

Artículo Original
Original Article

EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS REGIONALES EN LAS EDIFICACIONES EN ASUNCIÓN – PARAGUAY EFFECTS OF REGIONAL EARTHQUAKES ON BUILDINGS IN ASUNCION – PARAGUAY

Alcides Caballero

*Laboratorio de Sismología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo, Paraguay.*

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5951-2997>

Moisés Gadea

*Laboratorio de Sismología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo, Paraguay.*

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4628-5668>

Mirian Almada

*Investigador independiente
Paraguay.*

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1672-5773>

Autor correspondal: Alcides Caballero: maxikballero@gmail.com

Cómo citar este artículo:

Caballero A, Gadea M, Almada M. Efectos de los terremotos regionales en las edificaciones en Asunción – Paraguay. Rev. Soc. cient. Parag. 2025;30(1):70-82.

RESUMEN

Paraguay experimenta una actividad sísmica de moderada a baja magnitud. Además, el país se ve afectado por terremotos regionales, cuyo impacto es particularmente notable en los edificios de Asunción. Cuando la energía sísmica proveniente de terremotos en Argentina o Chile alcanza el territorio paraguayo y algunos edificios experimentan flexiones debido a un efecto de resonancia, lo que genera oscilaciones perceptibles y causa alarma en la población. El análisis y repercusiones de estos eventos constituyen el objetivo de este estudio. A través de una revisión de reportes de prensa, comunicados oficiales, datos tabulados por el laboratorio de sismología y registros de centros de monitoreo regionales, se han obtenido consideraciones preliminares sobre la naturaleza de los temblores en los edificios capitalinos. Se ha recopilado al menos treinta reportes, los cuales fueron representados en un mapa temático de la geografía de Asunción. Estas vibraciones son más pronunciadas en los niveles superiores de las estructuras, donde la percepción de inestabilidad es mayor. Se estima que estos efectos continuarán ocurriendo de manera aleatoria en el tiempo y con mayor frecuencia, considerando la alta actividad sísmica en el norte de Argentina y el centro-norte de Chile, así como el constante crecimiento del parque edilicio en Asunción. Hasta la fecha, la respuesta de los edificios a los terremotos regionales ha sido impredecible debido a la falta de estudios específicos sobre sismorresistencia y efectos de sitio.

Palabras clave: Ciudad de Asunción; Edificios; Paraguay; Países regionales; Terremotos.

ABSTRACT

Paraguay experiences seismic activity of moderate to low magnitude. Additionally, the country is affected by regional earthquakes, whose impact is particularly notable in the buildings of Asunción. When seismic energy from earthquakes in Argentina or Chile reaches Paraguayan territory some buildings undergo flexing due to a resonance effect, generating perceptible oscillations and causing alarm among the population. The analysis and the aftermaths of these events are the objective of this study. Through a review of press reports, official statements, data compiled by the seismology laboratory, and regional monitoring centers, some preliminary considerations have been made regarding the nature of tremors in the capital's buildings. At least thirty reports have been recorded and plotted on a thematic map of Asunción's geography. These vibrations are more pronounced in the upper levels of structures, where the perception of instability is greater. It is estimated that these effects will continue to occur randomly over time and with increasing frequency, considering the high seismic activity in northern Argentina and central-northern Chile, as well as the ongoing expansion of Asunción's building infrastructure. So far, the response of buildings to regional earthquakes has been unpredictable due to the lack of specific studies on seismic resistance and site effects.

Keywords: City of Asuncion; Buildings, Earthquakes; Paraguay; Regional countries.

INTRODUCCIÓN

Se ha sabido por observaciones determinísticas en el tiempo que Paraguay no ha sufrido desastres causados por terremotos violentos, a diferencia de aquellos países enmarcados en el contexto del Cinturón del Fuego del Pacífico o en zonas de alta sismicidad ⁽¹⁾⁽²⁾. Sin embargo, se ha reportado a nivel local, pequeñas sacudidas o temblores que en la mayoría de las veces no ocasionaron daños de índole alguna ⁽³⁾.

Si se consideran las fuentes sismogénicas paraguayas, existen dos tipos y ambas son del estilo intraplaca: 1. La chaqueña, la cual se destaca por sus sismos profundos y de magnitudes moderadas vinculados a la convergencia de las Placas Sudamericana y de Nazca; y 2. en la cuenca del Paraná y la zona cratónica del Sur, relacionada a la tectónica local, que se destacan por sus eventos de magnitudes bajas y escasas profundidades ⁽⁴⁾.

Según el Laboratorio de Sismología de FaCEN – UNA, se ha contabilizado 45 eventos locales ⁽³⁾, y a ese inventario deberían agregarse otros tres eventos, acaecidos en los años 2020 (1) y 2022 (2) en el tiempo de la pandemia, por lo cual suman 48 en total. En relación a lo observado hasta la actualidad, se estima que este tipo de sismos no asoma peligrosidad alguna a la población paraguaya.

En ese sentido, se comenta que existe una tercera fuente de perturbación sísmica que afecta al territorio paraguayense mencionada por Caballero ⁽⁵⁾, la cual no se origina localmente, sino en los países regionales, especialmente en Argentina y Chile. Acerca de la misma, el autor sólo hace mención y no se explora con mayores detalles. Debido al vacío que representa este conocimiento, se justifica un trabajo que aborde el tema con una revisión a mayor escala, en cuanto sus nociones, causalidades, episodios y la evaluación de los riesgos involucrados.

