

Por Alan Rocha Varsanyi

SISMOS EN VACA MUERTA.

Un recorrido por
las investigaciones
sobre sismicidad
inducida.

Por Alan Rocha Varsanyi

Sismos en Vaca Muerta.

Un recorrido por las investigaciones sobre sismicidad inducida.

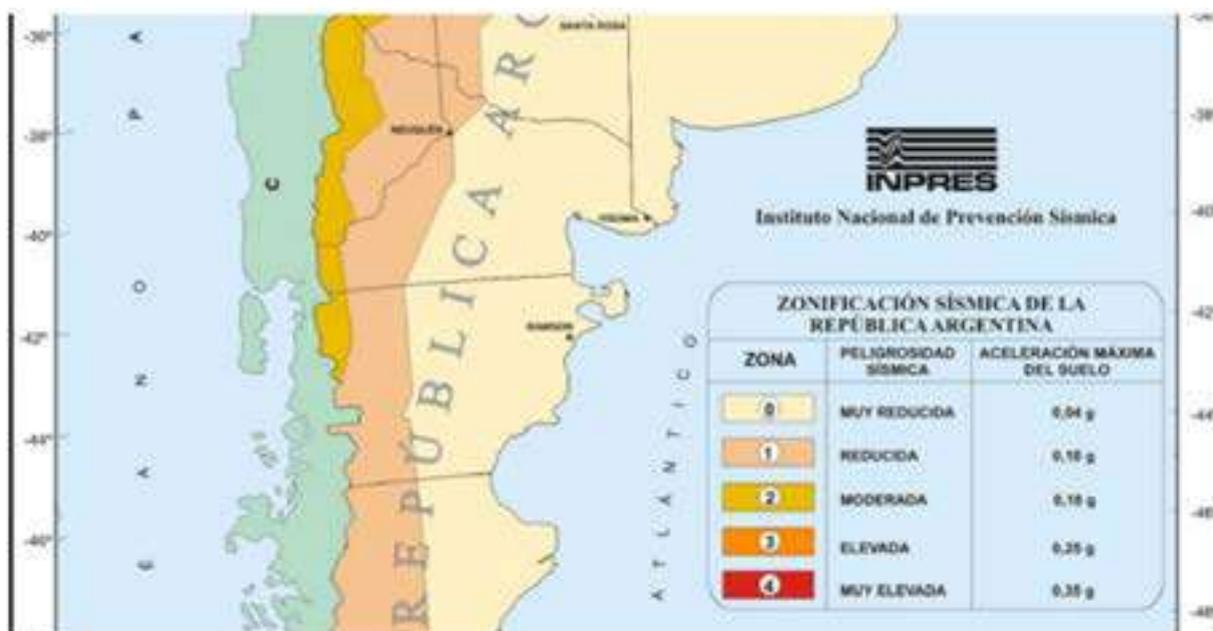
La patagonia extra-andina de Neuquén y Río Negro es una zona de sismicidad de base reducida o muy reducida según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES). Históricamente registra pocos y aislados eventos de baja magnitud pero esto viene cambiando de manera notoria y acelerada (Vásquez et al., 2020). En coincidencia espacial y temporal con la llegada de la extracción de los hidrocarburos no convencionales en 2015 y la intensificación de su explotación en 2018 se registró un creciente número de eventos sísmicos. Estos se concentran en la parte central de la cuenca Neuquina, entre las localidades de Cutral-Có y Añelo. Según el Observatorio de Sismicidad Inducida (OSI) entre 2019 y diciembre de 2023 hubo 457 movimientos.

Estos eventos, que se registran principalmente a partir del INPRES¹ y de la Red Geocientífica de Chile², se caracterizan por una profundidad media de 6 km. Una medida mucho menor que la media de 96 km de los sismos que se desarrollan por causas naturales en la cordillera neuquina. Esto los sitúa muy cerca de la profundidad de fracturación de los pozos de

1// El INPRES sólo publica los sismos de mayor intensidad a 2,5°. Los eventos menores a 2,5° no son publicados por un acuerdo de confidencialidad con la Provincia de Neuquén. Este acuerdo lo que aduce es la no publicación de datos hasta ser analizados junto a la Provincia, el IAPG (Instituto Argentino de Petróleo y Gas), y el CONICET.

