

LEY PROVINCIAL PARA LA PREVENCIÓN DE LA SISMICIDAD INDUCIDA POR LA PRÁCTICA DE LA FRACTURACIÓN HIDRÁULICA EN NEUQUÉN

A propuesta del Observatorio de Sismicidad Inducida
Mayo de 2025

Versión 1.0

LEY PROVINCIAL PARA LA PREVENCIÓN DE LA SISMICIDAD INDUCIDA POR LA PRÁCTICA DE LA FRACTURACIÓN HIDRÁULICA EN NEUQUÉN

TÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1° - Objeto de la ley.

La presente ley tiene por objeto establecer un marco regulatorio para la prevención de la sismicidad inducida generada por la práctica industrial de la fractura hidráulica (fracking) en el territorio de la Provincia de Neuquén. Para dicho propósito, la complementaria definición de un protocolo de semáforo sísmico representa un pilar fundamental. A su vez, sienta las bases para la definición del organismo provincial que debe observar la aplicación de esta ley y que se constituye como la autoridad de aplicación de la misma. Asimismo, se declara de interés provincial la prevención y minimización de los riesgos asociados a la sismicidad inducida, garantizando la seguridad de la población, la protección del ambiente y el desarrollo sostenible de la actividad hidrocarburífera.

Artículo 2° - Ámbito de Aplicación.

La presente ley es de aplicación obligatoria en todo el territorio de la Provincia del Neuquén para todas las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, que realicen o pretendan realizar actividades de fractura hidráulica para la extracción de hidrocarburos desde el mismo momento de la sanción de la misma. Asimismo, es extensible y adaptable a otras cuencas hidrocarburíferas de la provincia y a la industria extractiva en general, tanto de hidrocarburos como de minería, mediante la reglamentación correspondiente.

Artículo 3° - Principios Rectores.

La presente ley se fundamenta en los siguientes principios rectores:

- a) Precaución: Ante la incertidumbre científica sobre la magnitud y características de los efectos de la fractura hidráulica en la sismicidad, se adoptan medidas preventivas para evitar o minimizar los posibles daños.
- b) Prevención: Se priorizan las acciones destinadas a evitar la ocurrencia de sismicidad inducida o a reducir su magnitud e impacto.
- c) Responsabilidad: Los operadores de la actividad de fractura hidráulica son responsables de implementar las medidas de mitigación acorde a esta ley y de responder por los daños que pudieran ocasionar la sismicidad inducida.
- d) Transparencia y Acceso a la Información: Se garantiza el acceso público a toda información relevante sobre la actividad de fractura hidráulica y, específicamente, sobre la sismicidad inducida, incluyendo los datos relativos a las características de los pozos de fracking en sus diversas etapas y monitoreo rutinario, datos de monitoreo sísmico y las medidas de mitigación implementadas.
- e) Participación ciudadana: Desde las etapas iniciales de los procesos de toma de decisiones con afectación sobre la potencial ocurrencia de sismicidad inducida se deben establecer los mecanismos oportunos para que la población pueda participar en ellos. Estos procesos deben regirse por principios de flexibilidad y adaptabilidad que permitan ajustarse al máximo a las necesidades de la ciudadanía en cada ocasión.

f) Mejora Continua: Se promoverá la investigación científica y la adopción de las mejores prácticas disponibles para la prevención y, en su caso, mitigación de la sismicidad inducida.

Artículo 4° - Definiciones.

A los efectos de la presente ley, se entenderá por:

a) Área de influencia: Radio de al menos cincuenta (50) kilómetros desde el epicentro del área del proyecto hidrocarburífero, o aquél radio más extenso que se considere apropiado atendiendo a las particularidades geológicas regionales.

b) Fractura Hidráulica (Fracking): Técnica de estimulación de pozos hidrocarburíferos que consiste en la inyección a alta presión de fluidos en el subsuelo para fracturar la roca y facilitar la extracción de hidrocarburos.

c) Magnitud Local (ML): Escala sismológica utilizada para medir la magnitud de un terremoto a partir de la amplitud de las ondas sísmicas registradas por un sismógrafo local.

d) Operador hidrocarburífero: persona física o jurídica que participa en las actividades de exploración, explotación, transporte, fraccionamiento, distribución y refinería de hidrocarburos líquidos o gaseosos. Esto incluye ser titular, permisionario o concesionario de áreas para estas actividades.