METODOLOGIA

Esta búsqueda se fundamentó principalmente en los registros y archivos del Laboratorio de Sismología de FaCEN – UNA; en los centros de monitoreo sísmico regional y en los reportes de numerosas personas que percibieron vibraciones, temblores o movimientos de objetos luego de algún terremoto en Argentina o Chile. Los testimonios fueron obtenidos a través de los diversos medios de prensa, sea escrita, TV o internet, y en base a ello se realizó un inventario del número tentativo de episodios experimentados. Para comprobar que las sacudidas locales respondieron a los terremotos de países foráneos (Argentina y Chile), se apeló a las tabulaciones de tiempos de viaje de las ondas sísmicas desde su origen hasta la llegada a los sismómetros paraguayos. Estos datos fueron obtenidos del Laboratorio de Sismología de FaCEN – UNA ⁽⁷⁾, y del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) ⁽⁸⁾. Mapas temáticos fueron confeccionados para ilustrar las fuentes sismogénicas y así también los lugares capitalinos donde estos sismos causaron secuelas. Para ese efecto se utilizó el programa QGIS Las Palmas v. 2.18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El monitoreo sísmico en Paraguay

La estación sismológica (CPUP, *Caapucu, Paraguay*) se localiza dentro del Campus Universitario en San Lorenzo, en el predio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y fue instalada en los años 1993 y 1994, bajo el convenio del Gobierno de los Estados Unidos de América, representado originalmente por el Servicio de Exploración Geológica de los Estados Unidos (USGS) y en la actualidad por el Centro de Aplicaciones Técnicas de la Fuerza Aérea (AFTAC), con el Gobierno Nacional paraguayo. Desde el 4 de agosto de 1994, la estación ha estado monitoreando la actividad sísmica a nivel mundial ⁽⁶⁾.

Por lo experimentado desde su fundación e inicio de operaciones, la estación sismológica en FaCEN-UNA ha registrado miles de eventos en todo el mundo, incluso dentro del territorio paraguayo. Algunos de estos terremotos fueron devastadores, como por ejemplo los desplegados en la Tabla 1.

#	Fecha	Lat.	Lon.	País	M _w	Prof. (km)
1	06/02/2023	37.22	37.01	Turquía	7.8	10
2	19/09/2017	18.55	-98.48	México	7.1	48
3	11/03/2011	38.29	142.37	Japón	9.1	29

Tabla 1. Terremotos destructivos en diversas geografías del mundo captadas por la estación CPUP.

#	t(o) UTC (USGS)	t(arr.) UTC (CPUP)	t(o) – t(arr.)
1	01:17:34	01:32:17	00:13:43
2	18:14:38	18:24:37	00:09:59
3	05:46:24	06:06:24	00:20:00

Tabla 1 (continuación): Diferencia del tiempo de origen del sismo y el tiempo de llegada a los sismómetros en Paraguay. En donde **Lat.** es Latitud; **Long.** es Longitud; **M_w** es Magnitud de Momento; **Prof.** es Profundidad en kilómetros; **t(o) UTC**, es tiempo de origen según el Tiempo Universal Coordinado; **t(arr.) UTC**, es el tiempo de llegada a los sismómetros en Paraguay y **t(o) – t(arr.)** es el tiempo en minutos que tarda en viajar la onda sísmica desde el origen del sismo hasta su llegada a los sismómetros en Paraguay; dicho así, el tiempo de viaje de la onda sísmica. **USGS**, United States Geological Survey. **CPUP**, estación paraguaya. Fuente: USGS y Laboratorio de Sismología FaCEN – UNA.

En la Tabla 2 se han tabulado los sismos argentinos registrados por la estación paraguaya CPUP, en la cual se observó el tiempo requerido para el alcance de las ondas sísmicas a los sismómetros en Caapucu. Este tiempo, al que lo llamamos aquí, *tiempo de viaje*, está dado por la diferencia entre el *tiempo de origen* del sismo en su foco **t(o)** y el *tiempo de arribo* a los sismómetros en Paraguay **t(arr.)**, independientemente de su trayectoria:

$$t(o) - t(arr.)$$

Mediante esta diferencia de tiempo se ha sabido que, para los sismos en el norte de Argentina, la llegada de las ondas sísmicas a Paraguay promedia el tiempo de 00:01:59 (un minuto y cincuenta y nueve segundos), e incrementa en la medida que los epicentros se alejan hacia la Cordillera de los Andes. Por lo observado en los monitoreos en la estación CPUP, estos valores no difieren en demasía entre sí.

#	Fecha	Lat. (S)	Lon. (O)	Prov. Argentina	M _w	Prof. (km)
1	25/03 16:14:19	25.81°	63.47°	Chaco	4.7	567.9
2	25/01 14:51:58	24.13°	67.14°	Salta	4.7	177
3	25/01 14:45:20	26.58°	65.26°	Tucumán	4.5	10
4	03/01 08:04:04	28.45°	68.81°	La Rioja	5.5	117
5	02/01 22:57:00	23.36°	66.61°	Jujuy	5.0	188.6
6	02/01 14:33:33	24.03°	66.74°	Salta	4.6	188.4
7	14/12 14:57:30	24.07°	66.80°	Salta	5.2	189.7
8	24/11 15:30:00	26.97°	63.39°	Sant. del Estero	4.5	562.7
9	16/10 18:33:19	24.52°	67.01°	Salta	5.0	172.6
10	10/10 10:01:31	22.91°	66.25°	Jujuy	6.0	253

Tabla 2. Sismos en el territorio argentino registrados por la estación CPUP en los últimos meses del año 2023 y principios del 2024.

#	t(o) UTC (USGS)	t(arr.) UTC (CPUP)	t(o) – t(arr.)
1	16:14:19	16:15:56	00:01:23
2	14:45:20	14:47:11	00:01:51
3	14:51:58	14:54:08	00:02:10
4	08:04:04	08:06:26	00:02:22
5	22:57:00	22:59:08	00:02:08
6	14:33:33	14:35:39	00:02:06
7	14:57:30	14:59:34	00:02:04
8	15:30:00	15:31:35	00:01:35
9	18:33:19	18:35:25	00:02:06
10	10:01:31	10:03:32	00:02:01

Tabla 2 (continuación). Diferencia del tiempo de origen de los sismos y los tiempos de llegada a los sismómetros en Paraguay. Fuente: USGS y Laboratorio de Sismología FaCEN –UNA.

En la Tabla 3 se han enumerado algunos sismos chilenos recientes registrados por la estación paraguaya CPUP, donde se observó el tiempo necesario para que las ondas sísmicas alcancen los sismómetros en Caapucu. Se ha comprobado que las ondas sísmicas de los terremotos del centro o el norte de Chile llegan a los sismómetros en Paraguay luego de un viaje, en promedio, de 00:03:01 (tres minutos y un segundo) a partir de la sacudida inicial en sus respectivos focos. Los retardos de los sismos chilenos son mayores que el de los argentinos en virtud de sus lejanías relativas con respecto a Paraguay.

