUENCA DEL RÍO DE LA PLATA

FIRST CATALOG OF SEISMIC ACTIVITY IN URUGUAY AND THE RÍO DE LA PLATA BASIN

PRIMEIRO CATÁLOGO DE ATIVIDADE SÍSMICA NO URUGUAI E NA BACIA DO RÍO DE LA PLATA

Leda Sánchez Bettucci^a, Judith Loureiro Olivet^{a, b}, Hernán Castro^a, Peter Baxter^{a, c}, Martín Rodríguez^a,
Damián Dell'Aqua^a, Alejandro Mazza^a, Pablo Núñez Demarco^a, Anahí Curbelo^b, Enrique Latorres^{a, d}

^aObservatorio Geofísico del Uruguay, Facultad de Ciencias, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay.
leda@fcien.edu.uy

^bDirección Nacional de Minería y Geología, Hervidero 2861, Montevideo, Uruguay.

^cVictoria University of Wellington, Wellington, New Zealand.

^dUniversidad ORT, Montevideo, Uruguay.
Iguá 4225 CP11400

Recibido: 02/06/21

Aceptado: 23/08/21

Publicado: 28/02/22

Editores: MSc. Fernando Scaglia
revista@sociedadgeologiauy.org

PEDECIBA Isidoro de María 1614, piso 6 - Uruguay Tel: 2929 0318-int. 1612/1613

www.sociedadgeologiauy.org

RESUMEN

Presentamos el primer catálogo de eventos sísmicos históricos e instrumentales ocurridos en Uruguay y la región de la cuenca de Plata, que es crucial para los estudios de peligrosidad sísmica. Las regiones intracontinentales constituyen áreas que presentan largos períodos de recurrencia entre terremotos; Por lo tanto, es muy importante tener un catálogo sísmico de eventos en Uruguay y sus alrededores. Para construir la base de datos confiable, se reanalizaron varios parámetros, como la ubicación, la fecha y las áreas afectadas. El catálogo también incluye diferentes aspectos de la sismicidad en la región de Río de la Plata, desde eventos históricos (no instrumentales) hasta eventos recientes registrados por las diferentes redes sismológicas de la región. Además, se informan algunos efectos sobre la infraestructura debido a la sismicidad natural y artificial. Por otro lado, se enfatiza la importancia de los estudios de riesgos sísmicos en esta región, la educación y la conciencia de la mitigación de los eventos sísmicos.

Palabras clave: sismicidad, amenaza sísmica, Río de La Plata, Uruguay.

ABSTRACT

We present first catalog of historical and instrumental seismic events occurred in Uruguay and the Plata basin region, which is crucial the natural hazard studies. The intracontinental regions constitute areas that present long periods of recurrence between earthquakes; thus, it is very important to have a seismic catalog of events in Uruguay and surrounding areas. To build the reliable database, various parameters such as location, date and affected areas were reanalyzed. The catalog also includes different aspects of seismicity in the Río de la Plata region from historical events (non-instrumental) to recent events recorded by the different seismological networks in the region. Moreover, some effects on infrastructure due to natural and artificial seismicity are reported. On the other hand, the importance of seismic hazard studies in this region, education and awareness for mitigation of seismic events is emphasized.

Key words: seismicity, seismic hazard, Río de La Plata, Uruguay.

RESUMO

Apresentamos o primeiro catálogo de eventos sísmicos históricos e instrumentais que ocorreram no Uruguai e na região da Bacia do Río de La Plata, que é crucial para estudos de riscos sísmicos. As regiões intracontinentais constituem áreas que apresentam longos períodos de recorrência entre sismos; Portanto, é muito importante ter um catálogo sísmico de eventos dentro e ao redor do Uruguai. Para construir o banco de dados confiável, vários parâmetros foram reanalisados, como local, data e áreas afetadas. O catálogo também inclui diferentes aspectos da sismicidade na região do Rio da Plata, desde eventos históricos (não instrumentais) até eventos recentes registrados pelas diferentes redes sismológicas da região. Além disso, são relatados alguns efeitos na infraestrutura devido à sismicidade natural e provocada pelo homem. Por outro lado, destaca-se a importância dos estudos de risco sísmico nesta região, educação e sensibilização para a mitigação de eventos sísmicos.

Palavras-chave: sismicidade, risco sísmico, Río de La Plata, Uruguai.

INTRODUCCIÓN

La región del Plata (Uruguay, noreste de Argentina, sur de Paraguay y sur de Brasil) es históricamente considerada de bajo riesgo sísmico. En nuestro contexto tectónico intracontinental ocurren sismos de bajas a moderadas magnitudes, generalmente someros y con menor frecuencia si los comparamos con las zonas de convergencia de placas. Analizando las estadísticas mundiales referentes a número de fallecidos y capacidad destructiva de los terremotos para distintos contextos tectónicos, no es posible aseverar que los terremotos en regiones intracontinentales produzcan mayores consecuencias que aquellos procedentes de zonas de convergencia, aunque el riesgo es mayor debido a la falta de previsión en las estructuras. Además de los sismos tectónicos, ocurren eventos producidos por algunas actividades humanas -sismicidad inducida- como por ejemplo explosiones subterráneas, extracción de hidrocarburos, *fracking*, bombas nucleares, explotación minera, embalses de agua, entre otros. Para este tipo de actividades es fundamental la realización de estudios previos con el objeto de prevenir y mitigar los efectos de la sismicidad inducida (van Elk *et al.*, 2019 y referencias) sin importar la localización tectónica.

El objetivo de este trabajo es la compilación de toda la información vinculada a eventos sísmicos de la región del Plata, históricos e instrumentales, haciendo énfasis en Uruguay. Así también, el reseñar afectaciones en las infraestructuras debidas a sismicidad natural y antropogénica ocurridas en el territorio uruguayo.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El Uruguay y la región del Plata se encuentran sobre el margen pasivo Atlántico de América del Sur, mayormente sobre el cratón del Río de La Plata (CRP). Este cratón constituye una zona tectónicamente estable desde el Paleoproterozoico (Sánchez Bettucci *et al.*, 2010, 2021a).

Los últimos eventos tectónicos de la región se encuentran vinculados a la apertura del océano Atlántico con el desarrollo de cuencas intracratónicas como las cuencas del Salado-Punta del Este y Santa Lucía-Laguna Merín (Ricardi, 1988; Veroslavsky *et al.*, 2004; Morales *et al.*, 2021 y referencias). Al NE de Uruguay se desarrolla la cuenca intracratónica del Paraná desarrollada sobre el CRP y terrenos Neoproterozoicos (Cinturón Dom Feliciano) que se extiende desde Brasil, Uruguay (denominada cuenca Norte), Paraguay y Argentina (denominada cuenca Chaco-Paraná). Esta cuenca presenta un relleno de ca. 7 km de espesor con rocas volcánicas y sedimentarias de edades del Ordovícico al Cretácico (Zalan *et al.*, 1990; Milani *et al.*,

2007; Dragone *et al.*, 2021 y referencias). Los procesos orogénicos en el margen protoandino han generado fenómenos compresivos. Los estudios sobre la estructura cortical de la región y en particular para el Uruguay son escasos. Estudios previos (Feng *et al.*, 2007; Assumpção *et al.*, 2013; Rosa *et al.*, 2016; entre otros), obtuvieron espesores corticales para la cuenca Chaco-Paraná de ~32-35 km a través de funciones receptoras. Los primeros estudios de función receptora y modelo de velocidad para el cratón del Río de la Plata en Uruguay (Rodríguez *et al.*, 2017; Rodríguez 2019) arrojan para el sur del territorio (estación ANCO, Departamento de Colonia) una profundidad de Moho de 40.1 ± 0.6 km y una relación $V_p/V_s = 1.77 \pm 0.02$, para la estación OGAUY (Aiguá, Departamento de Maldonado) un espesor cortical de 39 km y una $V_p/V_s = 1.715 \pm 0.05$, mientras que en el norte (estación PSAL, Palomas, Departamento de Salto) un espesor cortical de 41.9 ± 2.6 km y una $V_p/V_s = 1.75 \pm 0.05$. Finalmente, en las cercanías de la ciudad de Tacuarembó (estación TBOT, Departamento de Tacuarembó) la profundidad del Moho arrojó una profundidad 41.0 ± 1.7 km, mientras que la relación V_p/V_s hallada fue 1.78 ± 0.03 (ver Figura 1). Adicionalmente, Castro (2021) aportó información sobre diferencias composicionales de la corteza a partir del estudio de las curvas de elipticidad e inversión donde sugiere una tendencia a una corteza más félsica en la estación TBOT mientras que la corteza inferior, inter-estaciones, no se observan diferencias significativas. Así también, calculó el módulo de poisson para cada una de las estaciones utilizadas (C2-ANCO: 0.289, C2-TBOT: 0.285, C2-PSAL: 0.279)