e) Radio de afectación: Longitud que define el área circular sobre la cual resulta de aplicación el protocolo de semáforo sísmico. El extremo focal de dicho radio es coincidente con la localización del epicentro sísmico. En el artículo 9 quedan definidas tres longitudes de radio acorde con los umbrales establecidos en el protocolo de actuación: amarillo cinco (5) km, ámbar diez (10) km y rojo quince (15) km.

f) Radio de Exclusión: Distancia mínima establecida entre la zona sensible y el punto más cercano de operación de la potencial fuente de inducción sísmica.

g) Sismicidad Inducida: Eventos sísmicos cuya ocurrencia o características son consecuencia de actividades humanas, en este caso, la fractura hidráulica. Por extensión se usa esta expresión como sinónimo de la locución "sismicidad disparada".

h) Umbral de actuación: Valor de magnitud sísmica predefinido en magnitud local (ML) que desencadena la implementación de medidas específicas de respuesta estipuladas en el protocolo de semáforo sísmico.

i) Zona Sensible: Área geográfica que por su densidad poblacional, infraestructura crítica o valor ambiental requiere una protección especial ante la sismicidad inducida.

TÍTULO II: MARCO REGULATORIO

Artículo 5° - Evaluación de Riesgo Sísmico Previo.

Previo al inicio de cualquier actividad de fractura hidráulica, el operador debe realizar una exhaustiva Evaluación de Riesgo Sísmico Inducido (ERSI). Esta evaluación, con criterios específicos definidos por la autoridad de aplicación, debe incluir, como mínimo:

a) Un estudio geológico y sismotectónico detallado del área de influencia del proyecto, incluyendo la identificación de fallas activas o potencialmente activas: análisis de la estratigrafía, la estructura geológica (identificación y caracterización de fallas, pliegues y otras discontinuidades), el campo de esfuerzos actual y el historial de actividad sísmica

natural e inducida en el área de influencia del proyecto. Se deberán utilizar datos geológicos de superficie y subsuelo (registros de pozos, sísmica 2D y 3D, etc.) disponibles y realizar estudios de campo específicos si fuera necesario.

b) Un análisis del historial sísmico de la región, incluyendo la identificación de eventos sísmicos preexistentes y sus características: recopilación y análisis exhaustivo de los catálogos sísmicos históricos (INPRES, centros internacionales, estudios locales) para identificar la frecuencia, magnitud y distribución espacial de los eventos sísmicos preexistentes. Se deberá analizar la posible existencia de sismicidad preexistente que pudiera ser sensible a las operaciones de fractura hidráulica.

c) Una modelización predictiva de la potencial sismicidad inducida y la simulación de la respuesta del subsuelo en el área de explotación y de modo menos exhaustivo para el área de influencia, considerando: las características del proyecto: volumen y presión de inyección, profundidad de los pozos, propiedades geomecánicas de la roca y fluidos inyectados, permeabilidad, presión de poro orientación y estado de esfuerzo de las fallas, etc.) y las condiciones geomecánicas del subsuelo. Se deberán realizar escenarios predictivos de la magnitud y la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos inducidos en función de los parámetros operativos del proyecto.

d) La identificación y caracterización detallada de las zonas sensibles ubicadas dentro del área de influencia potencial del proyecto: áreas pobladas, infraestructuras críticas (represas, hospitales, escuelas, oleoductos, gasoductos, etc.), áreas con valor ambiental o patrimonial relevante, áreas de georriesgo crítico (bardas, dolinas y sumideros, zonas de levantamiento y subsidencia del suelo) ubicadas dentro del radio de influencia potencial del proyecto. Se prestará especial atención, por su gran trascendencia, a elementos integrantes del sistema hidrológico superficial (embalses, lagos, ríos, arroyos, etc) y subterráneos (acuíferos). Se deberá evaluar la vulnerabilidad de estas zonas ante la potencial sismicidad inducida.

e) La definición de un plan de monitoreo sísmico específico para el proyecto, incluyendo la ubicación y características de las estaciones sismológicas: diseño detallado de una red de monitoreo sísmico que garantice la detección y el registro preciso de la actividad sísmica inducida. El plan deberá especificar el número, la ubicación (incluyendo coordenadas geográficas y justificación de la ubicación), el tipo y las características técnicas de los sensores sismológicos (banda ancha, período corto, acelerógrafos), el sistema de adquisición y transmisión de datos en tiempo real, y los protocolos de mantenimiento y calibración de la red.

f) La definición de un plan de acción concreto para la aplicación del protocolo semáforo sísmico definido en el Artículo 9 de la presente ley.