2// Fuente no oficial. Asociación sin ánimo de lucro chilena con un reconocido rol a escala regional que ha monitorizado el proceso sísmico contemporáneo en Vaca Muerta.

fracking que en promedio es de 3.3 km, lo que hace que su percepción en la superficie y los posibles daños que acarrear aumenten significativamente. Estos movimientos telúricos han llegado hasta los 5° de magnitud local, lo que se considera de medio a moderado. Hasta ahora se han registrado desde Rincón de los Sauces hasta la zona de Cutral Co, un territorio que coincide con el sistema de fallas de la Dorsal de Huincul que se estaría reactivando a partir de la sismicidad inducida. Estos sismos además llegaron a percibirse en la capital neuquina y en el resto de las localidades del Alto Valle. Sin embargo, uno de los lugares más afectados, por lo menos hasta ahora, es Sauzal Bonito.



Fuente: Mapa de Zonificación Sísmica de la República Argentina del INPRES (2024)

Sauzal Bonito es un paraje rural de la provincia de Neuquén, está a unos 100 kilómetros de Neuquén capital y a unos 40 de Añelo, la localidad-epicentro de la explotación de hidrocarburos en la cuenca neuquina. Más allá de las esporádicas crecidas del río Neuquén, Sauzal Bonito raramente figuraba en los medios de comunicación regionales, menos aún nacionales. Este sosiego no se vivía sólo en la superficie sino que la tierra misma de la zona se

caracterizaba por la calma geológica. En 150 años hubo muy pocas mediciones o registros históricos documentales y orales que den cuenta de la existencia de eventos sísmicos en el área (Tamburini-Beliveau y Grosso, 2021a) lo que contrasta con el Sauzal Bonito de hoy que regularmente aparece en las noticias como [el pueblo que tiembla](#). Lo que cotidianamente vive la comunidad a causa de los sismos es un ejemplo de las posibles consecuencias de la aparición repentina de eventos sísmicos en zonas no preparadas para tales condiciones por ser consideradas de baja peligrosidad sísmica. Un ejemplo que ante la expansión de la explotación de Vaca Muerta vale la pena atender.

Una de las consecuencias más evidentes es el deterioro y rotura estructural de las construcciones que se observa en la aparición de grietas en las edificaciones. Como describe uno de los habitantes de la zona “la casa se ha partido toda y cada día se va complicando más porque en distintas partes se va partiendo, se notan las fisuras”³. A esto se suman los daños en el interior, otra vecina comenta “se me ha roto una estufa que es con lo que caliento mi casa durante todo el invierno y se me cayó una alacena, la casa está totalmente partida y no recibo ayuda de nadie”⁴. Al aire libre se sufren otros riesgos asociados al desprendimiento y derrumbe de rocas que no solo afecta a las personas sino también a los animales, tanto domésticos como autóctonos. Esta capacidad destructiva de los sismos se explica en parte porque la escasa profundidad de estos eventos que los ubican tan cerca de la superficie hace que se sientan con mayor intensidad. Este conjunto de