Desde el punto de vista tectónico, Uruguay y la región del Plata se caracterizan por el empuje hacia el oeste causado por la actividad de la dorsal mesoatlántica, mientras que los esfuerzos generados por la convergencia andina son hacia el oriente. La combinación de estos procesos en la región analizada genera esfuerzos transpresivos que provocan la reactivación de las fallas, particularmente las correspondientes a las cuencas mesozoicas, pero también fallas antiguas como por ejemplo la zona de cizalla de Sarandí del Yí. La información geodésica (Drewes y Heidbach, 2012; Sánchez y Drewes, 2016 a, b; Seemüller *et al.*, 2010) muestra que, de Este a Oeste, los vectores de velocidad varían de direcciones NNO a NS (ver Figura 2), sugiriendo transtensión en la porción este y transpresión en la región suroeste, incluyendo la región del estuario del Plata.

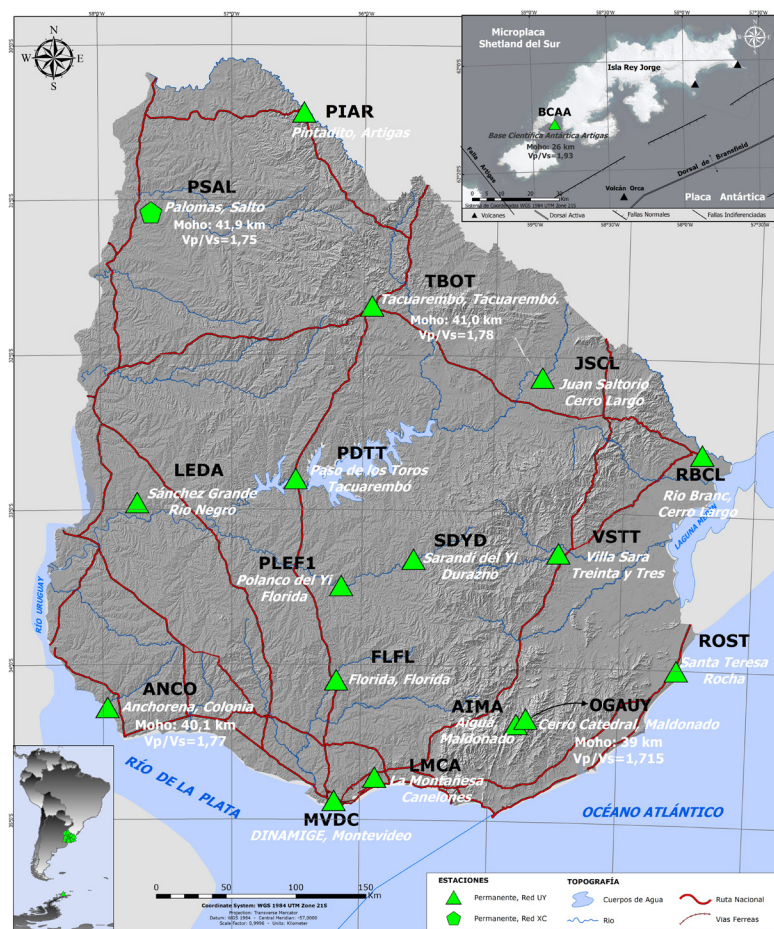


FIGURA 1. A) Mapas de estaciones. Se muestran los valores de profundidad del moho para las estaciones PSAL, TBOT y ANCO, datos tomados de: Rodríguez et al. (2017) y Rodríguez (2019).
FIGURE 1. A) Station maps. Mold depth values are shown for stations PSAL, TBOT and ANCO, information taken from: Rodríguez et al. (2017) and Rodríguez (2019).



FIGURA 2. Modificado del Modelo de velocidades VEMOS2009 (Drewes y Heidbach 2012).
FIGURE 2. Modified from the VEMOS2009 Speed Model (Drewes and Heidbach 2012).

CATÁLOGO SÍSMICO

Desde el año 2010 el Observatorio Geofísico del Uruguay (OGU), Facultad de Ciencias (UDELAR) continuó con la tarea iniciada por Benavidez (1995, 1998) con el fin de mejorar el catálogo histórico (Figura 3), y a partir del año 2013 se inició el registro instrumental de la actividad sísmica en Uruguay. El primer sismómetro fue instalado en el marco de un acuerdo de cooperación académica con la Universidad de San Pablo en Aiguá, Maldonado. Actualmente el número de sensores sísmicos en funcionamiento ha aumentado a 20. La instalación de nuevo instrumental sísmico ha ayudado a desarrollar el conocimiento sobre la sismicidad y la estructura de la corteza de Uruguay. De estas 20 estaciones, 14 pertenecen a la red permanente y seis corresponden a estaciones temporales. La red temporal cuenta con un sensor (BB 120 s) instalado en el marco de un convenio con la USP y cinco sensores (BB 120 s) que forman parte de un proyecto con la Academia de Ciencias Geológicas de China. La red permanente comprende tres sismómetros (BB 120 s) Nanometrics Trillium compact y ocho sismómetros Raspberryshake 3D, uno de ellos instalado en la Base Científica Antártica Artigas. Se suman a esta red dos acelerómetros Güralp y un Silex (Instituto Geográfico Nacional, España), Los sensores son monitoreados en tiempo real a través de internet 4G y los datos gestionados a través del *software* SeisComp3. Las estaciones se encuentran mayormente instaladas en predios del Ejército Nacional donde se localizan las Estaciones de referencia de operación continua (CORS) de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), gestionada por el Instituto Geográfico Militar. La distribución espacial de las estaciones (ver Figura 1) cubre gran parte del país. Así, los objetivos actuales son mejorar la calidad de los datos, aumentar la densidad de sensores de la red agregando nuevas estaciones y reducir el tiempo de procesamiento.

El primer dato histórico para la región se remonta a 1542, y aunque el texto no es claro en relación a la localización exacta (desembocadura del Río San Juan, Departamento de Colonia) es descrito como un evento muy importante (Cabeza de Vaca 1555, Cabeza de Vaca y Hernández 1555) donde perecieron 14 personas. Basados en las descripciones, realizadas por estos autores, se le ha asignado una magnitud mayor a 6 (Baxter *et al.*, 2021) y se ha incluido en el catálogo sísmico para la región. Los registros históricos y los datos actuales muestran que Uruguay no está ajeno a los fenómenos sísmicos (ver Figura 3 y Tabla 1), aunque esté incorporado en el pensamiento popular que “*en el Uruguay no pasa nada, no existen terremotos*”.

