

Número especial / Special issue

De la neotectónica a la amenaza sísmica en América Latina y el Caribe

*From neotectonics to the seismic threat in Latin America and the Caribbean*Laura Perucca^{1,*}, Franck A. Audemard M.²

¹ CONICET- INGENIO. FCEfyN-UNSJ. Avda. Ignacio de la Roza 590 Oeste. Complejo Universitario Islas Malvinas. Departamento Rivadavia, 5402, San Juan, Argentina.

² Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), Av. Guaicaipuro con calle Tiuna final de la Calle Mara, Caracas 1070, Miranda, Venezuela.

* Autor para correspondencia: (L. Perucca) lperucca@unsj-cuim.edu.ar

Cómo citar este artículo:

Perucca, L., Audemard, M., F. A., 2021, De la neotectónica a la amenaza sísmica en América Latina y el Caribe: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 73 (2), P260221. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n2p260221>

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

PREFACIO

Hoy se entiende que el riesgo sísmico, así como cualquier tipo de riesgo, es proporcional a la combinación nefasta de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad propia de los sistemas expuestos. Considerando que la amenaza sísmica es de origen natural, por ende no modificable o controlable por el hombre en ninguna medida a diferencia de otras amenazas que por ser antropicas o generadas por el propio hombre (ej. explosiones nucleares, sismicidad inducida por presas o reservorios de agua, etc.) si lo son, la reducción de los riesgos se logra tanto incrementando la resiliencia (capacidad propia de un sistema de recuperarse ante un evento adverso) como reduciendo la exposición de aquellos sistemas potencialmente expuestos. Sin embargo, cabe destacar que el riesgo puede ser mejor caracterizado y cuantificado si la amenaza es mejor definida y conocida, a pesar que no se pueda controlar. Es por ello, la amenaza sísmica requiere ser lo mejor acotada, medida y definida, en la medida de la información disponible, a fin de reducir las incertidumbres al máximo. Requiere entonces que la actividad sísmica de la región bajo un análisis sea estudiada en detalle, lo cual implica igualmente identificar y caracterizar las fuentes generadoras de esos sismos (fallas sismogénicas); es decir, las fallas geológicas responsables de tal sismicidad (asociación sismotectónica; Figura 1). Se estila en los estudios de amenaza sísmica que se revise ambos aspectos (fallas fuente y sismicidad) en un radio de al menos 200 km; distancia que resulta de la atenuación de la energía sísmica a medida que se propaga por el medio. Entonces, entiéndase que se espera de la energía sísmica liberada durante la mayoría de los grandes sismos, esté atenuada a niveles de poca peligrosidad a esa distancia. Probablemente escapen a esta práctica el medio construido emplazado en cuencas sedimentarias rellenas de sedimentos blandos o poco consolidados, como los casos de Ciudad de México y Caracas, por efectos de amplificación de ondas como efecto de sitio, que pudiesen ser excitados por sismos grandes someros o de subducción, con epicentros más allá de esa distancia prescrita por la práctica. En consecuencia, se necesita retrazar la *historia sísmica* o cronología de sismo, la cual es la suma de los sismos instrumentales, históricos y prehistóricos que integran la totalidad de la actividad sísmica (Audemard, 2019) de la región circundante al sitio sujeto a una evaluación de amenaza sísmica (EAS; en inglés, *Seismic hazard Assessment –SHA–*), de