3// <https://www.youtube.com/watch?v=YOmK-HSz5hc>

4// <https://www.youtube.com/watch?v=hDWERC4hCJ4&t=6s>

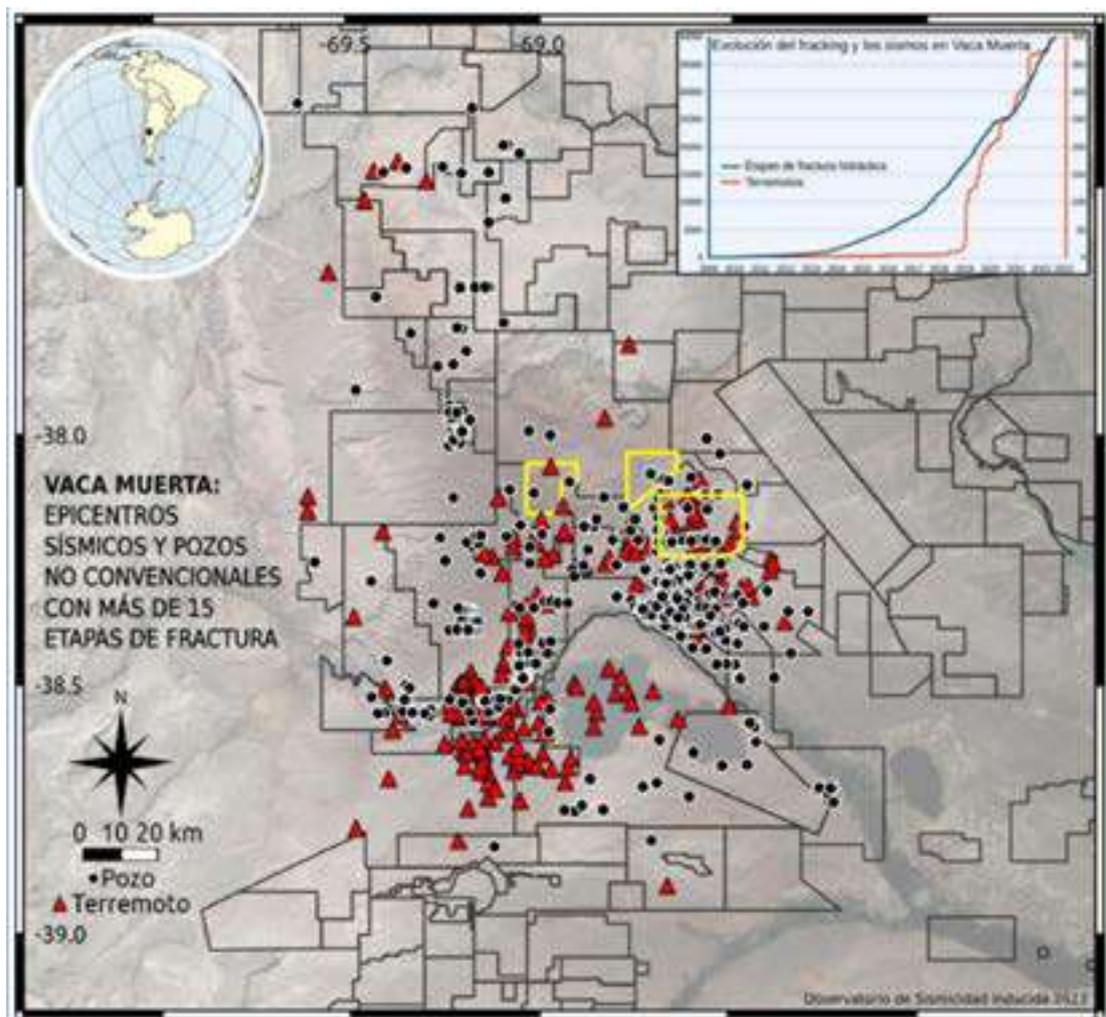
peligros significa un grave deterioro de las condiciones de vida de la comunidad, que se agrava con la imprevisibilidad de los sismos, la frecuencia y la cantidad. En julio de 2017 se registraron cuarenta y dos sismos en tres días⁵, se trata de un enjambre sísmico que Sauzal Bonito ya tuvo que afrontar varias veces.

El impacto de los sismos no es solo material, también afecta la vida cotidiana y la salud mental de las personas que viven en este paraje, en particular de las infancias. Como explica un miembro de la comunidad mapuche Wirkaleo “lo más complicado es en las familias con los chicos chiquitos, por ahí hay temblores a las 2 o 3 de la mañana y están llorando, nosotros para que no se nos venga encima la casa nos vamos afuera”. El riesgo constante, los daños materiales y la falta de respuestas generan una gran incertidumbre en la comunidad. Los efectos que hasta ahora se viven en el día a día de Sauzal Bonito son un ejemplo de algunas de las posibles consecuencias del aumento de la actividad sísmica, sin embargo, diversos sectores de la sociedad civil advierten que no son los únicos riesgos que pueden acarrear los sismos inducidos por el fracking.