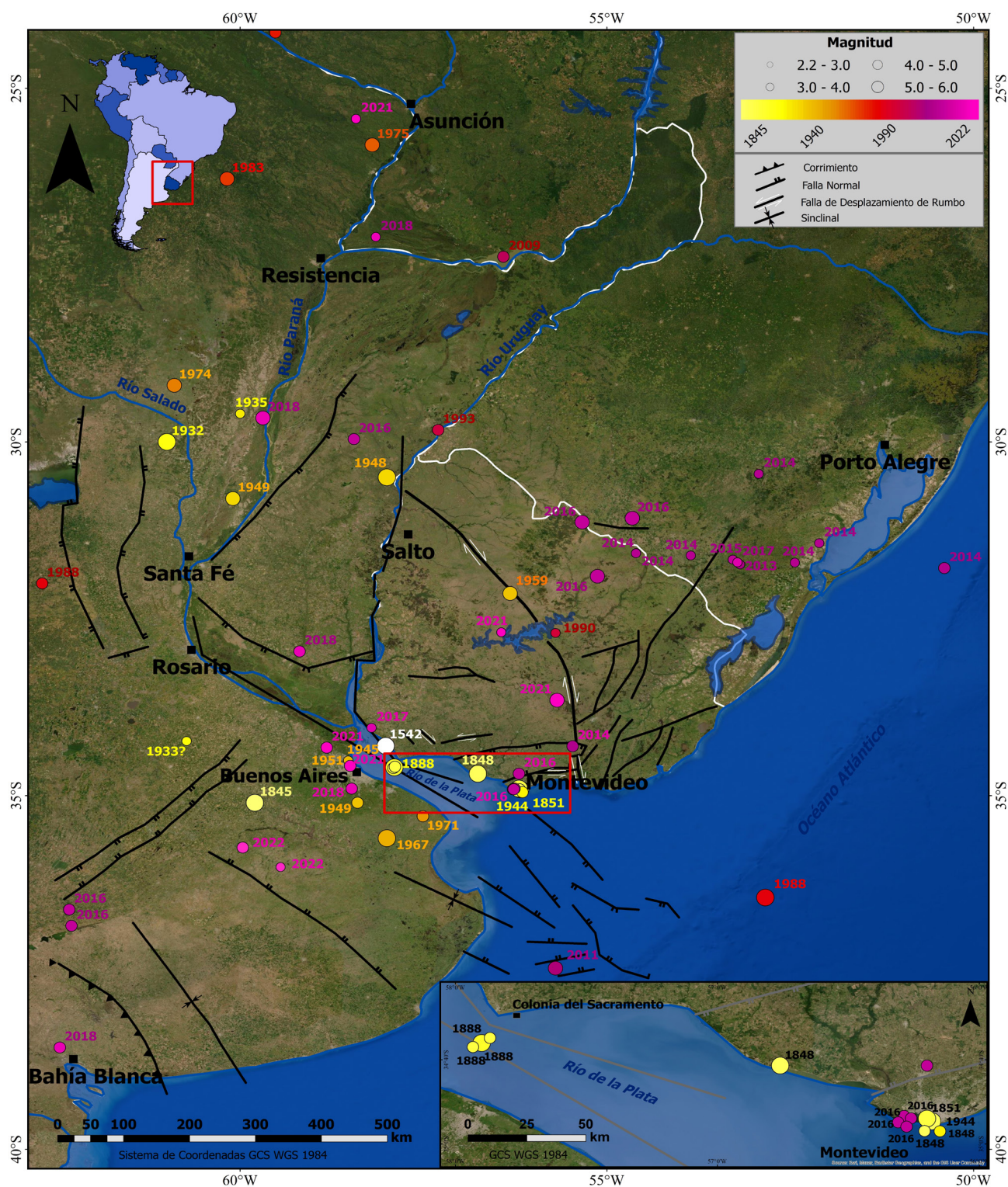


FIGURA 3. Localización de los eventos sísmicos (históricos e instrumentales) para la región analizada (Modificado de Baxter *et al.*, 2021). La magnitud de los eventos puede verse en la Tabla 1.

FIGURE 3. Siesmic events location (historical and instrumental) for the analyzed region. (Modified from Baxter, 2021) The events magnitude can be seen in chart 1.

Las primeras referencias a eventos sísmicos para Uruguay y la región del Río de La Plata fueron publicadas por Benavidez (1995, 1998) a partir de datos recabados por la prensa nacional (e.g. Figura 4). Así también, se debe mencionar la ocurrencia de maremotos y *seiches* de forma excepcional, por ejemplo, el ocurrido el 15 de enero de 1884 (Anónimo 1884, Carrasco y Paolini 2006), que según las descripciones obtenidas se trató del desplazamiento hacia la costa de una importante masa de agua con características inusuales (Carrasco y Paolini 2006). Posteriormente, eventos similares fueron reportados el 5 de junio de 1888 (Benavidez 1998), en 1945 y 1954 (Barili 1978), entre otros. Ninguno de estos es equiparable a aquellos que golpean la costa del Pacífico. Recientemente, Baxter *et al.* (2021) presentaron una recopilación de eventos sísmicos con $M_w \geq 3$ para la región incorporando los eventos ocurridos y registrados en los últimos años por el Observatorio Geofísico del Uruguay (OGU). En la Figura 3 se presentan los sismos recopilados y revisados para la región (ver Tabla 1). En esta compilación se incluyen todas las magnitudes, incluyendo las menores a tres. Adicionalmente, la consulta de un mayor espectro de fuentes, permitió ampliar el compendio previo. El conjunto de eventos históricos (no instrumentales), los instrumentales y la información geodésica ayudan a entender la acumulación de esfuerzos en la región, pero aún se necesita mayor información sismológica para realizar una estimación del peligro sísmico. Sumado a esto la mayor parte de la región del Plata se encuentra bajo agua limitando el estudio de las fallas y su potencial sismogénico (Baxter *et al.* 2021).

Evidencia de eventos paleosísmicos son escasos y algunos se han observado en el sur del país. El reconocimiento de estos complementa los registros históricos e instrumentales de sismicidad. El registro paleosísmico en general corresponde con eventos sísmicos de gran magnitud ($M_w > 6,5$) ya que de menores magnitudes o no dejan evidencia o bien rápidamente se pierde. Evidencias de esto (Figura 5) fueron encontradas en niveles de areniscas finas arcillosas de la Formación Raigón (Plioceno-Pleistoceno medio). Esta Formación definida por Goso y Bossi (1966) se encuentra aflorando en la costa del litoral oeste del país.

Existen referencias de eventos peculiares, como agrietamiento del suelo que no son considerados dentro del catálogo sumado al hecho de que muchos eventos ocurren en zonas con baja densidad poblacional, con pocos registros de prensa mostrando que la completitud del catálogo siempre será inferior a la real. Así también, existen varios registros sísmicos instrumentales desde el comienzo del observatorio que debido a la imposibilidad de parametrización de los mismos fueron excluidos del catálogo.

TABLA 1. Eventos sísmicos registrados en la región del Río de la Plata
TABLE 1. Sismic events recorded in the Río de la plata region.