La Evaluación de Riesgo Sísmico Inducido debe ser elaborada bajo las instrucciones de la autoridad de aplicación por profesionales geocientíficos independientes y con experiencia demostrable en sismología y geomecánica, y debe ser presentada a dicha autoridad para su aprobación.

Artículo 6° - Monitoreo Sísmico Obligatorio.

Previo al inicio de cualquier actividad de fractura hidráulica, el operador debe implementar un sistema de monitoreo sísmico continuo y en tiempo real, con cobertura adecuada al área de influencia del proyecto. Dicho sistema deberá permanecer correctamente activo durante el lapso temporal de dos años a contar desde la finalización de la última etapa de fractura. Este sistema debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

a) Utilización de una red de estaciones sismológicas con sensores de alta sensibilidad y capacidad de registro de eventos de baja magnitud.

i) Densidad de la Red: La red de estaciones sismológicas debe tener una densidad suficiente para garantizar la detección de eventos sísmicos de magnitud 1.0 ML o superior en todo el área de influencia potencial del proyecto. Se recomienda una densidad mínima de una estación cada 100 kilómetros cuadrados en la zona de mayor actividad potencial.

ii) Características de los Sensores: Se deben utilizar sensores sismológicos de banda ancha con una frecuencia de muestreo mínima de 100 Hz y un rango dinámico adecuado para registrar eventos de baja y moderada magnitud. En zonas cercanas a infraestructura crítica, se pueden requerir acelerógrafos para medir la aceleración del suelo.

b) Transmisión de datos en tiempo real a un centro de procesamiento y análisis.

i) El sistema de adquisición de datos debe garantizar la digitalización y el almacenamiento seguro de la información sísmica. La transmisión de datos en tiempo real al centro de procesamiento y análisis debe realizarse a través de canales de comunicación confiables, redundantes y de código libre.

ii) El operador debe contar con un centro de pre-procesamiento y análisis de datos sísmicos equipado con software especializado y de código libre para la detección, localización, cálculo de magnitud y análisis de las características de los eventos sísmicos. El centro debe contar con personal técnico especializado (sismólogos, analistas de datos) y la información preprocesada ser transferida al centro provincial de gestión de datos de sismicidad inducida que debe estar disponible las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

iii) El centro provincial de gestión de datos de sismicidad inducida es dependiente del organismo constituido para regular y tutelar el cumplimiento de esta ley.

c) Disponibilidad de personal técnico especializado para la operación y mantenimiento del sistema de monitoreo y el análisis de los datos.

d) Integración de los datos de monitoreo con los registros de las operaciones de fractura hidráulica (volumen y presión de inyección, etapas de fractura, etc.).

i) Se debe establecer un sistema para la integración automática de los datos de monitoreo sísmico con los registros detallados de las operaciones de fractura hidráulica (fecha, hora, ubicación del pozo, etapa de fractura, volumen y presión de inyección, fluidos utilizados, etc.). Este sistema de integración de datos de monitoreo de fractura debe cumplir los mismos requisitos que el sistema de monitoreo sísmico.

El operador debe garantizar el acceso irrestricto y en tiempo real a los datos brutos y procesados del monitoreo sísmico a la autoridad de aplicación (ver Título V de la presente ley) a través de una plataforma digital segura y de fácil acceso. Los datos deberán ser archivados y conservados por un período mínimo de diez (10) años.

e) Reportes Periódicos: El operador debe presentar informes periódicos a la autoridad de aplicación, con el análisis de la actividad sísmica registrada, su posible correlación con las operaciones de fractura hidráulica y las medidas de mitigación implementadas. La frecuencia y el contenido de estos informes serán definidos en la reglamentación.

Artículo 7° - Radio de Exclusión.

Se establece un radio de exclusión de quince (15) kilómetros como distancia mínima entre la zona sensible y el punto más cercano de operación de la potencial fuente de inducción sísmica, pudiendo ser esta la cabeza del pozo o cualquiera de las etapas de fractura de la rama horizontal.