La aparición y crecimiento de la actividad sísmica en zonas no preparadas para estos niveles trae aparejado un riesgo para infraestructuras de la industria hidrocarburífera tanto operativa como abandonada y también para las obras de energía hidroeléctrica que se ubican en este territorio. Ductos, pozos, torres, depósitos, piletas, playones, rutas se ven expuestos al deterioro por la exposición recurrente a sismos

5// <https://www.rionegro.com.ar/en-tres-dias-los-pobladores-de-sauzal-bonito-experimentaron-mas-de-40-sismos-1892226/>

lo que puede derivar en siniestros en superficie (accidentes, vertidos, fugas, incendios, explosiones) o también en fallos en las infraestructuras del subsuelo (ruptura de cañerías subterráneas o la activación de fallas que pueden facilitar filtraciones de fluidos altamente contaminantes (OSI, 2023). Con la percepción de algunos de estos sismos en Neuquén capital y otras ciudades del Alto Valle también se visibilizó que este repentino aumento de la actividad sísmica no sólo perjudicaba las zonas más alejadas sino que también podía afectar las principales urbes de la región. Esto abre un nuevo campo de preguntas que hasta el día de hoy no ha tenido respuesta por parte de los distintos niveles del Estado.



La Respuesta Estatal.

“ Podemos atribuirle a que fue la crecida del río que hizo un lavado hacia abajo. Ahora dicen es el fracking eso no es algo certero ”

Martín Giusti, Subsecretario de Defensa Civil y Protección Ciudadana de Neuquén (25/01/2019)

La llegada de la sismicidad coincide exactamente con la expansión de la nueva actividad industrial de la fractura hidráulica en los pozos no convencionales pero a pesar de esto las empresas petroleras y el Estado provincial y nacional rehúyen de hacerse responsables de las consecuencias e insisten en desacreditar la evidencia que vincula el Fracking con la actividad sísmica⁶ de la región (Grosso y Tamburini, 2023). Esto abrió una disputa de sentidos sobre las imprevisibles consecuencias de la expansión del fracking. Una controversia que tuvo poco de dato científico y mucho de los intereses de las empresas y el Estado vinculadas a la industria hidrocarburífera. En principio, las voces empresariales y estatales intentaron desconocer las evidencias desacreditando las fuentes académicas que argumentaban la naturaleza inducida de estos fenómenos y las voces de quienes residen en las zonas más afectadas. Esta postura explica las escasas, tardías y limitadas políticas públicas de prevención y mitigación que se desarrollaron.

Uno de los principales argumentos del Estado provincial era que la evaluación de este tipo de fenómenos requiere

6// La enorme inyección de materiales altera el comportamiento del subsuelo y pone en movimiento a sistemas de fallas locales (fracturas naturales en la roca) preexistentes. El movimiento de las fallas sucede por la alteración del equilibrio natural de fuerzas del subsuelo y por la lubricación de estas mediante los fluidos inyectados. El movimiento final de las fallas, es el sismo, temblor o cimbronazo que la población percibe en la superficie (OSI, 2023)

un tiempo prudencial de análisis y una red de estaciones sismológicas más completa por lo que hasta que no se lograsen estas condiciones no se puede afirmar ninguna relación. Por otro lado, afirmaban que debido a que no figuran en las Declaraciones de Impacto Ambiental de las empresas efectos asociados a la sismicidad y que no se cuenta con información presentada por las operadoras en relación al tema no pueden aseverar la relación de los sismos con la actividad hidrocarburífera no convencional. Por último, también sostenían que las investigaciones realizadas a nivel internacional no eran concluyentes ni pertinentes para pensar la cuenca Vaca Muerta.

Lo paradójico de los argumentos que sostuvieron desde el Estado, especialmente en las primeras etapas de rotunda negación, es que este es responsable en gran medida de la falta de información por las políticas de confidencialidad que sostienen y por la falta de sismógrafos en la región. Los datos referidos a sismos menores de 2,5° de magnitud registrados por sismógrafos de las mismas empresas no son accesibles al público por un acuerdo de confidencialidad en las que participan las empresas Total Austral S.A. y Wintershall Energía S.A. y el Instituto Geofísico y Sismológico Volponi de la Universidad Nacional de San Juan (Tamburini-Beliveau y Grosso, 2021b). Esta información producida por organismos públicos si bien afecta al bien común no es accesible a la población que se ve afectada cotidianamente.