#	Fecha/Hora ⁽⁸⁾	Lat. (S)	Lon. (O)	Región - Chile	M _w	Prof. (km)
1	03/04 13:51:56	36.93°	72.93°	Bio Bio	5.2	36.8
2	03/04 06:35:02	36.05°	73.58°	Bio Bio	4.9	10.9
3	11/02 21:14:43	28.24°	71.28°	Atacama	5.4	33.9
4	25/01 18:58:12	21.80°	68.44°	Antofagasta	5.0	121
5	24/01 08:05:10	22.18°	68.64°	Antofagasta	5.3	113
6	15/01 05:17:38	22.85°	68.12°	Antofagasta	5.0	99.9
7	21/12 16:21:52	21.90°	70.15°	Antofagasta	5.6	61.7
8	06/11 13:51:10	33.07°	71.95°	Valparaíso	5.1	30.9
9	31/10 12:33:43	28.74°	71.55°	Atacama	6.6	34
10	26/10 21:49:34	28.70°	70.26°	Atacama	5.4	101.2

Tabla 3. Sismos en el territorio chileno registrados por la estación CPUP en los últimos meses del año 2023 y principios del 2024.

#	t(o) UTC (USGS)	t(arr.) UTC (CPUP) ⁽⁷⁾	t(o) – t(arr.)
1	13:51:56	13:55:45	00:03:49
2	06:35:02	06:38:55	00:03:53
3	21:14:43	21:17:37	00:02:54
4	18:58:12	19:00:46	00:02:34
5	08:05:10	08:07:41	00:02:31
6	05:17:38	05:20:06	00:02:28
7	16:21:52	16:24:43	00:02:51
8	13:51:10	13:54:35	00:03:25
9	12:33:43	12:36:43	00:03:00
10	21:49:34	21:52:18	00:02:44

Tabla 3 (continuación). Diferencia del tiempo de origen de los sismos y sus tiempos de llegada a los sismómetros en Paraguay. Fuente: USGS y Laboratorio de Sismología FaCEN – UNA.

Cabe aclarar, que los sismos de las Tablas 2 y 3 no necesariamente fueron percibidos en Paraguay, sino que estos datos fueron desplegados para representar los tiempos de viajes aproximados de las ondas sísmicas a partir de sus tiempos de origen en Argentina y Chile hasta sus arribos a los sismómetros paraguayos.

En cuanto a las posibles secuelas de terremotos ocurridos en Argentina o Chile en Paraguay, ante un temblor o sacudida registrada localmente, se sigue un procedimiento establecido para evaluar la actividad sísmica regional. Esto se realiza a través de los centros de monitoreo sísmico y el Laboratorio de Sismología de FaCEN - UNA. Si el tiempo de viaje de las ondas sísmicas, desde su origen hasta Asunción, que en este trabajo se muestran ordenados en tablas, coincide con la hora del reporte de los pobladores en relación al terremoto en el país vecino, se concluye que esos terremotos fueron sentidos en Paraguay.

En la Tabla 4 se tabularon los datos de los terremotos foráneos que fueron percibidos en Paraguay y luego representados en la Figura 1. En ese sentido y según la experiencia de los pobladores, se ha constatado que no sólo en edificaciones elevadas se ha experimentado efectos de sismos lejanos, sino que también en construcciones de escasa altura o en el nivel de base en superficie. Un ejemplo muy elocuente de esto se ha observado cuando las aguas de una piscina en el barrio Herrera de Asunción ondularon luego del terremoto en Illapel - Chile de M_w 8.3 en septiembre del año 2015, y que también fuera detectado por los sismómetros del Laboratorio de Sismología en FaCEN – UNA (Fig. 2)

Así también, el terremoto de magnitud 7 en San Juan - Argentina en el año 1944 afectó a la localidad de General Díaz - Ñeembucu, acerca del cual su efecto fue testimoniado por un lugareño: Marcial Brull rememoró que *en aquel tiempo su familia tenía un almacén y las botellas caían de la estantería por la intensidad de la vibración* ⁽¹⁰⁾.

#	Fecha	Lat.	Lon.	País	Prof. (Km)	M _w	Fuente
1	15/01/1944*	-31.37	-68.43	Argentina	15	7.0	USGS
2	07/09/2004	-28.58	-65.83	Argentina	22.3	6.4	CPUP
3	21/03/2005	-24.68	-63.43	Argentina	557.8	6.9	CPUP
4	21/03/2005	-24.93	-63.36	Argentina	561.6	6.4	CPUP
5	12/11/2006	-26.07	-63.29	Argentina	572	6.8	CPUP
6	27/02/2010	-36.28	-73.23	Chile	30.1	8.8	CPUP
7	02/09/2011	-28.39	-63.02	Argentina	578.9	6.7	CPUP
8	06/10/2011	-24.18	-64.25	Argentina	15	5.9	CPUP
9	28/05/2012	-28.06	-63.07	Argentina	586.9	6.7	CPUP
10	16/09/2015	-31.57	-71.65	Chile	25	8.3	CPUP
11	17/10/2015	-25.40	-64.43	Argentina	8.2	5.9	CPUP

Tabla 4. Eventos regionales con repercusiones en Paraguay (especialmente en los edificios de Asunción).
Fuente: USGS y Laboratorio de Sismología FaCEN – UNA. *Sismo de San Juan – Argentina, episodio en el cual se ha reportado caída de objetos en un comercio en General Díaz – Ñeembucu.