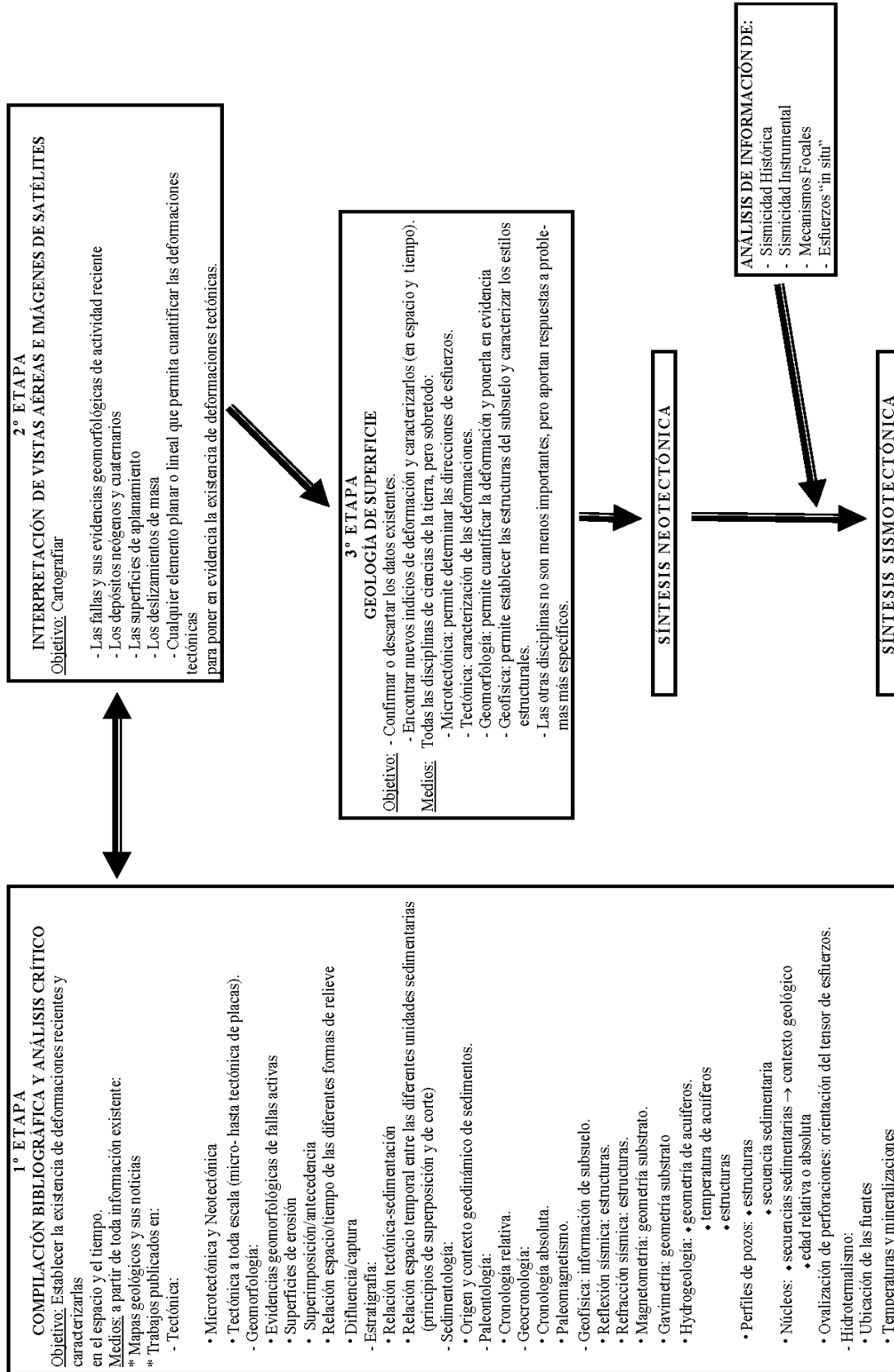


Figura 1 Metodología empleada en un estudio neotectónico (tomado de Audemard, 1989).

la forma lo más completa, así como extensa en el tiempo posible, a fin de determinar dos parámetros fundamentales al cálculo de dicha estimación: el sismo máximo probable y el período de retorno de los grandes sismos con capacidad destructora, para cada una de las fallas identificadas, o sus segmentos individuales si los tuviese definidos. Dado que estos EAS se pueden afrontar por dos enfoques, probabilístico y determinístico (o combinaciones diversas de ambos), lo más extenso en el tiempo es el período evaluado, las valoraciones estadísticas de ambos parámetros antes indicados conocidos bajo el término de potencial sismogénico, serán más robustas y confiables para estimar la amenaza sísmica.

En amplias regiones del globo, aún en aquellas consideradas por los geocientíficos como límites de placas tectónicas activas, los catálogos sismológicos ensamblados a partir de la captación y registro de *manera instrumental* de la actividad sísmica, resultan ampliamente insuficientes a fines ingenieriles en la EAS (ej. Audemard, 1998, 2019). La justificación a esta limitación reposa en que el desarrollo, implementación, ampliación y modernización progresiva de las redes sismológicas a toda escala (del local al mundial), y el desarrollo del instrumental (entiéndase los sismómetros, hasta inclusive los equipos de transmisión de los datos captados por ellos en tiempo real por vía satelital) en sí no supera los 120-130 años de existencia. En consecuencia, esta ventana temporal observacional resulta sumamente corta, por ende incompleta, para describir y caracterizar apropiadamente la actividad sísmica de una región o de sus fallas activas (Figura 2), considerando que la EAS se basa principalmente en caracterizar o determinar la frecuencia con que los sismos de una determinada magnitud se repiten a través del tiempo en una región o por cada falla geológica identificada o reconocida; principalmente con interés en comprender el comportamiento a través del tiempo de los grandes terremotos con capacidad destructora sobre el medio construido y el hombre. Expresado de otra manera, se requiere determinar, regionalmente o por falla geológica

con comprobada actividad cuaternaria (entiéndase en los 2.4 últimos millones de años), la recurrencia o período de retorno con que ocurre un sismo de una magnitud dada, lo cual en principio es descrito bastante bien por la relación Gutenberg-Richter, al menos para los sismos de magnitud inferior a M 5.5, la cual relaciona de forma semi-logarítmica el número acumulado de sismos de una magnitud o superiores ocurridos en la zona bajo estudio en una ventana de tiempo dada. En consecuencia, en la ventana de observación instrumental de apenas un poco más de un centenar de años, siendo muy afortunados en términos estadísticos pero desafortunados por sus consecuencias, se captaría (o viviría) un único sismo, o dos, con capacidad destructora por falla geológica reconocida, a lo sumo.