En este sentido, si bien se conoce la existencia de esta red privada de sismógrafos se trata de datos de carácter confidencial, por lo que lo publicado en el INPRES es la única fuente oficial accesible para los estudios en la región lo que se complementa o coteja con otras fuentes como los aportes

de la Red Geocientífica de Chile⁷. Ante la movilización de vecinas/os de Sauzal Bonito luego de uno de los sismos de mayor magnitud el gobierno provincial se comprometió, a inicios de 2019, a instalar una red de 16 sismógrafos. Para abril del 2023 se instalaron sólo 8 de estos⁸, lo que expresa más una limitación política que técnica para poder avanzar en investigaciones y conclusiones más certeras. Sin embargo, como advierten Tamburini Beliveau y Grosso los registros sismográficos son la forma más directa y sencilla para estudiar la sismicidad pero existen otras metodologías que no implican el uso de sismógrafos (2021b) y que ya se han aplicado en la región. Así es que las argumentaciones orientadas a poner en duda las vinculaciones entre la sismicidad en la zona de Sauzal Bonito y la actividad hidrocarburífera fueron rebatidas por un creciente número de investigaciones, tanto a nivel internacional como regional. Con el paso del tiempo, y sobre todo con la creciente evidencia acumulada de cientos de sismos, se afianzó la tesis que sostiene la vinculación entre la fractura hidráulica y los movimientos telúricos. Esto obligó a funcionarios y empresas a reconocer la problemática y elaborar protocolos de actuación que tampoco son de acceso público.

7// Una fuente que fue desacreditada por funcionarios del gobierno neuquino.

8// <https://www.rionegro.com.ar/energia/sismos-en-vaca-muerta-aseguran-que-este-ano-se-completara-la-red-de-monitoreo-2838487/>

Fractura Hidráulica y Sismicidad Inducida.

Las investigaciones sobre la sismicidad inducida y en particular de su relación con la industria hidrocarburífera son complejas y relativamente novedosas. Si bien hay investigaciones que desde hace décadas vienen advirtiendo sobre los riesgos de la sismicidad inducida, como el Davis (1993) los principales trabajos que comprueban la ocurrencia de eventos sísmicos debido a la fuerte alteración artificial del sustrato geológico se publicaron en los últimos ocho años.

La tesis de la sismicidad inducida⁹ por hidrofractura que en principio era desacreditada por distintas voces académicas, estatales y empresariales se consolidó a partir de investigaciones de distintos casos a nivel global. En Reino Unido, China, Canadá y Estados Unidos se registraron abruptos aumentos en la cantidad y magnitud de la actividad sísmica que diversos estudios científicos analizaron, aplicando variadas metodologías, para confirmar su vinculación directa con la actividad hidrocarburífera no convencional.

A nivel global, algunos de los trabajos más destacados son el de Weingarten (2015) que analiza cómo la inyección de fluidos en pozos sumideros es el factor disparador más probable y decisivo del incremento sin precedentes de

9// El sismo disparado es aquel en el que la actividad industrial ha favorecido su ocurrencia en una zona en la que las estructuras geológicas ya se encontraban en un estado de fuerzas favorables al mismo y que, por lo tanto, podría haberse dado por causas naturales (dentro de una escala temporal geológica, es decir, tras cientos, miles o incluso millones de años). El sismo inducido es aquel provocado por completo debido a la actividad industrial, ya que no hubiera sido posible por procesos naturales (Tamburini y Grosso, 2021: 3).

eventos sísmicos en la región continental de EE.UU, que comenzó en 2009. Además corrobora la asociación entre mayores volumen de fluidos inyectados y mayor sismicidad inducida.

En el mismo sentido Atkinson (2016) analiza la relación entre fractura hidráulica y la sismicidad en la cuenca del oeste canadiense y confirma que la acelerada inyección de fluidos durante los últimos cinco años ha llevado a un agudo incremento en la tasa de eventos sísmicos. De esta forma corrobora la estrecha correlación en tiempo y espacio entre los sismos y la fractura hidráulica. En un trabajo posterior (2020) el mismo investigador agrega que los sismos inducidos por la fractura hidráulica pueden ser de elevada magnitud y provocar daños en la superficie además de no ser predecibles de forma confiable.