año-mes-día	Long	Lat	Mag	Fuente
1542-10-30	-59	-34,1	6?	Cabeza de Vaca (1555)
1845-10-19	-59,8	-35,1	5.4	Catálogo CERESIS (Giesecke et al., 2004; Gómez Capera y Stucchi, 2015; Gómez Capera et al., 2020)
1848-08-09	-56.18	-34.91	5.5	Diario Comercio del Plata (10-08-1848), Anales Históricos del Uruguay (1849), Eduardo Acevedo. (1933)
1848-08-14	-56.17	-34.9	3	Diario Comercio del Plata (16-08-1848), Anales Históricos del Uruguay (1849), Eduardo Acevedo. (1933)
1848-08-15	-56.19	-34.91	4	Diario Comercio del Plata (16-08-1848), Anales Históricos del Uruguay (1849), Eduardo Acevedo. (1933)
1848-08-19	-56.18	-34.9	3	Diario Comercio del Plata (21-08-1848), Anales Históricos del Uruguay (1849), Eduardo Acevedo. (1933)
1848-08-20	-56.17	-34.92	2.5	Diario Comercio del Plata (28-08-1848), Anales Históricos del Uruguay (1849), Eduardo Acevedo. (1933)
1848-09-16	-56.76	-34.69	5.5	Diario Comercio del Plata (18-09-1848), Anales Históricos del Uruguay (1849), Eduardo Acevedo. (1933)
1851-02-??	-56.2	-34.9	5.5?	Eduardo Acevedo. (1933)
1888-06-05	-57.9	-34.6	5,8	Diario El Siglo (05-06-1888), Diario El Telégrafo (05-06-1888), Giesecke et al., 2004; Gómez Capera and Stucchi, 2015; Gómez Capera et al., 2020.
1888-06-06	-57.91	-34.61	3.5	Diario La Nación (06-06-1888), Diario El Telégrafo (06-06-1888), Diario El Telégrafo Marítimo (06-06-1888),
1888-06-07	-57.89	-34.59	3.5	Diario El Siglo (07-06-1888), Diario La Nación (07-06-1888), Diario El Telégrafo (27-06-1888)
1932-11-10	-61	-30	6	Catálogo CERESIS (Giesecke et al., 2004; Gómez Capera y Stucchi, 2015; Gómez Capera et al., 2020)
1933-06-04	-60.731	-34.229	≤ 3?	Jaschek (1972)
1935-01-02	-60	-29,6	3	Catálogo sísmico brasileiro on-line
1944-01-15	-56.15	-34.95	≥ 3	Servicio Meteorológico del Uruguay (1944)
1945-09-06	-58.528	-34.502	≤ 3?	Jaschek (1972)
1948-01-21	-58	-30,5	5,8	Catálogo CERESIS (Giesecke et al., 2004; Gómez Capera y Stucchi, 2015; Gómez Capera et al., 2020), Diario El Plata (22-01-1948), Diario El Plata (22-01-1948), Diario El Telégrafo (22-01-1948), (Ver nota de prensa Figura 2).
1949-05-17	-60,1	-30,8	4,5	Boletines sísmicos del Observatorio de La Plata
1949-09-22	-58,4	-35,1	3,7	Boletines sísmicos del Observatorio de La Plata
1959-05-13	-56.32	-32.14	5?	Diario El Telégrafo (16-05-1959)
1967-02-15	-58	-35,6	5,3	Catálogo CERESIS (Giesecke et al., 2004; Gómez Capera y Stucchi, 2015; Gómez Capera et al., 2020)
1971-11-02	-57,51	-35,29	3,5	Jaschek (1972)
1974-08-06	-60,9	-29,2	4,2	International seismological center
1975-06-27	-58,2	-25,8	4,4	International seismological center
1983-02-08	-60,18	-26,28	5	United States Geological Service (USGS): Earthquake catalog
1985-10-26	-59,52	-24,21	3,3	Observatorio Sismológico, Universidad de Brasilia (catalogo http://obsis.unb.br/portalsis/?pg=seism)
1988-06-26	-52,84	-36,44	5,1	Assumpção (1998), United States Geological Service (USGS): Earthquake catalog
1988-09-11	-62,7	-32	3,4	Observatorio Sismológico, Universidad de Brasilia .Catálogo.
1990-01-10	-55,7	-32,7	3	Benavidez (1998)
1993-06-05	-57,3	-29,83	3,4	Catálogo sísmico brasileiro on-line
2009-11-10	-56,41	-27,38	3,5	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2011-07-18	-55,7	-37,44	4,1	Catálogo CERESIS (Giesecke et al., 2004; Gómez Capera y Stucchi, 2015; Gómez Capera et al., 2020)
2014-04-17	-54,6	-31,57	2,3	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2014-11-09	-54,88	-32,81	2,7	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2014-05-20	-53.857	-31.603	2.4	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2014-05-22	-52.105	-31.431	2.8	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2014-05-28	-52.436	-31.704	2.4	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2014-05-30	-52.929	-30.451	2.0	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2014-06-06	-50.398	-31.783	3.7	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2014-09-11	-54.603	-31.573	2.7	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2014-10-04	-55.466	-34.3	3.5	Sánchez Bettucci (2017)
2015-05-04	-53.284	-31.663	2.6	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser

2016-03-23	-56,27	-34,9	3	Sánchez Bettucci et al., 2016a
2016-03-23	-56,26	-34,9	4	Sánchez Bettucci et al., 2016 ^a
2016-03-24	-56,28	-34,91	3	Sánchez Bettucci et al., 2016a
2016-03-24	-56,27	-34,91	3	Sánchez Bettucci et al., 2016a
2016-08-09	-62,3	-36,84	3,7	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2016-08-20	-55.128	-31.898	4.6	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2016-08-20	-55.338	-31.134	4.7	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2016-08-24	-54.655	-31.079	4.6	Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser
2016-11-07	-62,33	-36,61	4	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2016-11-24	-56,2	-34,69	3,4	Sánchez Bettucci et al., 2016b
2016-12-22	-58,45	-29,96	3,2	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2017-06-27	-53.22	-31.70	2.1	Observatorio Sismológico, Universidad de Brasilia. Catálogo
2017-09-04	-58,21	-34,04	3	Sánchez Bettucci et al., 2017
2018-01-29	-59,69	-29,66	4,1	Catálogo sísmico brasileiro on-line
2018-06-17	-58,15	-27,1	2,3	Centro de Sismología, Universidad de Sao Paulo
2018-11-22	-59,19	-32,96	3,8	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2018-11-30	-58,48	-34,9	3,8	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2018-12-27	-62,46	-38,56	3,7	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line
2021-01-09	-58,42	-25,43	2,2	Centro de Sismología, Universidad de Sao Paulo
2021-02-17	-56,44	-32,69	1,8	Sánchez Bettucci et al., 2021a
2021-05-08	-55,68	-33,65	4,3	Sánchez Bettucci et al., 2021b
2021-08-05	-58,82	-34,32	3,8?	Volcanodiscovery
2021-08-05	-58,5	-34,578	>3?	Volcanodiscovery
2022-02-25	-58,90	-35,83	3,5	Sánchez Bettucci et al. (2022)
2022-02-25	-59,448	-36,010	3	Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line

? sin datos de magnitud ni localización precisa.



FIGURA 4. Recorte de diarios a) Noticia del diario El Telégrafo (16 de mayo de 1959) en Guaviyú de Arapey, b) Reporte de prensa (El Telégrafo) del evento sísmico del 26 de junio de 1988, c) El Telégrafo (31 de marzo de 1941) noticia sobre deslizamiento de tierra en la sierra de Tambores, d) El Telégrafo (17 enero de 1944) reporte de sismo e) Reporte de prensa del diario El Plata del día 22 de enero de 1948, f) El Telégrafo del 23 de enero de 1948, reporte del sismo.

FIGURE 4. Newspaper cutting a) Notice from El Telégrafo newspaper (16th May, 1959) in Guaviyú Arapey, b) Press report (El Telégrafo) of the seismic event on 26th June, 1988, c) "El Telégrafo" News (31th March, 1941) about landslide of "sierra de Tambores", d) "El Telégrafo" (17th January, 1944) Siesmic report e) Press report from "El Plata" newspaper (22nd January 1948) f) El Telégrafo" Siesmic report, 23rd January 1948.