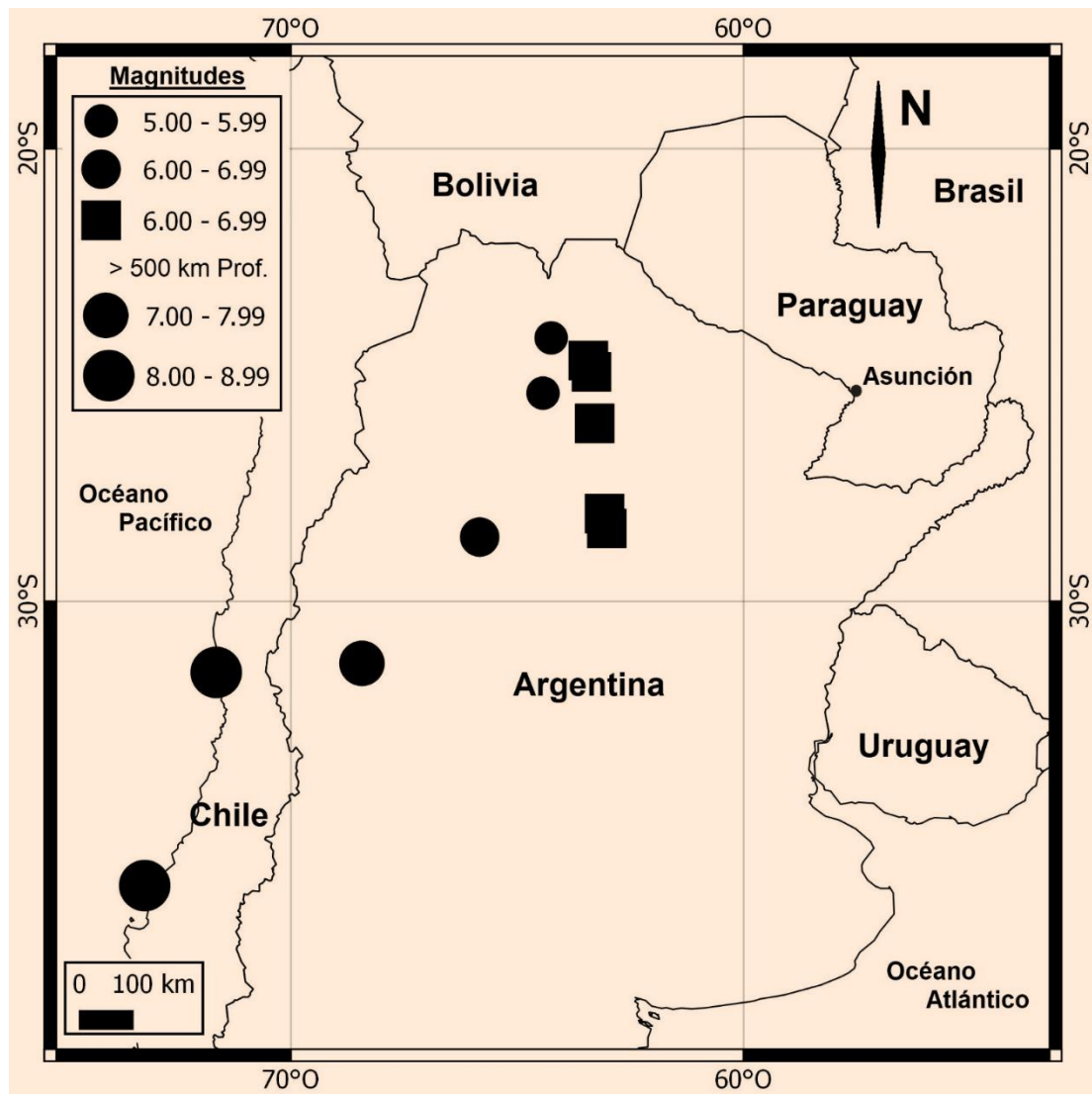


Figura 1. Epicentros de terremotos regionales con secuelas en Paraguay. Elaboración propia (Gadea y Almada, 2025)