Lei (2017) realiza una investigación similar pero en la cuenca de Sichuan en China y llega a la conclusión de que la fractura hidráulica para shale gas es la causa más probable de la reactivación de una falla geológica y la ocurrencia de una serie de eventos sísmicos de magnitudes elevadas. Otro trabajo de relevancia es el de Foulger (2018) que analiza una amplia base de datos de 700 sismos ocurridos en el lapso 1868-2016 potencialmente inducidos por diversas actividades entre las que destaca la hidrofractura. El autor sostiene que la tensión liberada por los sismos inducidos no es necesariamente la misma que la energía aplicada por las actividades humanas sino que pueden liberarse tensiones tectónicas preexistentes. Es decir, ciertas actividades humanas pueden, en condiciones geológicas específicas, liberar enormes magnitudes de energía sísmica contenida.

Muchas de estas investigaciones del campo de la geología pero también mediáticas y de las ciencias de la salud son compendiadas en el [Compendium of Scientific, Medical, and Media Findings Demonstrating Risks and Harms of Fracking and Associated Gas and Oil Infrastructure](#) que regularmente recoge descubrimientos en torno a los riesgos y daños asociados a la hidrofractura. En la novena y última edición de este compendio publicado en octubre de 2023 uno de sus capítulos titulado “El fracking y la inyección de desechos del fracking causa terremotos” retoma estas y otras investigaciones de Canadá, Oklahoma, Kansas, Ohio, Texas, el Reino Unido, China y Argentina que ligan definitivamente los terremotos a la hidrofractura y a pozos sumideros como única explicación plausible. En este compendio se recupera el trabajo de Tamburini-Beliveau (2022) sobre la cuenca neuquina y el Golfo de San Jorge en el que analizan dos sismos superficiales de magnitud 4.9 y 5 que suceden inmediatamente después de picos históricos de inyección y los consecuentes y súbitos desbalances de fluido en el subsuelo.

En lo que refiere específicamente a la cuenca neuquina, uno de los trabajos que en mayor profundidad analiza la situación es el de Correa Otto que en el marco de su investigación doctoral (2021) instaló una red local de sismómetros de banda ancha en puntos clave que, en combinación con otras bases de datos y metodologías, aportó datos inéditos y de alto grado de confianza y precisión. El investigador concluye a partir de su estudio que comenzó en 2014 que las intensas operaciones de fractura hidráulica son los disparadores más probables de los sismos de la región. Además corrobora que los niveles de producción de hidrocarburos no convencionales y las localizaciones de

los pozos se corresponden con la mayoría de la sismicidad registrada.

El autor sostiene que el terremoto de 3.78 MI de 2015 fue probablemente el primer evento sísmico inducido registrado en el área, generado por la reactivación de una falla transcurrente preexistente. Correa-Otto concluye que un monitoreo detallado y la adopción de protocolos de respuesta son el primer paso para abordar el riesgo que conlleva la creciente sismicidad de la zona, destaca además el riesgo que implican estas nuevas condiciones para las infraestructuras críticas que no aceptan ningún tipo de falla.

Guillermo Tamburini Beliveau y Javier Grosso también aportan a los estudios sobre la sismicidad inducida en Neuquén además de hacer un valioso trabajo de [sistematización bibliográfica](#) (2021), detallados análisis de la [política estatal](#) (2021) y [el análisis de casos paradigmáticos](#) (2023 a, 2023 b). Esta labor se materializó en cuatro informes editados por la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN). En el primero de ellos ordenan los principales trabajos académicos sobre la temática a nivel global y regional. Concluyen que más allá de la tendencia generalizada en Argentina a desvincular la ocurrencia de los sismos de la industria hidrocarburífera, existe un conjunto relevante de indicios que indican lo contrario. Por eso advierten que es urgente atender esta problemática con políticas públicas acordes.