En tales circunstancias, el estudio de la actividad sísmica de las fallas en dichas regiones ha necesitado ser evaluada por períodos de tiempo más extendidos debido al período de retorno entre los grandes sismos destructores que superan la ventana de observación instrumental. En tal sentido, en aquellos países de larga trayectoria histórica (ej. China, Japón y distintas civilizaciones mediterráneas con destaque de Italia y Grecia), las descripciones escritas (entiéndase: testimonios, descripciones, citas, menciones, anécdotas, recuentos, leyendas o bocetos, pinturas, grabados, entre otras formas de registro en papel u otro soporte) de destrucciones pasadas asociadas a terremotos, pero previas al período de la sismicidad instrumental, han permitido conocer mejor el comportamiento sismogénico (frecuencia y magnitud de los grandes sismos) de algunas fallas; y la repetición de los mismos en tiempos más recientes (durante el período instrumental) ha permitido calibrar la veracidad, confiabilidad y precisión de las descripciones históricas (Figura 2). Sin embargo, esta disciplina, conocida como *sismología histórica*, ha demostrado ser insuficiente en algunas zonas del planeta según Audemard (1998), como consecuencia de dos factores principalmente: a) existen países cuya tradición escrita es muy corta (aplicable básicamente a los continentes americano, australiano y africano),

generalmente inferior a los cinco siglos (Figura 2), y la recurrencia de sus grandes terremotos se expresa en términos de cientos a miles de años (en ocasiones en decenas de miles de años); y b) algunas fallas han demostrado que los grandes terremotos no se rigen por la relación Gutenberg-Richter (número acumulado de eventos vs magnitud de los mismos), la cual sí es generalmente válida para sismos de magnitud inferior a mb 5,5; sin olvidar que la calidad, cantidad y grado de preservación de los datos encontrados, compilados y utilizados en sismología histórica, están condicionados por una serie de circunstancias y condiciones ampliamente discutidas por Rodríguez y Audemard (2003), donde cabe indicar que la distribución espacial y la densidad poblacional de una región, así como su importancia política, económica y religiosa del momento, juegan un rol preponderante.

Es relevante indicar que, en el caso de los países bajo dominación española, la importancia religiosa de los asentamientos poblacionales durante la colonia era clave, dado que los pocos moradores letrados eran en gran parte religiosos y se constituían en “cronistas” de sus parroquias ante su rey. Perucca y Bastías (2008) reportan condiciones similares en la Argentina hispánica.

En respuesta a las dificultades confrontadas durante los estudios de sismicidad de una región, recabada tanto por la vía instrumental (sismicidad instrumental) como a través de la evaluación crítica de la documentación histórica (sismicidad histórica) previamente desarrolladas, ha sido necesario recurrir a técnicas de investigación de geología clásica, apoyado en técnicas de investigación arqueológica y métodos de prospección geofísica no invasivos (sísmica de reflexión somera, georadar