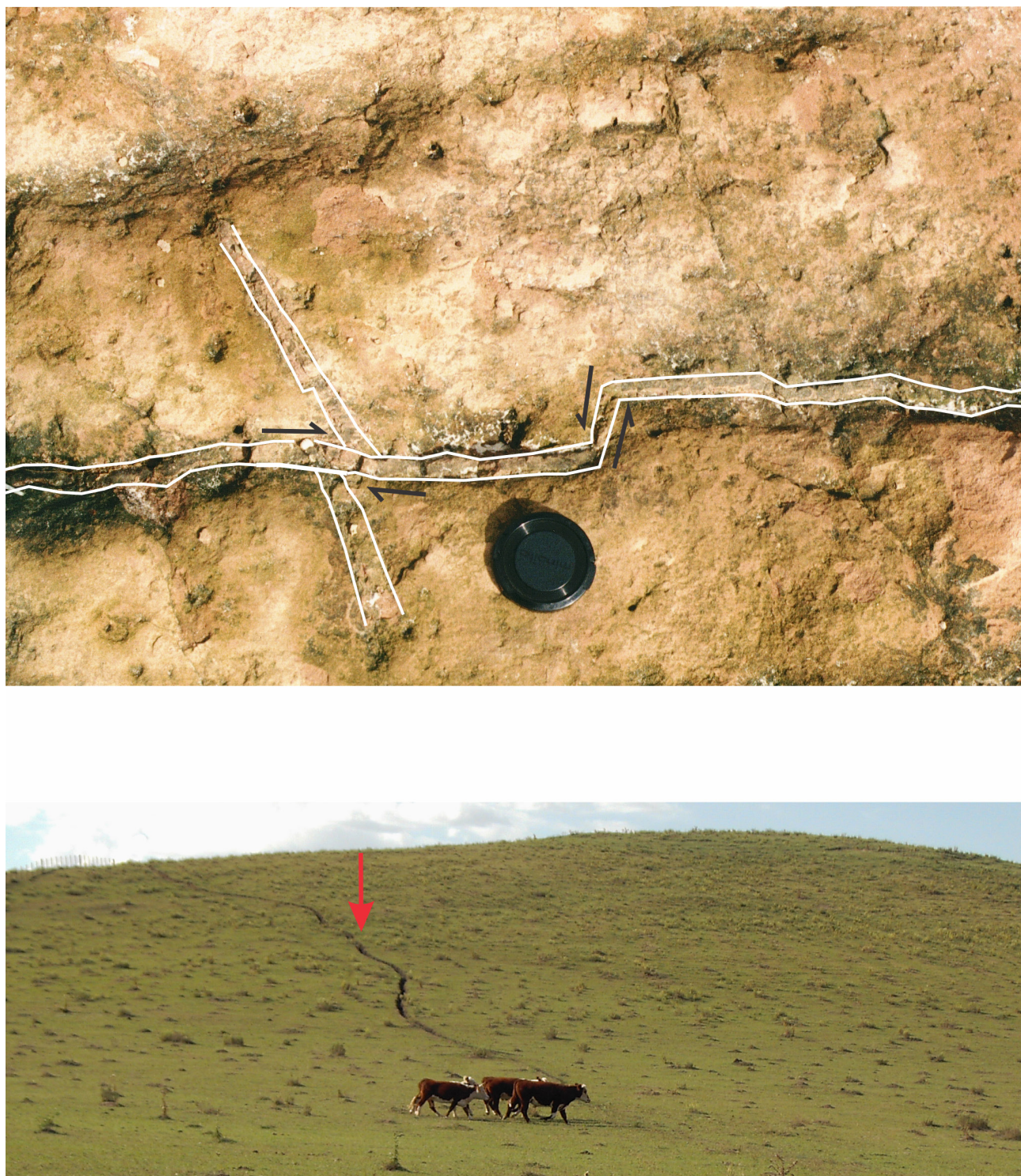


FIGURA 5. Fotografía superior: Evidencia de actividad sísmica durante el Plioceno-Pleistoceno medio (Fm. Raigón, Balneario Ordeix). Fotografía inferior: grieta superficial sobre suelo, departamento de Cerro Largo.

FIGURE 5. On top picture: Siesmic activity evidence during the middle Plioceno-Pleistoceno (Fm. Raigón, seaside Ordeix). Bellow picture: superficial ground fissure at Cerro Largo province.

AMENAZA, RIESGO Y VULNERABILIDAD DE LA REGIÓN DEL RÍO DE LA PLATA

Dependiendo de la magnitud, profundidad (hipocentro o foco), distancia epicentral, condiciones de sitio, tipo de construcciones, tipología constructiva, entre otros, las consecuencias de la ocurrencia de un sismo serán distintas. En regiones de intraplaca o interior continental la atenuación de las ondas sísmicas a través de las distancias es menor que en las regiones de convergencia de placas (por ej. Pratt *et al.*, 2021). Esto, sumado a un hipocentro somero sería causante de mayores daños para una misma magnitud.

Las infraestructuras que no estén preparadas para soportar eventos sísmicos pueden sufrir daños y estos daños generar fatalidades, es entonces que nos hemos preguntado recurrentemente:

¿Uruguay está preparado para un sismo de igual magnitud que aquel que ocurrió en 1542 o 1888? ¿Qué puede ocurrir en las ciudades con importante concentración de población? ¿Los modelos constructivos se han actualizado como para que las diferentes infraestructuras soporten desplazamientos horizontales basados en la estimación de los valores máximos de aceleración de la gravedad? ¿Uruguay cuenta con políticas de Estado que involucren recursos financieros, seguros, formación de capacidades en temas de evaluación de amenaza sísmica, entre otros? ¿Cuál es la percepción de la población frente a una amenaza sísmica?

La región del Río de la Plata presenta un conjunto de fallas superficiales, algunas cercanas a áreas urbanas u obras de ingeniería, centrales nucleares (por ej. Atucha I y II, en Argentina), centrales térmicas (por ej. Candiota, en Brasil) y represas, que no han sido lo suficientemente estudiadas. Los eventos sísmicos constituyen uno de los tipos de desastres ambientales más importantes a nivel del globo y pueden tomarse acciones para disminuir los daños causados por los mismos. Entendemos por amenaza sísmica la probabilidad de ocurrencia (o excedencia) de un sismo (Villacis *et al.*, 2000, Cardona 2001, Carreño 2006, Silva *et al.*, 2020), en un determinado lugar durante un período de tiempo, considerando la peligrosidad, la afectación de poblaciones, infraestructuras, y la capacidad de resiliencia de la población. Los centros urbanos, dada su alta densidad de población, constituyen áreas de alta vulnerabilidad frente a eventos naturales donde más del 40% de los habitantes está directa o indirectamente amenazada (Thouret y D'Ercole 1994, George 1994). Para estimar la amenaza debemos conocer las distintas características de las fallas presentes en la región, contar con un adecuado catálogo sísmico (datos de redes mundiales y redes sismológicas locales), conocer el comportamiento de la propagación de las ondas sísmicas a través de la corteza, y la distribución de la vulnerabilidad de las estructuras, entre otros. Con todo este conjunto de información se determina el riesgo sísmico, en general,

referido a las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales. Los fenómenos sísmicos pueden destruir mucho en muy poco tiempo y generar pérdidas humanas. Lavell *et al.* (2003) mencionaron que en el periodo comprendido entre 1991 al 2000, 211 millones de personas se han visto afectadas por fenómenos naturales y siconaturales; mencionó, además, pérdidas que superan los 90 mil millones de dólares anuales, por lo que claramente la gestión del riesgo tiene que constituir una tarea continua, contar con una gestión eficiente, con intervenciones profundas tanto a nivel local, nacional, regional e incluso, en algunos casos, global.

Los estudios geológicos para la caracterización de fallas como posibles focos de liberación de energía elástica acumulada y que puedan constituir fuentes sismogénicas, la consolidación de una red sismológica nacional con recursos genuinos, la consolidación de un grupo de trabajo, son las primeras medidas que se deberían tomar.

Algunas iniciativas, a nivel regional, para mitigación han surgido, tal como la propuesta de un Código Modelo Sísmico Regional para América Latina y El Caribe (Campos 2017, Watt y Murillo 2019) con la idea de que sea un referente donde se postulen contenidos mínimos y estándares, con la participación de la academia y de diversas instituciones públicas y privadas. El objeto es el análisis de las características constructivas, realidades sísmicas, económicas, entre otras. Se debe hacer una evaluación ante un fenómeno adverso de la pérdida de vidas humanas, daños en infraestructuras públicas y privadas (carreteras y puentes, distribución de agua y electricidad, vivienda, edificaciones, etc.), impacto en el PIB, costo de recuperación-reconstrucción, entre otros (ver Campos 2017). En Uruguay, el peligro sísmico es relativamente menor, pero no quita que deberían incorporarse los peligros sísmicos en las distintas fases de formulación de medianos y grandes proyectos (Rodgers 1993).