Cómo contracara de esta preocupación, en el segundo informe se analiza el accionar de la administración pública provincial y nacional. A través del estudio de documentos e informes evidencian la falta de voluntad política para tomar las medidas necesarias lo que involucra a entes estatales,

asociaciones civiles vinculadas a las empresas del sector e instituciones académicas y universitarias públicas. A través de este análisis se sostiene que las limitaciones técnicas no son el condicionante principal de la falta de información y advierten además el gran riesgo para el bien común que representa descuidar la situación. En 2023 los mismos investigadores publicaron dos nuevos informes en los que analizan la sismicidad inducida en Bajada del Palo Oeste en la que opera la empresa Vista Oil & Gas y en Fortín De Piedra, área operada por Tecpetrol.

Ante las dificultades en el acceso a la información muchas de las investigaciones deben complementar lo aportado por el INPRES con las bases de datos aportadas por distintas redes e instituciones a nivel internacional como el Servicio Geológico de los Estados Unidos¹⁰, el Centro Sismológico Internacional y la Red Geocientífica de Chile. Esta última, por su política de compartir para el acceso público información y por tener acceso a las mediciones de los sismogramas de diversas estaciones ubicadas del lado chileno a una distancia de entre 200 y 300 kilómetros de Sauzal Bonito, es una de las fuentes privilegiadas de quienes investigan el aumento de la sismicidad en la cuenca neuquina. Investigadores de la Red Geocientífica de Chile y de la Asociación Argentina de Geología colaborativamente han publicado [boletines](#) donde se analiza la inyección de fluido asociada a la explotación de yacimientos de reservorios no convencionales como la causa más probable notorio aumento de la sismicidad (Vásquez, et al. 2020). Los datos y análisis realizados a partir de los aportes de estas distintas redes e instituciones han

10// United States Geological Survey (USGS): Fuente oficial norteamericana y reconocida institución científica internacional.

permitido sortear, en cierta medida la escasa información accesible y han habilitado el desarrollo de las varias de las investigaciones que hemos referenciado.



Desde las publicidades de “0% probabilidad de sismos” de YPF en 2014 hasta hoy las cuestiones fueron cambiando. En un principio quienes señalaban las posibles consecuencias sísmicas del fracking eran ignorados y sus planteos rechazados/ridiculizados. Sin embargo a partir de los datos sobre el incremento en la cantidad de sismos, del creciente número de investigaciones

y en particular del relato de miembros de la comunidad que viven cotidianamente las consecuencias de los terremotos se logró visibilizar la situación y apuntar a su vinculación con la actividad hidrocarburífera no convencional.

Los sismos, que llegan a ser cotidianos en la realidad de Sauzal Bonito, son cubiertos con cierta regularidad por los medios de comunicación, se realizaron investigaciones periodísticas que fueron recuperando [la voz de vecinas/os](#) de la comunidad y especialistas en la temática están abordando con profundidad el tema. Un ejemplo de estos es el informe audiovisual [Sauzal Bonito, el pueblo que tiembla](#) que a partir de cinco capítulos difundidos por el noticiero central de Telefe

Neuquén da cuenta de las múltiples aristas del incremento de los sismos en los últimos años y las posibles consecuencias a futuro. Este tipo de publicaciones periodísticas y la tarea de diversas organizaciones de la sociedad civil son las que aportan actualmente la mayor parte del seguimiento de la situación.

Esta visibilización y legitimación del reclamo sobre los sismos inducidos no alcanzó todavía para que los diversos niveles del Estado adopten medidas acordes, aunque se consiguió avancen en algunas incipientes medidas que apuntan a paliar la situación. La publicación de [informe semanal de sismicidad](#) que realiza desde agosto de 2021 el estado provincial neuquino, el avance en la instalación de sismógrafos en la región y el anuncio, muy lejos de cumplirse hasta ahora, de la construcción de unas cincuenta casas sismoresistentes para las familias afectadas son algunas de las medidas que a partir de los reclamos dan cuenta del reconocimiento, parcial, por parte del estado de la problemática.