VENTANAS DE SISMICIDAD (O ACTIVIDAD TECTÓNICA) SEGÚN ENFOQUES O DISCIPLINAS DIVERSOS

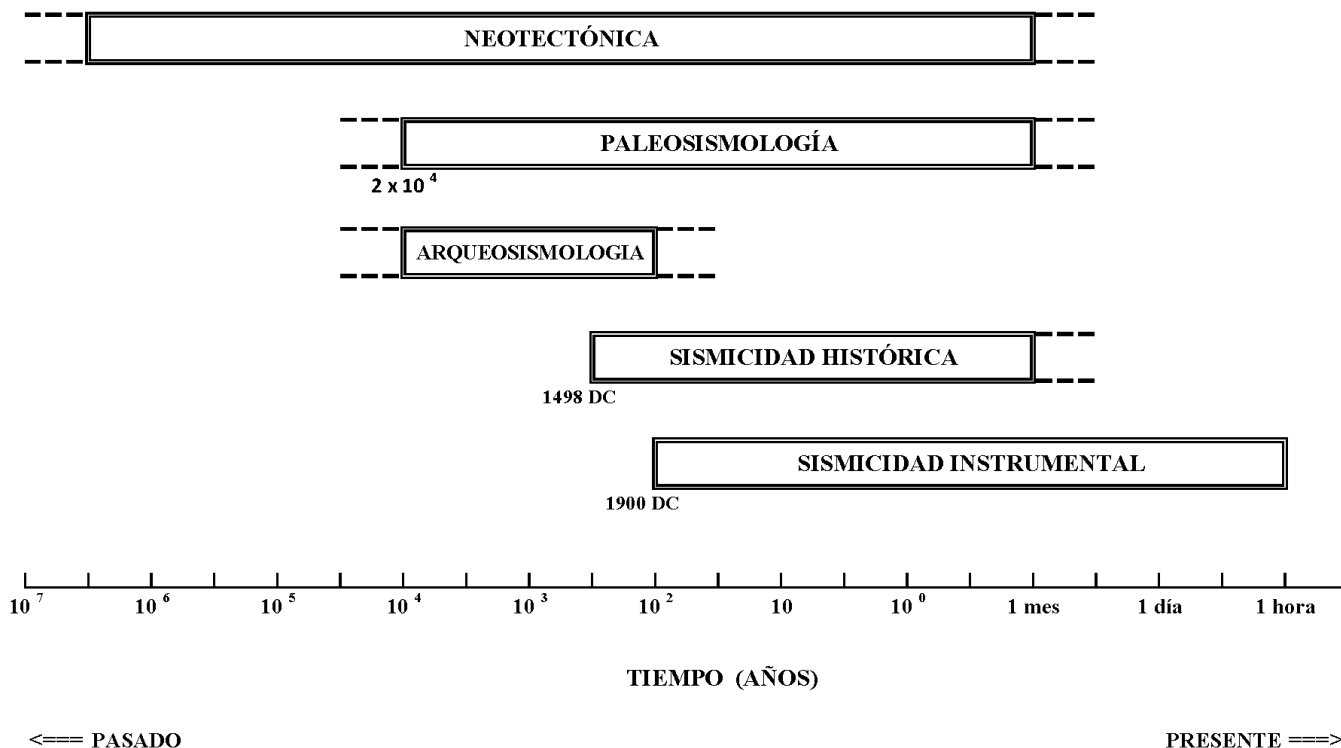


Figura 2 Distintas ventanas temporales de sismicidad (o de actividad tectónica) y de enfoques disciplinarios utilizados en América Latina para establecer la historia sísmica de fallas activas o potencialmente activas en una región, a fines de estimar la amenaza sísmica (tomado de Audemard, 1998 y actualizado por Audemard, 2019).

o radar de suelo, sísmica de reflexión y refracción, métodos geofísicos potenciales, entre otros), para ampliar aún más la ventana de observación de la actividad de estos accidentes sismogénicos, para evaluar su comportamiento en el reciente geológico (Figura 2). Dichos estudios, conocidos bajo el nombre genérico de *paleosismología*, persiguen por lo esencial evaluar los grandes terremotos del pasado, aquellos que tal vez no se rijan por la relación Gutenberg-Richter y no registrados en la historia de una región, con base en su expresión geomorfológica y geológica, y eventualmente geofísica, con miras a proveer información relevante para la estimación de la amenaza sísmica (EAS) de una región, para así hacer más seguras desde el punto de vista sismorresistente aquellas estructuras de gran importancia económica o de gran peligrosidad para la comunidad por su naturaleza y de igual manera a aquellas edificaciones para habitación. Audemard y Michetti (2011) desarrollan ampliamente, de manera sucinta pero muy completa, el gran abanico de objetos geológicos que hoy en día se estudian con fines de determinar la historia sísmica de una región o de un accidente tectónico activo específico. Igualmente, estos autores clasifican las evidencias de actividad sísmica en dos grandes conjuntos: evidencias directas e indirectas, siendo las primeras aquellas asociadas directamente a la ruptura cosísmica superficial de la falla generadora del sismo, es decir al plano de falla geológica o tectónica aflorante, mientras las indirectas agrupan todas aquellas otras evidencias que atestiguan la ocurrencia del sismo. Cabe destacar que la aplicación de investigaciones paleosísmicas, sobre evidencias directas e indirectas, requiere de la observación de los objetos estudiados en la superficie terrestre asociados o producidos por los grandes sismos. Por lo tanto, en el caso de desear estudiar paleosísmicamente rupturas cosísmicas (como evidencia directa) en fallas activas cuaternarias, necesariamente se requiere conocer los accidentes tectónicos potencialmente activos previamente, lo cual es objetivo de la *neotectónica* (Figura 1) el estudio de las estructuras tectónicas con actividad durante la última

fase tectónica (Figura 2) o el Cuaternario (últimos 2,4 Ma) en América Latina, la cual se apoya en la geomorfología tectónica, la morfotectónica, la geología estructural, la geofísica, la geodesia, los sensores remotos, la geocronología, entre otras disciplinas geocientíficas. Por otra parte, se pudiese considerar que es limitativo que la paleosismología centre sus esfuerzos sobre los sismos más grandes y destructores ($\geq Ms 5,5$), dado que serían aquellos con evidencias superficiales, dándoles poca importancia a los sismos moderados y pequeños. Ello es cierto hasta cierto grado, dado que la sismicidad instrumental justamente a través de la relación Gutenberg-Richter, provee la tasa de actividad de los sismos pequeños y moderados, mientras la paleosismología persigue caracterizar los sismos definitivamente destructores, que son los que componen el riesgo de hecho.