La necesidad de estudiar cómo se comportan las estructuras o su grado de vulnerabilidad (entendida como la capacidad de una construcción a sufrir un daño por eventos sísmicos) tales como embalses, es de suma importancia. En relación a esto último, se pueden mencionar algunos de los muchos ejemplos de grandes represas y embalses como disparadores de importantes sismos, siendo los más cercanos en el tiempo el de China en el 2008, Chile en el 2010 y Japón en el 2011. En nuestro país en una dimensión mucho menor tenemos el ejemplo del sismo de 1990 vinculado a la represa Rincón del Bonete (ver Tabla 1). La sismicidad inducida por este tipo de infraestructuras puede traer aparejados efectos adversos (roturas, inundaciones, fallas en el sistema de generación de energía y en el peor de los casos, pérdida de vidas humanas) en una gran área de influencia (Bolt 1983). Esto claramente implica una revisión de los proyectos de cálculo para evaluar

el riesgo sísmico (probabilidad de pérdidas económicas, ambientales y humanas) en el área del embalse o represa. Sin embargo, no hay un criterio generalizado mundialmente para la evaluación de la vulnerabilidad para construcciones en general (Rodríguez-Granados y Puentes-Ortiz 2006). Estudios similares deberían realizarse cuando se instalan emprendimientos mineros cercanos a centros poblados, viviendas, entre otros.

Trabajos preliminares de investigación realizados en Uruguay para analizar los efectos adversos producto de voladuras de cantera (ej. Paraje Minuano, Figura 6), sismos (Evento Las Piedras, Figura 7) y tránsito vehicular (*by-pass* de Pando, Figura 8), en distintos lugares, muestran que el patrón urbano y el tipo de construcción hacen a las infraestructuras susceptibles a daños, lo que se podría considerar como las bases de la vulnerabilidad (Sánchez Bettucci *et al.* 2016b, 2018, 2020). Sánchez Bettucci *et al.* (2020) mencionaron, frente a daños en una vivienda, construida en el marco del Proyecto Nuevas Tecnologías Aplicadas por el M.V.O.T.M.A (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) a viviendas de Interés Social (utilizando el sistema constructivo español B.S.C.P. basado en tecnología Cerch), que las vibraciones generadas por los movimientos de los vehículos deben de considerarse en el cálculo de estructuras. Las cargas o esfuerzos mecánicos a las que se ve sometida una vivienda representan una causa para la aparición de grietas y fisuras. Los sismos (naturales o artificiales) y las explosiones, no son consideradas, ni local ni regionalmente en los proyectos constructivos. En el caso analizado por Sánchez Bettucci *et al.* (2020) se sugiere que las vibraciones que produce el tránsito vehicular, junto con las irregularidades de los pavimentos influyó notoriamente en la afectación de las construcciones (Figura 8).



FIGURA 6. Ejemplos de rajaduras y roturas visibles dentro y fuera de una escuela en la localidad de Paraje Minuano (Colonia) debido a voladuras en cantera (Sánchez Bettucci *et al.*, 2018).

FIGURE 6. Examples of visible cracks and breaks inside and outside a school in the Paraje Minuano town (Colonia) due to blasting in the quarry (Sánchez Bettucci *et al.*, 2018).



FIGURA 7. A y B) Rajaduras y roturas visibles asociadas al evento sísmico ocurrido el 24 de noviembre del 2016 ($M = 3.4$) a las 23:29:01.81 hora local (Sánchez Bettucci *et al.*, 2016b).
FIGURE 7. A and B) Visible cracks and breaks associated with the seismic event occurred on November 24th, 2016 ($M = 3.4$) at 23:29:01.81 local time (Sánchez Bettucci *et al.*, 2016b).



FIGURA 8. En estas imágenes se observan los efectos del tránsito vehicular (*bypass* de Pando) que generó rupturas en las conexiones cubierta–estructura, separación de paneles y grietas verticales producidas por deformaciones transversales. En la imagen del centro se observa una importante grieta vertical con aparente dirección de propagación hacia el piso (fotos gentileza Arq. Antonella Muniz).

FIGURE 8. These pictures show the vehicular traffic effects (*Pando bypass*) that generated breaks in the structure connections, separation of panels and vertical cracks caused by transverse deformations. In the central image shows a significant vertical crack with an apparent direction of propagation towards the floor (photos courtesy of Architect Antonella Muniz).

Los daños producidos por voladuras de cantera y vibraciones de tránsito vehicular nos muestran y sugieren, para el primer caso, las omisiones a nivel de control estatal y para el segundo caso, la falta de normativas constructivas y estudios sobre vibraciones, junto a malos diseños y controles en las ejecuciones de dichas obras. Así también, podemos afirmar que el Uruguay no se encuentra preparado para la ocurrencia de un sismo de similar magnitud al ocurrido, por ej. en 1888. Aparte de problemas señalados en las Figuras 6, 7 y 8, con edificaciones en barrios social y económicamente vulnerables, se suman ejemplos de algunas características constructivas (ver Figura 9) que son plausibles de convertirse en estructuras peligrosas en caso de un evento sísmico de magnitud cercana $M_w = 5.8$ (ver Baxter et al. 2021). Debido a que estos son ejemplos ilustrativos, se desconoce su vulnerabilidad real y su nivel potencial de riesgo. Los daños de envergadura que podría traer aparejado un evento de similares magnitudes con un epicentro cercano a zonas altamente pobladas podrían ser de alto impacto en las infraestructuras y en riesgo de vida de la población. Jaschek (1972) sugirió para esta región, particularmente para provincia de Buenos Aires y la región pampeana, el agregado de elementos constructivos que permitan que las estructuras soporten aceleraciones horizontales del orden de $5 \times 10^{-2} g$ (M ca. 5), mientras que recientemente Baxter et al. (2021) sugieren un valor de $0.1 g$ (M ca. 6.3).

CONCLUSIONES

Se presenta el primer catálogo de eventos sísmicos para el Uruguay y la región del Plata. Uruguay cuenta con una historia de eventos sísmicos, algunos de ellos con magnitudes de 4 o mayor, localizados fundamentalmente en la mitad sur del territorio, donde se encuentra la mayor concentración de la población y por ende dónde se encuentra el mayor desarrollo de infraestructuras en riesgo, como hospitales, edificios gubernamentales, escuelas, industrias, viviendas, entre otros.

Nuestros eventos sísmicos comúnmente están asociados a reactivaciones de antiguas fallas, producto de la tectónica global, aunque no es posible descartar que otras estructuras aún no mapeadas o por debajo de la superficie sean responsables de futuros eventos sísmicos.

La baja frecuencia de eventos en nuestra región junto con el paradigma de *“bajo riesgo, es no riesgo, su gestión es una pérdida de tiempo, lo que no sabemos o no conocemos no nos hará daño”* es un enorme obstáculo para que los tomadores de decisión asuman la importancia de la amenaza sísmica y lleven adelante las acciones necesarias. El problema surgirá cuando uno de estos eventos de baja probabilidad ocurra y sea catastrófico. Por otro lado, las vibraciones a las que se ven sometidas las infraestructuras en las zonas



FIGURA 9. Algunos ejemplos de construcciones que podrían volverse peligrosas en el caso de un terremoto $M=5.8$, similar al de 1888, cercano: a) balcones en voladizo con penetración de agua y refuerzo corroído: una falla podría provocar varias más, b) losa en voladizo sin viga anular y hormigón con deficiente compactación, mal reparada, que podría provocar corrosión y fallas tempranas, c) chimenea de ladrillo que puede caer y tejas cerámicas pesadas que pueden aflojarse y deslizarse, d) tanque de agua de hormigón sobre columnas delgadas con poca resistencia a la flexión, e) torre de agua con poca resistencia a la torsión o flexión (y baldosas cerámicas sueltas), f) unidades de aire acondicionado externas, muchas sin fijación, g) balastrada de ladrillo y balcones de hormigón en voladizo con refuerzo corroído, h) diseño de “piso suave” con baja resistencia al cizallamiento y la torsión.