Este radio podrá ser ampliado por la autoridad de aplicación en función de las características geológicas y sismotectónicas específicas de cada área y de los resultados de la Evaluación de Riesgo Sísmico Inducido (ERSI).

Artículo 8° - Mejores Prácticas Operacionales.

Los planes de fractura hidráulica deben ser diseñados y ejecutados optimizando los parámetros de inyección tales como el volumen total de fluido, su caudal máximo, presión máxima por etapa, duración de las etapas, o tipo fluidos utilizados, entre otros, con el objetivo de minimizar el potencial de activación de fallas preexistentes o cualquier riesgo de inducción de sismicidad. Se deben realizar pruebas piloto y análisis de micro sísmica durante las primeras etapas de fractura para ajustar los parámetros de inyección en tiempo real.

Los operadores de fractura hidráulica deben implementar las mejores prácticas operacionales disponibles para minimizar el riesgo de sismicidad inducida. Estas prácticas deben incluir, como mínimo:

a) Caracterización Geomecánica Detallada: Previo a la perforación y fractura de cada pozo, se debe realizar una caracterización geomecánica exhaustiva del subsuelo en la zona del pozo objetivo, incluyendo ensayos de laboratorio y de campo para determinar las propiedades mecánicas de las rocas (resistencia a la compresión y a la tracción, módulo de Young, coeficiente de Poisson u otros mecanismos adecuados, de acuerdo lo establezca la reglamentación), el estado de esfuerzo in situ y la presencia de fracturas naturales.

b) Optimización de los Parámetros de Inyección: Los planes de fractura hidráulica deben ser diseñados y ejecutados optimizando los parámetros de inyección (volumen total, caudal máximo, presión máxima por etapa, duración de las etapas, fluidos utilizados) con el objetivo de minimizar el potencial de activación de fallas preexistentes. Se deben realizar pruebas piloto y análisis de micro sísmica durante las primeras etapas de fractura para ajustar los parámetros de inyección en tiempo real.

c) Gestión de la Presión de Poro: Se deben implementar programas de gestión de la presión de poro en la zona de los pozos fracturados y sus alrededores, monitoreando la evolución de la presión y adoptando medidas para evitar incrementos excesivos que puedan desestabilizar fallas.

d) Fluidos de fractura: Se debe priorizar el uso de fluidos de fractura con baja viscosidad y bajo potencial de interacción química con las rocas del subsuelo, que puedan reducir el riesgo de lubricación de fallas y la generación de sismicidad inducida. Se debe informar detalladamente la composición química de los fluidos utilizados a la autoridad de aplicación y al público en general.

e) Se deben implementar todos aquellos programas de gestión y técnicas industriales que la autoridad de aplicación indique como necesarios para minimizar el riesgo de inducción sísmica.

f) Protocolos de suspensión y modificación de operaciones: La operación se debe realizar siguiendo de modo riguroso los protocolos predefinidos para la suspensión o modificación inmediata de las operaciones de fractura hidráulica en caso de detección de actividad sísmica anómala o que supere los umbrales definidos en la presente ley. Estos protocolos especifican las acciones a seguir, los responsables de la toma de decisiones y los criterios para la eventual reanudación de las operaciones. Sus lineamientos generales se indican en el siguiente Título, Título III.

TÍTULO III: PROTOCOLO DE SEMÁFORO SÍSMICO

Artículo 9° - Umbrales de Actuación.

Se crea el protocolo de semáforo sísmico. El protocolo cuenta con cuatro (4) umbrales de actuación, basados en la magnitud local (ML) de los eventos sísmicos registrados y es de cumplimiento obligatorio para todos los proyectos de fractura hidráulica en el territorio de la Provincia de Neuquén.

La aplicación de las acciones de cada nivel de alerta implica la adopción de las complementarias indicadas en los niveles de alerta precedentes, siendo de aplicación prioritarias aquellas más restrictivas en caso de superposición o ambigüedad.

Las medidas indicadas aplican para cualquier pozo en fase de fractura en un radio de 15 km con foco en el epicentro sísmico ante situación de luz roja, y se reducirá en 5 km por cada umbral inferior.