En tiempos más recientes y como una extensión o en complementariedad de la sismología histórica, la ocurrencia de sismos pre-instrumentales, en tiempos históricos, puede ser determinada a partir de daños en sus edificaciones patrimoniales en aquellos países con acervo cultural y arquitectónico preservado; disciplina que se conoce como *arqueosismología*. En el caso latinoamericano, estos estudios pueden enfocarse tanto en construcciones de tiempos de la colonia española, común a toda América Latina, pero especialmente también a las culturas pre-hispánicas. Para los últimos cinco siglos de civilización, los objetos de estudio serán templos religiosos, casas de familias pudientes, edificios de gobierno (ej. Ayuntamientos, casa de gobiernos, entre otros), que conserven vestigios levantados en piedra y/o calicanto. Por su parte, las civilizaciones pre-hispánicas potencialmente objeto de la arqueosismología serán aquellas que habrán dejado construcciones en piedra, o hasta en barro (ej. Señor de Xipan), tales como los incas en el Perú y los mayas y aztecas en la América Central (Guatemala) y sur de Norteamérica (México).

En resumidas, excepto por la sismología instrumental, cuyo estudio se basa en métodos geofísicos propios de la sismología, los otros 4 enfoques restantes, que estudian la historia sísmica de una

región, aplican enfoques o disciplinas distantes del instrumental sismológico. Las de mayor cobertura temporal (la paleosismología y la neotectónica; Figura 2) se alimentan de las geociencias de una manera amplia y transversal (geología, geofísica, geomorfología, geodesia (terrestre y satelital), geocronología, sensores remotos geoespaciales, entre otros). Mientras tanto, las de cobertura temporal intermedia (sismología histórica y arqueosismología; Figura 2), se basan en técnicas propias de la historia. Por una parte, se estudian documentos escritos preservados a través de los tiempos (sismología histórica) y por otra, el medio construido o el patrimonio arquitectónico de civilizaciones pre-históricas (pre-hispánicas en el caso de la América Latina).

Este número especial del *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana –BSGM–* 73(2), 2021, titulado “*De la neotectónica a la amenaza sísmica en América Latina y el Caribe*” recoge 15 contribuciones que nos pasean temática y disciplinariamente por todas las ventanas observacionales de la sismicidad y las técnicas o enfoques para establecer la historia sísmica de una región bajo EAS, tal como lo evidencia la Tabla 1.

De la observación de la Tabla 1 y la Figura 3, podemos determinar que aunque los trabajos se extienden a toda América Latina, desde México al Norte hasta Argentina al Sur, tres países concentran 11 de los 15 trabajos reunidos: Argentina (4), México (4) y Colombia (3). También figuran trabajos de Venezuela (2), Costa Rica (1) y uno más regional, con cobertura de la subducción de la placa pacífica bajo la América Central (1). Inicialmente, contábamos también con contribuciones ecuatorianas y peruanas.

La tabla sinóptica (Tabla 1) aporta indicios muy reveladores en referencia a los EAS y a las técnicas y disciplinas empleadas en América Latina para lograr dichos estudios en tiempos recientes, que pasaremos a desarrollar:

Con la excepción de 3 trabajos, con perfil de sismología instrumental (13-Quintero-Quintero *et al.*, 12-Giner-Robles *et al.*) o histórico-arqueosísmico (11-Rodríguez-Pascua *et al.*), todos tienen un

componente importante de evaluación neotectónica. Ello refleja la necesidad en nuestra región de identificar, estudiar y caracterizar los accidentes tectónicos activos, cuaternarios o generadores de sismos. Es decir que la asociación sismotectónica (Figura 1) de muchos sismos aún está por establecerse, porque se desconoce aún su falla generadora.

Los trabajos aquí amalgamados han utilizado normalmente más de una de las disciplinas geocientíficas para acometer la evaluación neotectónica necesaria o perseguida. Resulta que es ahora muy frecuente usar varias de estas disciplinas geocientíficas de forma conjunta. La contribución de 7-Tejada *et al.* (Loma Negra, Precordillera Central, Argentina) usa el mayor abanico de ellas, seguido por 10-Colavitto *et al.* (Falla Acequión, Provincia de San Juan, Argentina), ambos en Argentina. Este último desarrolla una forma novedosa de practicar “paleosismología”, al evaluar el número de sismos que han contribuido al crecimiento del escarpe de flexura de exposición este de la falla de Acequión, el cual revela la ubicación de la falla en superficie.

Se aprecia que el uso de geodesia satelital y geofísica, como enfoques complementarios, en los estudios de fallas activas se ha vuelto rutinario. Cada una de estas disciplinas es usada en un tercio de los trabajos (5 de 15) y alguna de ellas en más de la mitad de ellos (8 de 15). Hay un trabajo en particular que sólo empleó métodos geofísicos para establecer la presencia y/o geometría de una falla en el subsuelo (6-Lacan *et al.*). Estos autores aplicaron varias técnicas geofísicas (inducción electromagnética y tomografía de resistividad eléctrica) a través de la ruptura del sismo de 1912 en el valle de Acambay (México).