FIGURE 9. Some constructions examples that could become dangerous in an earthquake event $M=5.8$, similar to that of 1888, nearby: a) cantilevered balconies with water penetration and corroded reinforcement: one failure could cause several more, b) cantilever slab without ring beam and poorly compacted concrete, poorly repaired, which could lead corrosion and early failure, c) brick chimney that can fall and heavy ceramic tiles that can loosen and slide, d) concrete water tank on columns thin with little resistance to bending, e) water tower with little resistance to torsion or bending (and loose ceramic tiles), f) external air conditioning units, many without fixation, g) brick balustrade and concrete balconies in cantilever with corroded reinforcement, h) “soft floor” design with low shear and torsion resistance.

vulnerables son subestimadas o completamente ignoradas.

Aunque el Observatorio Geofísico del Uruguay de la Facultad de Ciencias es la entidad que se encarga del monitoreo sísmico, el país no cuenta aún con estudios y análisis de la mitigación y planificación de un desastre debido a la actividad sísmica.

Es imperativo generar un código de construcción resistente a los terremotos, que, aunque seguramente será resistido debido al aumento de los costos, no debería ser muy oneroso para niveles de riesgo relativamente bajos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sr. Andrés Oberti Rual por todas las notas de prensa con datos históricos sobre la sismicidad que de forma desinteresada nos ha hecho llegar. Agradecen también al Ejército Nacional y al Instituto Geográfico Militar por el apoyo continuo e incondicional a lo largo de los años. A la USP, a la Facultad de Ciencias y al Pedeciba por el apoyo en la adquisición de sensores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E. 1933. Anales Históricos del Uruguay. Tomo II. Casa A. Barreiro y Ramos, p. 207.
- Anales Históricos del Uruguay. 1849. Almanaque y pronóstico para la República Oriental del Uruguay para el año 1849. Imprenta Hispanoamericana, p. 3-9 (anaforas.fic.edu.uy)
- Anónimo. 1884. Brief note on Montevideo earthquake. Nature, vol. 29, 437 pp.
- Assumpção, M. 1998. Seismicity and stresses in the Brazilian passive margin. Bull. Seismol. Soc. Am. 88, p. 160–169.
- Assumpção, M., Feng, M., Tassara, A., Julià, J. 2013. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave tomography. Tectonophysics, 609, 82-96.
- Barili, R.T. 1978. La Historia de Mar del Plata. Editorial Dársena, 116pp.
- Baxter, P.; Sánchez Bettucci, L.; Costa, C. 2021. Assessing the earthquake hazard around the Río de la Plata estuary (Argentina and Uruguay): Implications for risk assessment. Journal of South American Earth Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103509>.
- Benavídez, A. 1995. Terremotos en el Río de la Plata. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Revista Geofísica 43, p. 53-66.
- Benavídez, A. 1998. Sismicidad y sismotectónica en Uruguay. Física de la Tierra, 10, 167.

- Boletines sísmicos del Observatorio de La Plata (20 de agosto de 2021) <http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~rodolfo/fcag/Contenidos/Instrumentos-datos/Estacion-sismologica.html>
- Bolt, B.A. 1983. New Catalog of Strong Earthquakes in the USSR from Ancient Times through 1977: Report SE-31, NV Kondorskaya and NV Shebalin, Editors-in-Chief, Translated and Published by World Data Center A for Solid Earth Geophysics, EDIS, Boulder, Colorado, July 1982, 608 pp.
- Cabeza de Vaca, A.N. 1555. Relación de los naufragios y comentarios de Alvar Núñez Cabeza de Vaca Tomo 1. Librería General de Victoriano Suárez, Madrid.
- Cabeza de Vaca, A.N.; Hernández, P. 1555. The South American expeditions, 1540–1545 /Álvar Núñez Cabeza de Vaca; translated with notes by Baker H. Morrow. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Campos, J.P. 2017. Propuesta “Código Modelo Sísmico Regional –América Latina y El Caribe” X Congreso AICE
- Cardona A.O.D. 2001. Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universitat Politècnica de Catalunya. 300 pp.
- Carrasco, S.; Paolini, C. 2006. Crónicas de un fin de siglo por el montevideano Sansón Carrasco (1892-1909)/ Daniel Muñoz (Vol. 3). Ediciones de la Banda Oriental, 400 pp.
- Carreño, M.L. 2006. Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Tesis doctoral. Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona. 278 pp.
- Castro, H. 2021. Inversión de la estructura de la corteza a través de curvas de elipticidad basadas en ruido sísmico y eventos sísmicos, Tesis de grado Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, UDELAR, 106 pp.
- Centro de Sismología, Universidad de Sao Paulo (20 de agosto de 2021) <http://moho.iag.usp.br/rq/event>
- Dragone, G. N., Bologna, M. S., Ussami, N., Giménez, M. E., Alvarez, O., Klinger, F. G. L., Correa-Otto, S. 2021. Lithosphere of South American intracratonic basins: Electromagnetic and potential field data reveal cratons, terranes, and sutures. Tectonophysics, 811, 228884.
- Drewes, H., y Heidbach, O. 2012. The 2009 horizontal velocity field for South America and the Caribbean. In Geodesy for planet earth (pp. 657-664). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Feng, M., Van der Lee, S., Assumpção, M. 2007. Upper mantle structure of South America from joint inversion of waveforms and fundamental mode group velocities of Rayleigh waves. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 112(B4).
- George, P. 1994. La ville et ses dangers: Chaline C. et Dubois-Maury J. 1994, La ville et ses dangers. In Annales de géographie (Vol. 103, No. 577, pp. 323-324). Persée-Portail des revues scientifiques en SHS.
- Giesecke, A.; Gómez Capera, A.A.; Laeschiutta, I.; Migliorini, E.; Rodríguez Valverde, L. 2004. The CERESIS earthquake

catalogue and database of the Andean Region - background, characteristics and examples of use, *Annals of Geophysics*, 47(2/3), p. 421 - 435.

Gómez Capera, A.A.; Stucchi, M. 2015. The T4 working catalogue before 1964 of the SARA project, SARA-GEM.

Gómez Capera, A.A.; Stucchi, M.; Arcila, M.; Rodríguez, L.; Bufaliza, M.; Choy, J.; Leyton, L.; Pirchiner, M.; Rendón, H.; Sarabia, A.; Tavera, H.; Yepes, H. 2020. Catálogo de terremotos de América del Sur homogéneo en Mw para el periodo pre-1964. *GEOS, Boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana*, GEOS, 40(1), 40pp.

Goso, H., & Bossi, J. (1966). *Cenozoico. Geología del Uruguay*. Universidad de la República, Montevideo, 259-305.

Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Earthquake browser (20 de agosto de 2021) <https://ds.iris.edu/ds/>

Instituto Nacional de Prevención sísmica (INPRES): Catálogo sísmico Argentino on-line (20 de agosto de 2021) <https://www.inpres.gob.ar/desktop/>

International seismological center (20 de agosto de 2021) <http://www.isc.ac.uk/isc-ehb/search/catalogue/>

Jaschek E. 1972. ¿Hay Sismos en la Provincia de Buenos Aires?, *Ciencia e Investigación*, vol. 28, p. 26-29.

Lavell, A.; Mansilla, E.; Smith, D. 2003. La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. En: *La gestión local del riesgo: Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*, Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 101 pp.

Milani, E.J.; Melo, J.H.G; Souza, P.A.; Fernández, L.A.; França, A.B. 2007. Bacia do Paraná, *Boletim Geociências Petrobras*, v. 15, n 2, p-265-287.