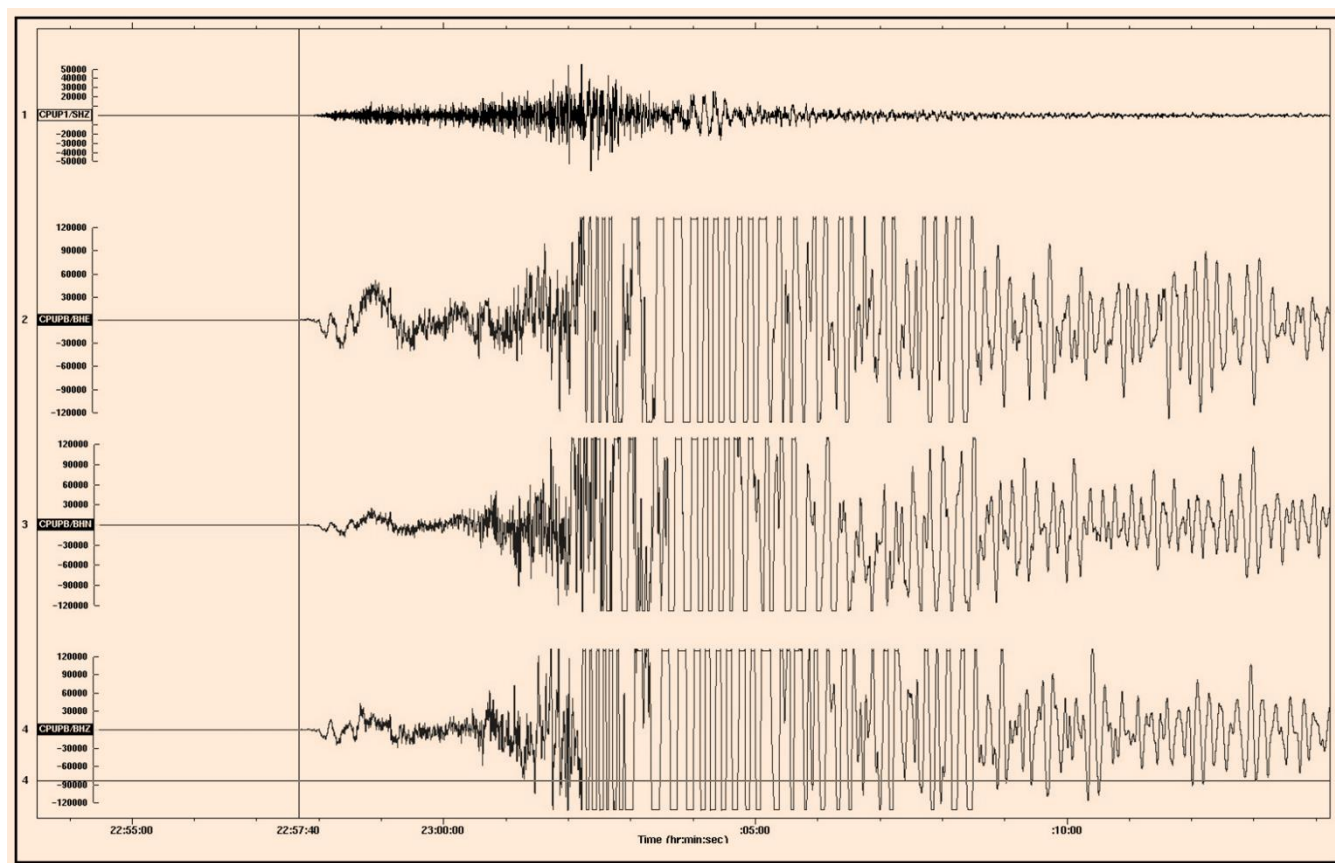


Figura 2. Sismograma digital del terremoto de Illapel – Chile, de M_w 8, el 15 de septiembre del 2015. Fuente: Laboratorio de Sismología de FaCEN – UNA.

Edificios en Asunción donde fueron percibidos efectos de terremotos.

En la Tabla 5 se enumeran los terremotos cuyas ondulaciones alcanzaron la ciudad de Asunción y los lugares donde fueron reportados incidentes. En la Figura 3 se ilustra la situación geográfica de los edificios en Asunción.

Evento/Sismo	Edificio	Barrio	Percepción/Efecto/Experiencia/Reportes
Catamarca – Arg. ⁽⁸⁾ Sep. 2004 Mw 6.4	Mun. de Asunción, Citicenter, ANDE, Fiscalía, Palacio de Justicia.	Herrera, Villa Morra, Las Mercedes, Microcentro, Sajonia,	Vibración en los pisos elevados de los edificios. Hecho reportado por varias personas ^(11, 12)
Salta – Arg. ^(7, 8) Mar. 2005 Mw 6.9	Mun. De Asunción IPS ANDE, Estado Mayor, ITAIPU, Yvaga	Herrera, Trinidad, Las Mercedes, Ciudad Nueva, Las Mercedes, Microcentro	Vibración en varios edificios de la ciudad capital, sobre todo en sus últimos niveles superiores ⁽¹³⁾
Ídem. Ant. Mw 6.4	S/D	S/D	Réplica. ⁽¹³⁾
S. del Estero – Arg. Nov. 2006 ^(7, 8) Mw 6.8	Mun. de Asunción, IPS, Altos, Sanatorio La Costa ITAIPU, Min. Hacienda, Yvaga	Herrera, Trinidad, Villa Morra Las Mercedes, Las Mercedes, Microcentro, Microcentro.	Vibración en la zona de Villa Morra y la Avenida Artigas; y en el sanatorio La Costa por pacientes y el personal de guardia. Aseguran que los eventos fueron dos. El temblor fue percibido en el cuarto piso del edificio Alto de Villa Morra, lo cual causó susto ⁽¹⁴⁾ .
Bio Bio – Chil. ^(7, 8) Feb. 2010 Mw 8.8	Citicenter	Villa Morra	Movimiento de objetos en varios edificios de Asunción. ⁽¹⁵⁾

S. del Estero – Arg. Sep. 2011 ^(7, 8) Mw 6.7	ANDE	Las Mercedes	Varias personas reportaron la vibración en la hora señalada, aunque los temblores no causaron mayor alarma en la población paraguaya ^(16, 17)
Salta – Arg. ^(7, 8) Oct. 2011 Mw 6.2	Mun. de Asunción, B. Continental, Urano, COPACO ANDE ITAIPU Banco Central Min. del Interior Congreso Nacional, M. R. Exteriores, Fiscalía.	Herrera, San Blas, Las Mercedes, Ciudad Nueva, Las Mercedes, Las Mercedes, Las Lomas, Microcentro, Microcentro, Microcentro, Microcentro.	Fue reportada una serie de temblores en algunos edificios en Asunción. Sentido en el quinto piso del edificio de ANDE. Algunos edificios fueron evacuados en el microcentro de Asunción. Temblor de diez segundos de duración en el edificio de COPACO. Según reportes, también percibido en el Barrio Seminario y en el Grupo Habitacional del Aeropuerto. ^(18, 19)
S. del Estero – Arg. May 2012 ^(7, 8) Mw 6.7	Panorámico.	Microcentro.	Vibración en los últimos pisos del edificio Panorámico ⁽²⁰⁾
Choapa – Chil. Sep. 2015 Mw 8.3 ^(7, 8)	Martinica, Casavista, Alta Vista, Citicenter, COOMECEPAR, 14 de Mayo.	Ycua Sati, Ycua Sati Villa Morra, San Roque, Microcentro.	Los edificios Citicenter y Martinica fueron evacuados. En el edificio del Citicenter fue reportada una fisura en una estructura de la escalera de emergencia como consecuencia del sismo. El edificio Citicenter fue clausurado. Movimiento de muebles y caída de objetos en el edificio Martinica. Las aguas de una piscina en el barrio Herrera ondularon en esa misma hora. ^(21, 22, 23)
Salta – Arg. ^(7, 8) Oct. 2015 Mw 5.9	Univ. Americana, Rosa T.	Jara, Las Mercedes.	Temblor del edificio y movimiento de objetos percibido en el tercer piso de la Universidad Americana. Movimiento de mamparas en el edificio Rosa T. Evacuación de edificio en la zona de Boggiani y Eusebio Ayala. ^(24, 25)

Tabla 5. Terremotos distantes, edificios en Asunción en los diferentes barrios e incidentes experimentados por la ciudadanía capitalina en Paraguay.