Parece claro que el potencial sismogénico (determinación de la frecuencia de los sismos de mayor peligrosidad) es determinado en donde se ha practicado el enfoque paleosísmico. Inclusive el de 15-Moreiras *et al.*, también se apoya en estudios de este orden, aunque no practicados por los propios autores. Seis de quince trabajos presentan resultados atinentes a los sismos máximos probables y su período de retorno (potencial

Tabla 1. Tabla-resumen que sintetiza las distintas ventanas observacionales de la sismicidad, de la neotectónica a la sismicidad instrumental (ver figura 2), empleadas en las 15 contribuciones que reúnen este *Número Especial* para construir la histórica sísmica de cada una de las áreas de estudio.

De la Neotectónica a la Amenaza Sísmica en Latinoamérica y el Caribe													
Editores invitados: Laura P. Perucca & Franck A. Audemard M.													
#	Nombre y APELLIDO 1º autor	País o región	Métodos y disciplinas aplicadas o desarrolladas										Amenaza Sísmica
			Sensoramiento Geoespacial	Neotectónica			Paleo-sismología	Arqueo-sismología	Sismología Histórica	Sismología Instrumental	Potencial sísmogénico		
				Geomorfología	Geología	Geocronología absoluta						Geodesia	
1	Ana Jazmín RODRIGUEZ LARA	Venezuela		X	X							X	
2	Hilda Lucía MELENDEZ GRANADOS	Colombia	X		X							X	
3	Daniel HERNÁNDEZ CHAPARRO	Colombia	X		X							X	
4	Sirel COLON	Venezuela		X					X				
5	Jélimé ARAY	México		X					X				
6	Pierre LACAN	México							X				
7	Flavia TEJADA	Argentina	X	X	X				X			X	
8	Diana Cinthia SORIA-CABALLERO	México	X	X					X			X	
9	Diego WINOCUR	Argentina	X	X					X			X	
10	Bruno COLAVITTO	Argentina	X	X					X			X	
11	Miguel Angel RODRIGUEZ-PASCUA	México									X	X	
12	Jorge ROBLES-GINER	Centro-América											X
13	Ronnie QUINTERO-QUINTERO	Costa Rica										X	
14	Santiago NORIEGA-LONDOÑO	Colombia	X						X			X	
15	Stella MOREIRAS	Argentina	X	X								X	X

sismogénico), probablemente generables por algunas fallas cuaternarias o sus segmentos a futuro (peligrosidad sísmica por accidente), con potencial afectación para los centros poblados vecinos y la infraestructura ahí construida.

Lastimosamente, no recibimos contribución alguna que calculase la amenaza sísmica para

un sitio específico, fuese usando el método determinístico o probabilístico o combinación de los anteriores.

La contribución de 11-Rodríguez-Pascua *et al.* es el único que aproxima la sismicidad de una región, usando la Arqueo-sismología. En particular, describe varios paleo-terremotos que