Con sus pocos cientos de familias el paraje Sauzal Bonito se volvió el triste ejemplo de las consecuencias del fracking y de la poca transparencia de las políticas públicas que aún hoy buscan soslayar el nutrido conjunto de indicios que vinculan los sismos a la extracción de no convencionales. Sin embargo, este ocultamiento no llega a tapar las experiencias de quienes viven las consecuencias ni de quienes preocupadas/os por los posibles impactos se han comprometido a investigar el aumento tanto de la cantidad y la magnitud de los sismos inducidos. Aquí hemos recuperado diversas investigaciones académicas y periodísticas que analizan la situación y no sólo

contribuyen a comprobar las sismicidad desatada desde la expansión de la hidrofractura sino que también buscan visibilizar una situación que se caracteriza por la negación estatal y la falta de voluntad para avanzar políticas acordes. La postura es la defensa de Vaca Muerta sin fisuras.

Bibliografía.

Atkinson, G. M., Eaton, D. W., Ghofrani, H., Walker, D., Cheadle, B., Schultz, R., Shcherbakov, R., Tiampo, K., Gu, J., Harrington, R. M., Liu, Y., van der Baan, M., y Kao, H. (2016). Hydraulic fracturing and seismicity in the western Canada sedimentary basin. *Seismological Research Letters* 87, 3 (Mar. 2016), 631-647.-continent seismicity. *Science*, 348(6241), 1336-1340.

Atkinson, G. M., Eaton, D. W., & Igonin, N. (2020). Developments in understanding seismicity triggered by hydraulic fracturing. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(5), 264-277.

Davis, S. D., & Frohlich, C. (1993). Did (or will) fluid injection cause earthquakes?-criteria for a rational assessment. *Seismological Research Letters*, 64(3-4), 207-224.

Correa-Otto, S. (2021). Experimento sismológico en la cuenca neuquina, la región de mayor explotación de

hidrocarburos por métodos no convencionales de la Argentina. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Instituto Geofísico sismológico Volponi.

Foulger, G. R., Wilson, M. P., Gluyas, J. G., Julian, B. R., y Davies, R. J. (2018). Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews* 178 (Mar. 2018), 438-514.

Grosso Heredia, J. y Tamburini Beliveau, G. (2023a). Sismicidad a simple Vista: el fracking en Bajada del Palo Oeste y otras zonas de operación de Vista Oil & Gas (Vaca Muerta). FARN.

Grosso Heredia, J. y Tamburini Beliveau, G. (2023b). Terremotos subsidiados en el fortín de Tecpetrol: fracking financiado y la irrupción de la sismicidad en Fortín de Piedra, área operada por Tecpetrol. FARN.

Lei, X., Huang, D., Su, J., Jiang, G., Wang, X., Wang, H., Guo, X., y Fu, H. (2017). Fault reactivation and earthquakes with magnitudes of up to $m_w 4.7$ induced by shale-gas hydraulic fracturing in sichuan basin, china. *Scientific Reports* 7, 1 (Aug. 2017).

Observatorio de Sismicidad Inducida,
<https://sismicidadinducida.ar/>

Tamburini-Beliveau, G., Grosso-Heredia, J. A., Béjar-Pizarro, M., Pérez-López, R., Portela, J., Cismondi-Duarte, M., & Monserrat, O. (2022). Assessment of ground deformation and seismicity in two areas of intense

hydrocarbon production in the Argentinian Patagonia. Nature: Scientific Reports, 12(1), 1–14.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-23160-6>

Tamburini-Beliveau, G. y Grosso, J. (2021). Sismicidad Inducida: Antecedentes bibliográficos y aportes para el caso de Vaca Muerta. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/08/DOC_SISMICIDAD_CAP1_links.pdf

Tamburini-Beliveau, G. y Grosso, J. (2021). La administración pública y la gestión del riesgo sísmico en la cuenca de Vaca Muerta. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/08/DOC_SISMICIDAD_CAP2_links-1.pdf

Vásquez, J., Spagnotto S., Mezcua, J., Giambiagi, L., y Sigismondi, M. (2020). Aumento notorio de la sismicidad de la provincia del Neuquén, en el período 2015-2020. Boletín Brackebuschiano (2020), 9-17.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/148625>

Weingarten, M., Ge, S., Godt, J. W., Bekins, B. A., & Rubinstein, J. L. (2015). High-rate injection is associated with the increase in US mid-continent seismicity. Science, 348(6241), 1336-1340.



APUNTES DE TRABAJO