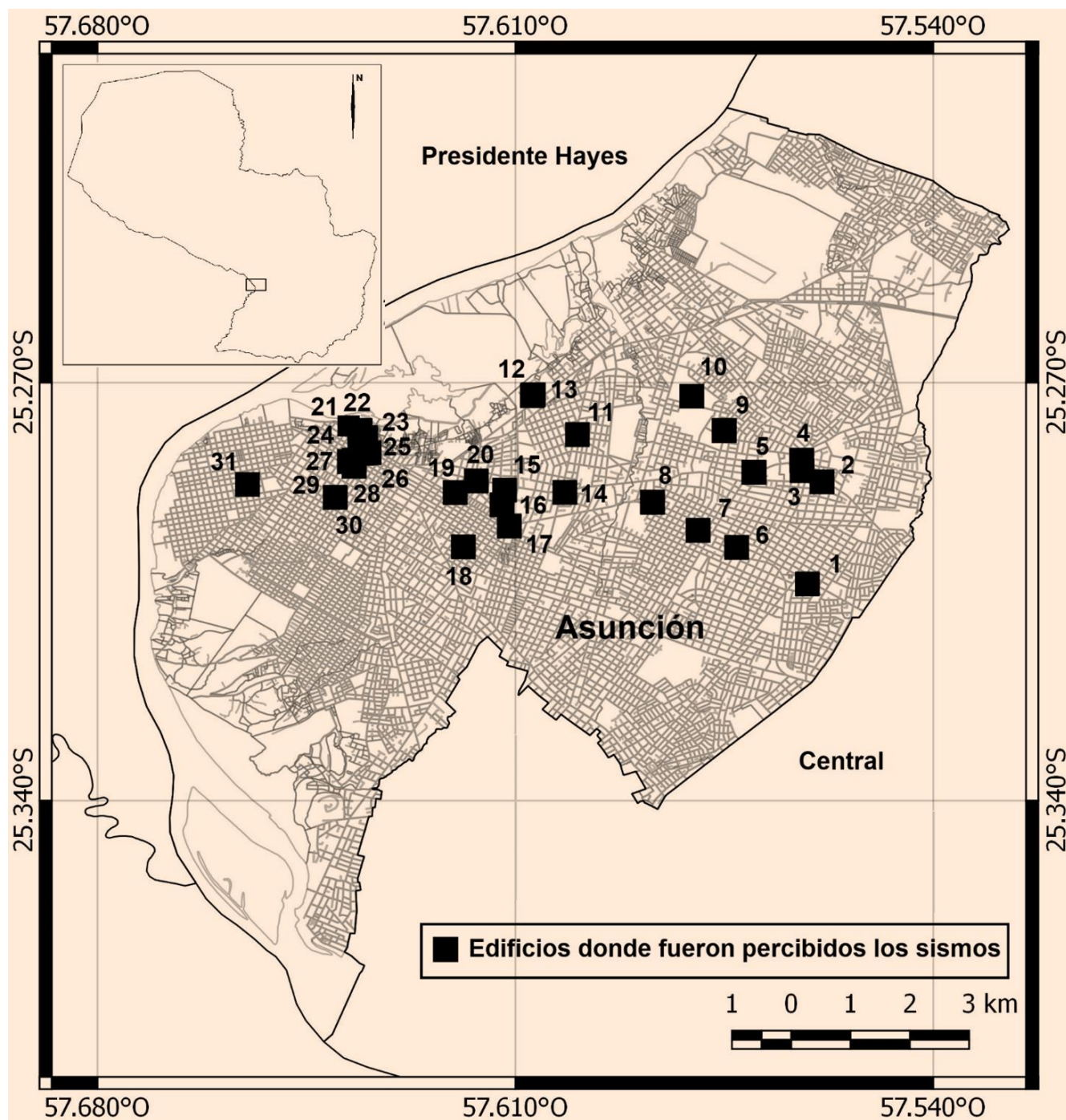


Figura 3. Ubicación de edificios en Asunción. **Ref:** 1. Municipalidad de Asunción 2. Banco Continental 3. Alta Vista 4. Martinica 5. Casavista 6. Aymac 7. City Center 8. Altos 9. Banco Central 10. IPS 11. Universidad Americana 12. Urano 13. Rosa T 14. La Costa 15 y 16. ANDE 17. Estado Mayor 18. COPACO 19. COOMECIPAR 20. ITAIPU 21. Panorámico 22. 14 de Mayo 23. Congreso Nacional 24. Ministerio de Relaciones Exteriores 1 25. Ministerio de Hacienda 26. Yvaga 27. Ministerio de Relaciones Exteriores 2 28. Ahorros Paraguayos 29. Ministerio del Interior 30. Fiscalía 31. Palacio de Justicia. Elaborado por Gadea M. (2025).

Vibración de los edificios en Asunción.

Los terremotos van disipando su fuerza en proporción a su lejanía del hipocentro ⁽²⁶⁾, por lo cual, si estos eventos conllevan suficiente energía pueden viajar largas distancias y repercutir en edificios de otros países.

Los eventos sísmicos al norte y noroeste de Argentina; en las provincias de Jujuy, Catamarca, Salta, Santiago del Estero y en la zona de los Andes, bajo condiciones de energía sísmica, son percibidos por la gente en los edificios de Asunción; asimismo los eventos costeros al centro-norte de Chile. De todos estos eventos, el de magnitud mínima sentido en las estructuras elevadas en Asunción fue el de Salta, de M_w 5.9 en octubre del año 2015 (ver Tabla 5).

Al reconocer los rasgos de magnitud y profundidad de estas sacudidas, se afirma que no guardan correlación aparente o no exhiben un patrón definido entre sus módulos. Se aduce de ese modo debido a que los terremotos se manifiestan con profundidades someras hacia la cordillera de los Andes, o muy profundas que se relacionan con el *front slab* de la Placa de Nazca en la zona de Santiago del Estero con un lineamiento sísmico norte-sur. Sus magnitudes varían en un rango de 5.9 a 8.8 M_w .

Generalmente este pandeo en los edificios es causal de susto a las personas que se encuentran en los pisos superiores de las edificaciones, y en varias ocasiones, por medidas de precaución estas construcciones fueron evacuadas y/o clausuradas e inspeccionadas por cuerpos de bomberos ⁽²¹⁾.