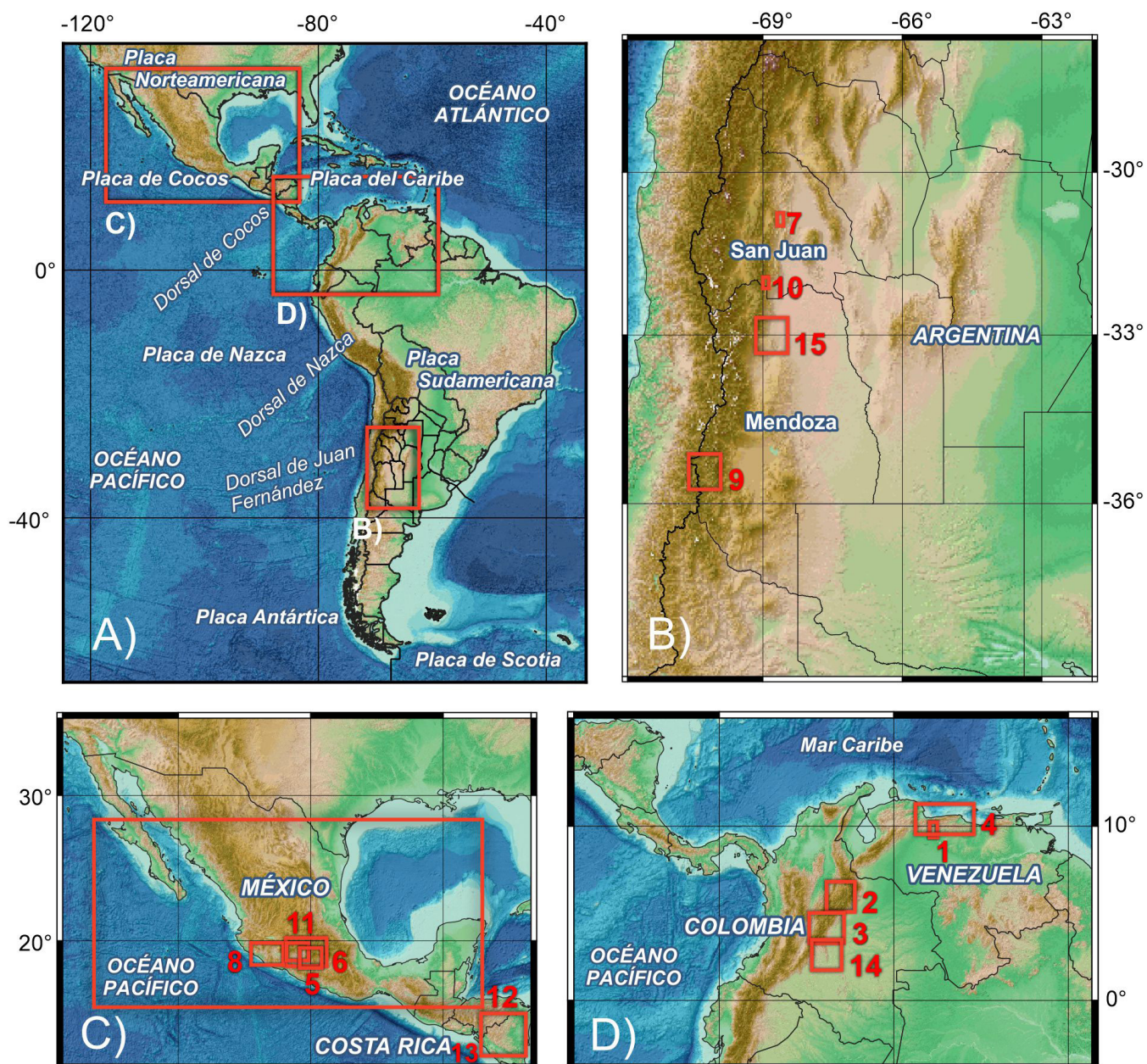


Figura 3 Ubicación relativa de las investigaciones que componen el cuerpo de este Número Especial.

los purépechas experimentaron en la ribera del Lago de Pátzcuaro (México), estudiando grandes bloques de roca basáltica asociados a ritos religiosos, colocados en el bloque hundido de dos grandes rupturas superficiales de origen sismogénico que afectaron a la geografía del propio lago. Esto resulta de la reducida presencia de restos prehispánicos en América Latina, lo cual limita considerablemente la aplicación de esta disciplina en nuestro continente.

A pesar de no contar en este volumen con artículos clásicos de evaluación de sismos históricos en nuestra Latinoamérica hispánica, 2 artículos compilan, y se apoyan sobre sismos históricos (11-Rodríguez-Pascua *et al.* en México y 15-Moreiras *et al.* en Argentina) para alcanzar sus resultados y conclusiones.

Claramente prepondera el estudio de accidentes tectónicos en áreas continentales. Es decir, las técnicas de campo pudieron ser utilizadas en la mayoría de los estudios, así como la utilización de sensores remotos y geoespaciales. Sólo 2 estudios se deslindan de esta tendencia. 4-Colón *et al.* evalúan la falla de San Sebastián en la plataforma continental venezolana, es decir, costa afuera por medio de técnicas geofísicas (sísmica marina de alta resolución); y 12-Giner-Robles *et al.* caracterizan la subducción mesoamericana a través de mecanismos focales de sismos instrumentales que iluminan esa zona de Wadati-Benioff, permitiendo segmentar esa lámina de subducción desde el punto de vista cinemático.

A pesar de que los trabajos que desarrollan investigaciones paleosísmicas sólo representan un tercio (5 de 15) de los trabajos aglutinados en este Número Especial, es un claro indicador que la paleosismología como disciplina y herramienta para ampliar la ventana de la historia sísmica de una región, ha calado en la América Latina, aunque concentrado en pocos países, especialmente en Argentina y México, según lo que refleja el rosario de trabajos compilados aquí. La ruptura o la falla geológica propiamente ha sido el objeto geológico mayoritariamente estudiado; en 4 de 5 casos. Uno sólo (9-Winocur *et al.*) se centra en combinar evidencias indirectas producidas por sismos,

en la definición de Audemard y Michetti (2011), en proximidad a una paleo-laguna donde definen niveles de deformaciones en sedimentos blandos (sismitas), así como la presencia de deslizamientos en la vecindad activados por tales sismos.

Así como la contribución de 7-Tejada *et al.* utiliza la mayor variedad de enfoques disciplinarios para acometer su estudio neotectónico en el anticlinal de Loma Negra en la Precordillera Central, el trabajo de 15-Moreiras *et al.* es el que se aproxima más a una síntesis neotectónica (Figura 1), en este caso de la región adyacente al Gran Mendoza, en el piedemonte de la Precordillera Sur (Argentina). Igualmente, hay un esfuerzo de los autores en realizar asociaciones sismotectónicas con la sismicidad instrumental e histórica conocida (Figura 1), así como de establecer el potencial sismogénico de los accidentes identificados y cartografiados cerca a Mendoza, a fin de refinar las EAS para esta importante ciudad del occidente argentino. No es que 7-Tejada *et al.* no haya considerado la utilización de data sísmológica, tanto histórica como instrumental, pero es una región de Argentina más bien deshabitada y de pobre cobertura sísmológica instrumental; sesgo que se debe contemplar en los estudios de completitud de información sísmológica regional, tal como Rodríguez y Audemard (2003) lo han discutido.