Morales, E., Veroslavsky, G., Manganelli, A., Marmisolle, J., Pedro, A., Samaniego, L., Plenc, F., Umpierrez, R., Ferreira, M, Morales, M. 2021. Potential of geothermal energy in the onshore sedimentary basins of Uruguay. *Geothermics*, 95, 102165.

Observatorio Sismológico, Universidad de Brasilia (20 de agosto de 2021) catálogo <http://obsis.unb.br/portalsis/?pg=seism>

Pratt, T.L.; Chapman, M.C.; Shah, A.; Horton Jr. J.W.; Boyd, O. 2021. Ten years on from the quake that shook the nation's capital, *Eos*, 102, <https://doi.org/10.1029/2021EO162330>

Rede sismográfica brasileira (20 de agosto de 2021) <http://www.rsbr.gov.br/request.html>

Riccardi, A. C. 1988. *The Cretaceous system of southern south America* (Vol. 168). Geological Society of America.

Rodgers, K.P. 1993. *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Organización de Estados Americanos. Washington, DC

<http://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/begin.%20htm#%20Contents>.

- Rodríguez-Granados, E.; Puentes-Ortiz, J. 2006. INGETEC S.A, Vulnerabilidad Sísmica de la Presa 'El Tambor' del Sistema San Rafael. Bogotá. Documento No. EVCH-INF-08.
- Rodríguez, M., Castro, H., Curbelo, A., Latorres, E., Castro Artola, O., Assumpção, M., 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 (AAGG 2017), La Plata, Argentina. Actas, p. 246. http://aagg.fcaglp.unlp.edu.ar/reunion_2017/uploads/Programa_AAGG2017.pdf
- Rodríguez, M. 2019. Determinación del espesor cortical y la relación Vp/Vs debajo de tres estaciones sismológicas de banda ancha en Uruguay mediante el análisis de funciones receptoras. Tesis de grado Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, UDELAR, 74pp.
- Rosa, M. L., Collaço, B., Assumpção, M., Sabbione, N., Sánchez, G. 2016. Thin crust beneath the Chaco-Paraná Basin by surface-wave tomography. *Journal of South American Earth Sciences*, 66, 1-14.
- Sanchez Bettucci, L., Peel, E., Oyhantçabal, P. 2010. Precambrian geotectonic units of the Río de La Plata craton. *International Geology Review*, 52(1), 32-50.
- Sánchez Bettucci, L. 2017. Instrumentación sísmica, riesgo sísmico y sociedad. CELADE, Intendencia Municipal de Montevideo.
- Sánchez Bettucci, L.; Rodríguez, M.; Castro, H.; Curbelo, A.; Castro Artola, O.; Latorres, E. 2016a. Informe evento UY20160323 Casabó. Observatorio Geofísico del Uruguay, www.ogu.fcien.edu.uy, 7 pp.
- Sánchez Bettucci, L.; Castro Valle, H.; Rodríguez, M.; Curbelo, A.; Arduin, F.; Núñez, P.; Latorres, E.; Castro, O. 2016b. Informe de Evento Uy24112016 -Las Piedras-. Observatorio Geofísico del Uruguay, www.ogu.fcien.edu.uy. 16 pp.
- Sánchez Bettucci, L.; Castro Valle, H.; Rodríguez, M.; Curbelo, A.; Latorres, E.; Lefebvre, R. 2017. Informe de Evento Carmelo, Departamento de Colonia Código de Informe: UY20170509 Observatorio Geofísico del Uruguay. www.ogu.fcien.edu.uy. 15 pp
- Sánchez Bettucci, L., Castro, H., Curbelo, A., Rodríguez, M., Lefebvre, R., Dell'Acqua, D., Latorres, E. 2018. Informe de Detonaciones. Paraje Minuano. Código de Informe: Id20180522. Registro de explosiones durante el periodo 26/07/2017 a la fecha (20/06/2018) Observatorio Geofísico del Uruguay. www.ogu.fcien.edu.uy, 6 pp
- Sánchez Bettucci, L.; Latorres, E.; Loureiro Olivet, J.; Castro, H.; Curbelo, A.; Rodríguez, M.; Dell 'Acqua, D. 2020. Informe sobre Roturas en Vivienda próxima al *by-pass* de Pando. Observatorio Geofísico del Uruguay. www.ogu.fcien.edu.

uy, 7 pp

- Sánchez Bettucci, S., Loureiro, J., Núñez Demarco, P. 2021a. Airborne geophysical characterization of Uruguayan basement. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103206.
- Sánchez Bettucci, Loureiro Olivet, J.; Vázquez Marín, J.; Argandoña, G. 2021b. Reporte de evento sísmico ocurrido el 17-02-2021 (estación R2EE0) Paso de los Toros, Uruguay. Observatorio Geofísico del Uruguay. www.ogu.fcien.edu.uy
- Sánchez Bettucci, L.; Loureiro Olivet, J.; Castro, H.; Rodríguez, M.; Dell'Acqua, D.; Latorres, E.; Curbelo, A. 2021c. Informe de Evento UY05082021-Florida. Observatorio Geofísico del Uruguay www.ogu.fcien.edu.uy. 5 pp.
- Sánchez, L., Drewes, H. 2016a Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America. *Journal of Geodynamics*, 102, 1-23.
- Sánchez, L., Drewes, H. 2016b. Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America, links to crustal deformation model VEMOS2015 files. PANGAEA.
- Sánchez Bettucci, L.; Mazza, A.; Castro-Artola, O.; Castro, H.; Latorres, E.; Loureiro, J.; Rodríguez, M.; Dell'Acqua, D.; Curbelo, A.; Costa, M. 2022. Informe de Evento UY25022022-Provincia de Buenos Aires (Argentina). Observatorio Geofísico del Uruguay www.ogu.fcien.edu.uy. 4 pp.
- Seemüller, W., Sánchez, L., Drewes, H. (2010). The position and velocity solution SIR10P01 of the IGS regional network associate analysis center for SIRGAS (IGS RNAAC SIR). DGFI Report No. 89. Munich, 120 p. Disponible en www.sirgas.org.
- Servicio Meteorológico del Uruguay. 1944. Informe interno.
- Silva, V.; Amo-Oduro, D.; Calderon, A.; Costa, C.; Dabbeek, J.; Despotaki, V.; Martins, L.; Pagani, M.; Rao, A.; Simionato, M.; Viganò, D.; Yepes-Estrada, C.; Acevedo, A.; Crowley, H.; Erri, M.; Horspool, N.; Jaiswal, K.; Journeay, M.; Pittore, M. 2020. Development of a global seismic risk model. *Earthquake Spectra*, 36(1_suppl), 372-394. <https://doi.org/10.1177/8755293019899953>
- Thouret, J.C.; Ercole, R. 1994. Croissance urbaine et risques naturels dans les montagnes des pays en développement. En: Colloque international: " Croissance urbaine et risques naturels dans les pays en développement". Institut de Géographie Alpine, 82(4): 192.
- United States Geological Service (USGS): Earthquake catalog (20 de agosto de 2021) <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
- van Elk, J.; Bourne, S.J.; Oates, S.J.; Bommer, J.J.; Pinho, R.; Crowley, H. 2019. A probabilistic model to evaluate options

for mitigating induced seismic risk. *Earthquake Spectra*, 35(2): 537-564.

Veroslavsky, G.; Ubilla, M.; Martínez, S. 2004. Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Geología, Paleontología y Recursos Naturales: Cenozoico. Montevideo: DIRAC.

Villacis, C.; Cardona, C.N.; Tucker, B. 2000. Implementation of fast earthquake scenarios for risk management in developing countries. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, CD-ROM.

Volcanodiscovery (20 de agosto de 2021) <https://www.volcanodiscovery.com/es/earthquake-monitor.html>

Watt, I.; Murillo, M. 2019. Trabajo subcomité contenidos mínimos Código Modelo de Diseño sísmico para América Latina y el Caribe. XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica, ACHISINA, 6 pp.