Afortunadamente, el efecto más dañino que fuera verificado en un edificio luego de un terremoto sentido en Asunción fue el de Illapel-Chile, de M_w 8.3, en el año 2015 ^(21, 22, 23), que rasgó una pared de una salida de emergencia en el edificio Citicenter (Figura 4) ⁽²²⁾.



Figura 4. El temblor provocó fisuras en el edificio Citicenter. Fotografía: Antonio Holmes ⁽²²⁾.

La respuesta dinámica de un edificio ante el paso de un tren de ondas dependerá de la relación entre los valores del periodo de la onda sísmica y el periodo intrínseco de la estructura. Si estos valores del periodo se aproximan a la unidad, el edificio ingresa en una fase de resonancia, lo cual implica el incremento sustancial de las deformaciones y aceleraciones de la edificación y como resultado, proporcionalmente aumentan los esfuerzos en sus elementos estructurales. La vibración del suelo se transmite a los edificios por medio de su cimentación ⁽²⁷⁾.

Cuando el edificio ingresa en una fase de resonancia, ocurre una transferencia de energía de un sistema oscilante a otro ⁽²⁸⁾ y la aceleración del edificio es máxima. El nivel de daños que pueda sufrir una edificación se relaciona con la magnitud de los desplazamientos laterales. A mayor desplazamiento lateral, mayor deformación en los elementos estructurales y mayores serán sus esfuerzos internos. Dicho esto, resulta necesario determinar los periodos de vibración de cada edificio, con el fin de conocer su probable respuesta ante eventos de diferentes magnitudes ⁽²⁷⁾.

El colapso de una estructura podría ocurrir cuando la construcción y el suelo vibran con los mismos periodos (fase de resonancia) y los edificios no se encuentran preparados para resistir el esfuerzo generado en el momento de la aceleración del suelo sobre el cual se encuentra cimentado (Munizaga, 2021. Com. per.) El derrumbe es posible cuando la energía de estos fenómenos naturales alcanza el valor de resistencia de los materiales que integran la estructura ⁽²⁹⁾.

Un edificio puede vibrar de diferentes modos, en función a su cantidad de pisos; donde el primer modo de vibración es el de periodo de mayor magnitud, en el último piso, y los sucesivos serán cada vez menores ⁽²⁷⁾. Es por ello, que la percepción del sismo es mayor en los pisos superiores de los edificios.

Según la periodicidad observada en los últimos veinte años, estos efectos registrados en Asunción son aleatorios en el tiempo, aunque en los últimos nueve años no se han reportado. Las vibraciones en los edificios serán comprobadas en el futuro, y esto se argumenta por lo siguiente: 1. La elevada sismicidad en el noroeste de Argentina y en el centro-norte de Chile. 2. La incesante construcción de edificios de importante altura y envergadura en la ciudad capital.

Los riesgos de las edificaciones en Asunción ante este tipo de amenazas no son predecibles debido a la necesidad de estudios especiales para cada edificio. Análisis de riesgo sísmico en Paraguay no existen o son muy generales, como los de Gadea ⁽³⁰⁾ y Caballero ⁽⁵⁾.

Cada estructura se comportará de modo diferente ante un evento lejano. Se conoce como *efecto de sitio* o *respuesta de sitio*, al efecto observado en determinado lugar o estructura en respuesta a un terremoto ⁽³¹⁾.

Los efectos de sitio son el resultado del movimiento del terreno debido a la incidencia de ondas sísmicas en un punto dado, el cual depende naturalmente de los parámetros asociados a la fuente sísmica que las originó y de la atenuación de su energía intrínseca conforme se propaga desde la fuente a un sitio de referencia ⁽³⁰⁾.

Este tipo de estudio involucra parámetros tales como: características del terremoto, geología, geología estructural, topografía, tipo de construcción, valores de fondo de vibraciones naturales del edificio, posición del edificio en relación con el frente ondulatorio del evento y su orientación con respecto a las estructuras geológicas; medidas que aún no se conocen para los edificios en Asunción ⁽³⁰⁾.

Se sabe que el zócalo de Asunción presenta características anisotrópicas, en términos de materiales pétreos, constituido en su mayor parte por el material sedimentario blando de la Formación Ita Pytã Punta, y este, posteriormente fue fracturado y atravesado por conductos volcánicos y diques del tipo basáltico de la Formación Ñemby en numerosos puntos geográficos ⁽³²⁾.

CONCLUSIONES

En Paraguay no sólo se perciben eventos sísmicos locales, sino también los de fuentes regionales, siempre que las sacudidas cumplan ciertas condiciones físicas en cuanto a su energía y en relación con las geografías de los epicentros con respecto a Paraguay. Históricamente, en Paraguay no se ha reportado siniestros que se vinculen a estas manifestaciones naturales.

Los terremotos cuyos epicentros se localizan en Argentina y Chile, pueden afectar a las estructuras edilicias en Paraguay. Esto es, según los testimonios, en los edificios, y también al nivel base de superficie. La magnitud mínima de un sismo que alcanzó Paraguay en regiones distantes fue de 5.9 (Argentina) y la máxima de 8.8 (Chile).

Por medio de los sismogramas digitales del laboratorio de Sismología de FaCEN – UNA, se ha comprobado que las ondas sísmicas de los terremotos del norte de Argentina llegan a los sismómetros promediando los dos minutos; mientras que las ondas de los sismos del centro o el norte de Chile llegan a Paraguay luego de un viaje de aproximadamente 3 minutos a partir de la sacudida inicial en sus focos. Este conocimiento resulta de utilidad para establecer correlaciones temporales entre la sismicidad regional y el alcance de esos eventos en Paraguay con la experiencia de la gente que reporta incidentes a nivel local.

Los daños reportados por este tipo de eventos no fueron mayores. A lo sumo, una rasgadura en la pared del edificio Citicenter en Villa Morra. En varias ocasiones, debido a la inquietud y susto de las personas, algunos edificios fueron evacuados y clausurados. No es posible predecir, sin estudios detallados, acerca de la preparación de los edificios y sus respuestas ante este tipo de eventos naturales.

Este tipo de circunstancias puede ocurrir en el futuro. En las últimas décadas, se han reportado al menos 30 casos en la capital, aunque es probable que hayan existido otros episodios en el pasado de los cuales no se cuenta con registro documentado.