Debemos señalar que los trabajos que han contemplado termocronología de baja temperatura como método geocronológico o de datación absoluta (contribuciones 1 a 3), combinado con geomorfología cuantitativa, geología de superficie, geología estructural, sismicidad y/o tectónica cuaternaria, han logrado en algún caso confirmar o precisar temporalmente grandes procesos geodinámicos ocurridos en el borde de placas bajo estudio (1-Rodríguez Lara *et al.*); y en otros, levantamientos o basculamientos diferenciales cuaternarios (2-Meléndez Granados *et al.* y 3-Hernández Chaparro *et al.*). La sismicidad instrumental, en estos estudios, no ha sido de gran apoyo por su excesivamente corta cobertura temporal algunas decenas de años en el mejor de los casos; cobertura que es despreciable no solo con las edades arrojadas pero hasta con el orden de las propias

incertidumbres de esas edades absolutas. En nuestro entender, estos métodos de datación absoluta parecen más apropiados para definir procesos neotectónicos de al menos decenas a centenas de miles de años de duración.

No queremos cerrar este aparte sin mencionar que una contribución (14-Noriega-Londoño *et al.*), a pesar de restringirse esencialmente al estudio de un sismo instrumental, analiza la deformación cosísmica de un sismo colombiano reciente de magnitud moderada (de Mesetas de la Natividad de 2019), en el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental de Colombia, por la técnica muy en boga del DInSAR (por sus siglas en inglés; *Differential Interferometry of Synthetic Aperture Radar*). Mucho de la deformación cosísmica de los sismos instrumentales actuales con magnitud suficiente para deformar la superficie terrestre es determinada por esta vía. Vale sólo con revisar *twits* pertinentes colgados en *Twitter* a diario.

Por último, se sigue requiriendo y se seguirá requiriendo que los sismos instrumentales y sus parámetros sean bien determinados (13-Quintero-Quintero *et al.*), así como sus efectos en el ambiente natural, el ambiente construido y el hombre, porque ellos alimentarán futuras relaciones del estilo a las propuestas por tantos autores (*ej.* Wells y Coppersmith, 1994); e igualmente validan los parámetros obtenidos de sismos históricos ocurridos en la misma región en tiempos pre-instrumentales.

Agradecimientos

Los editores invitados, los Dres. Laura Patricia Perucca y Franck A. Audemard M., hacen público su agradecimiento al Editor en Jefe, Dr. Antoni Camprubí, por la invitación a ensamblar un *Número Especial del Boletín de Sociedad Geológica Mexicana –BSGM–*. Queremos agradecer al Dr. Pablo Blanc por su apoyo en la elaboración digital de la Figura 3. También estamos muy agradecidos a todos los autores que aportaron su mejor esfuerzo y voluntad para publicar sus resultados;

y muy especialmente, por respetar los lapsos de tiempo y las pautas de publicación. Y no menos importante, al “ejercito” de árbitros que gentil y desinteresadamente se avocaron a mejorar todas las publicaciones aquí reunidas, con sus comentarios y observaciones.

Referencias

- Audemard, F. A., 1989, Néotectonique du Languedoc méditerranéen: examen critique et synthèse des données existantes: D.E.A. final report, Université Montpellier II (U.S.T.L.), 60 p.
- Audemard, F. A., 1998, Contribución de la paleosismología a la sismicidad histórica: los terremotos de 1610 y de 1894 en los Andes venezolanos meridionales: En Ferrer, C, Laffaille, J. y Rengifo, M. (eds.), Selección de artículos de las Primeras Jornadas de Sismicidad Histórica en Venezuela, Núcleo Universitario Rafael Rangel, Universidad de Los Andes, mayo 1997, *Revista Geográfica Venezolana*, 39(1-2), 87-105.
- Audemard, F. A., 2019, Cinco décadas de búsqueda de la huella geológica de los sismos pre-históricos en Venezuela: una actualización: *Revista Facultad Ingeniería, UCV*, 34, 1.
- Audemard, F. A., Michetti, A.M., 2011, Geological criteria for evaluating seismicity revisited: 40 years of paleoseismic investigations and the natural record of past earthquakes: En Audemard, F. A., Michetti, A. M. y McCalpin, J. (eds.), *Geological criteria for evaluating seismicity revisited: 40 years of paleoseismic investigations and the natural record of past earthquakes*, GSA Special papers 479, 1-21. [https://doi.org/10.1130/2011.2479\(00\)](https://doi.org/10.1130/2011.2479(00))
- Perucca, L., Bastias, H., 2008, Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego: Development in Quaternary Science

- Series, Elsevier, England, 73-94.
- Rodríguez, J. A., Audemard, F. A., 2003, Sobrestimaciones y limitaciones en los estudios de sismicidad histórica con base en casos venezolanos: *Revista Geográfica Venezolana*, 44(1), 47-75.
- Wells, D. L., Coppersmith, K. J., 1994, New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: *Bulletin of Seismological Society of America*, 84(3), 974-1002.