Declaración de financiamiento:	Financiación propia.
Declaración de conflicto de intereses:	Los autores declaran no tener conflicto de interés con respecto al presente artículo de investigación.
Declaración de autores:	Los autores aprueban la versión final del artículo.
Contribución de autores:	MG y MA en la elaboración de los mapas, AC en el análisis de sismología, colaborador en la redacción y corresponsal. MG en la redacción del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tarbuck E, Lutgens F, Tasa D. Ciencias de la tierra. 8va. ed. Madrid: Pearson Educación; 2005.
2. Kulhanek O. Anatomy of Seismograms. Developments in Solid Earth Geophysics 18. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1990.
3. Fugarazzo R, Gadea M, Caballero A, Assumpção M, Figueres V. Las Zonas Sísmicas en Paraguay. San Lorenzo: Reportes Científicos de la FaCEN; 2021.
4. Berrocal J, Fernandez C. Sismicidad en Paraguay y regiones vecinas. En: Comin-Chiaramonti P y de Barros Gomes C editores. Alkaline Magmatism in Central-Easter Paraguay. São Paulo: Artículo; 1996. p. 57-66.
5. Caballero A. Sismicidad del Paraguay. [Tesis de grado]. San Lorenzo: Universidad Nacional de Asunción; 2018.
6. Caballero A, Fugarazzo R, Gadea M, Figueres V, Ayala H, Godoy A. Zonas de captación de eventos sísmicos de la estación CPUP. San Lorenzo: Semana de la Ciencia; 2023.
7. National Earthquake Information Center. Golden; Latest Earthquakes. Disponible en: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=14.34955,-140.97656&extent=56.46249,-49.04297>
8. Laboratorio de Sismología. Sismogramas inéditos. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
9. ABC TV Paraguay. Terremoto en Chile estremece a Asunción; 2016. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ShxnOI8DAFY>
10. Diario ABC Color. Temblor de 2.9 en la escala de Richter es un caso autóctono de Ñeembucu; 2017. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresia/interior/temblor-de-29-en-escala-de-richter-es-un-caso-autoctono-del-Ñeembucu-1641228.html>
11. Diario ABC Color. Tembló Asunción en la mañana de ayer y hubo susto y miedo; 2004. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresia/locales/temblo-asuncion-en-la-manana-de-ayer-y-hubo-susto-y-miedo-784479.html>
12. Laboratorio de Sismología. Temblor sentido en Asunción. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNA); 2004.
13. Laboratorio de Sismología. Temblores en Asunción. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNA); 2005.
14. Diario ABC Color. Leve temblor de tierra se sintió anoche en Asunción; 2006. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresia/locales/leve-temblor-de-tierra-se-sintio-anoche-en-asuncion-943732.html>
15. Geología del Paraguay. Sismología. Disponible en: <https://www.geologiadelparaguay.com.py/Sismologia.htm>

16. Diario Última Hora. Un sismo de 6.8 grados afectó al Norte argentino; 2011. Disponible en: <https://www.ultimahora.com/un-sismo-68-grados-afecto-al-norte-argentino-n460132>
17. Diario ABC Color. Leve temblor de tierra se sintió anoche en Asunción; 2011. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/locales/vibraciones-en-asuncion-causadas-por-el-sismo-303493.html>
18. Diario ABC Color. Reportan temblores en edificios de Asunción; 2011. Disponible en: <https://www.abc.com.py/nacionales/reportan-temblores-en-edificios-de-asuncion-316532.html>
19. Diario Última Hora. Se sintió un temblor en Asunción y evacuan algunos edificios. Disponible en: <https://www.ultimahora.com/se-sintio-un-temblor-asuncion-y-evacuan-algunos-edificios-n469674.html>
20. Diario ABC Color. Sismo en Argentina se sintió en Paraguay; 2012. Disponible en: <https://www.abc.com.py/nacionales/sismo-en-argentina-se-sintio-en-paraguay-407175.html>
21. Diario Última Hora. Temblor se sintió en varios edificios altos de Asunción; 2015. Disponible en: <https://www.ultimahora.com/temblor-se-sintio-varios-edificios-altos-asuncion-n931077>
22. Diario Última Hora. Sismo en Chile hace vibrar edificios en Asunción, evacuaron en City Center; 2015. Disponible en: <https://www.ultimahora.com/sismo-chile-hace-vibrar-edificios-asuncion-evacuaron-el-citicenter-n931044.html>
23. Diario ABC Color. El temblor se sintió con fuerza; 2015. Disponible en: <https://www.abc.com.py/nacionales/sismologia-registro-fuerte-temblor-1408641.html>
24. Diario ABC Color. Asunción estuvo en la zona del sismo; 2015. Disponible en: <https://www.abc.com.py/internacionales/asuncion-en-zona-del-sismo-1418109.html>
25. Diario ABC Color. Susto por breve temblor; 2015. Disponible en: <https://www.abc.com.py/nacionales/susto-por-temblor-en-asuncion-1418105.html>
26. Barros L, Marza V, Chimpliganon C, Caixeta D. Paraguay seismicity during 2000. Proceedings of the 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society; 2001; Salvador.
27. Domínguez M. Periodos de vibración en las edificaciones. Rev Arquitect Ing. 2014; 8(2).
28. França G, Assumpção M. Reflexos no Brasil de terremotos distantes. Ciência Hoje, 2008.
29. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La construcción segura salva vidas humanas. República Dominicana: Proyecto Acciones que salvan vidas; 2016. Disponible en: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/do/pnud_do_construccionsegura.pdf
30. Gadea M. Seismic Physical Vulnerability of Two Buildings in Asunción – Paraguay. [tesis de posgrado]. Ginebra: Universidad de Ginebra; 2014.
31. Robles A, Jiménez J. Metodología para la realización de estudios de microzonificación sísmica. México: Coordinación Nacional de Protección Civil de México y Centro Nacional de Prevención de Desastres; 2017.
32. Ministerio de Defensa Nacional. Proyecto PAR 83/005: Comisión Nacional de Desarrollo Regional. Asunción: Mapa Geológico del Paraguay; 1986.