El protocolo de semáforo sísmico, en su versión esquemática de presentación pública para prevenir y contener situaciones de riesgo por sismicidad inducida tiene la forma que se presenta en el Anexo uno (1) de esta ley.

a) **Rojo: Magnitud 3.5 ML o mayor.** Umbral de sismicidad máximo asumible. **Detención total e inmediata de toda actividad de fractura hidráulica.** Se debe realizar una evaluación exhaustiva de las causas del evento y presentar un plan de remediación y mitigación a la autoridad de aplicación, con su pertinente justificación, para su aprobación antes de considerar cualquier reinicio de las operaciones.

b) **Ámbar: Magnitud >2.5 y <3.5 ML.** Umbral de situación máxima de prevención. **Reducción de las actividades de fractura hidráulica** según un plan progresivo, bajo fuerte monitoreo y con la aprobación expresa de la autoridad de aplicación. Se activa de inmediato una revisión exhaustiva de los parámetros de inyección y los periodos entre etapas de fracturas y del plan de gestión de la sismicidad inducida hasta que se determine que las operaciones pueden reanudarse de forma segura. Esto se realiza mediante el establecimiento expreso de un programa de operaciones de características similares a las descritas en la figura del Anexo 1. La autoridad de aplicación procede a comunicar públicamente los sismos registrados con magnitud igual o superior a 2.5 ML, en concordancia con la práctica del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES).

c) **Amarillo: Magnitud >1.5 y <2.5 ML.** Umbral de precaución. **Alerta y reforzamiento del monitoreo sísmico** en el radio de afectación. Se revisan los parámetros de inyección y se pueden implementar medidas preventivas adicionales, como la reducción de las presiones o volúmenes de inyección, según lo determine la autoridad de aplicación.

d) **Verde: Magnitud <1.5 ML.** Umbral de actividad normal. La actividad de fractura hidráulica continua con normalidad, manteniendo el monitoreo sísmico y las prácticas operacionales establecidas.

e) Si existen pozos con ramas horizontales mayores a cinco kilómetros de longitud en un radio de 30 km desde el epicentro sísmico, se extiende el radio de afectación con una longitud adicional a los 15 km equivalente al cuádruple de la longitud de la rama horizontal que supere los 5 km. Por ejemplo: un pozo con una rama horizontal de 5.5 km dentro de un radio de 30 km con foco en el epicentro supondrá que el radio de afectación será de un radio de 17 km.

Artículo 10 - Comunicación y alerta temprana.

a) Alerta temprana a la población: La autoridad de aplicación, en coordinación con los organismos de defensa civil y los municipios y otras entidades administrativas territoriales, debe desarrollar e implementar un sistema de alerta temprana a la población potencialmente afectada por eventos sísmicos inducidos. Ante la detección de un evento sísmico que supere el umbral verde, el operador debe comunicar de forma inmediata la información a la autoridad de aplicación siguiendo el protocolo establecido en el artículo 9 y la regulación pertinente. En caso de eventos que alcancen los umbrales ámbar o rojo, se activará un sistema de alerta temprana a la población potencialmente afectada con el mismo criterio definido en el protocolo. Este sistema puede incluir el uso de mensajes de texto, aplicaciones móviles, sirenas y otros medios de comunicación masiva. La reglamentación subsecuente debe definir los criterios para la activación de las alertas, el contenido de los mensajes y las recomendaciones para la población en cada nivel de alerta.

b) Protocolos de comunicación: La reglamentación de la presente ley establece los protocolos detallados de comunicación que deben seguir los operadores ante la detección de eventos sísmicos que superen el umbral verde. Estos protocolos especifican los canales de comunicación (líneas directas, plataformas digitales), la información que se debe reportar (magnitud, localización, hora de ocurrencia, parámetros de inyección en el momento del evento), los plazos para la comunicación y los responsables de realizarla.

c) Planes de emergencia sísmica: La autoridad de aplicación debe establecer, acorde con los planes de emergencia sísmica provinciales existentes, planes de emergencia y evacuación para la población adaptados a la realidad de la sismicidad inducida. Esto debe ser realizado en coordinación con las autoridades municipales, y otras entidades administrativas territoriales pertinentes y las compañías operadoras, para adaptar correctamente cada plan al contexto local y particular.

d) Contenidos pedagógicos divulgativos: La autoridad de aplicación debe difundir materiales para concientizar acerca del Protocolo de Semáforo Sísmico creado mediante esta ley así como de otros aspectos de la misma que sean de interés general. Para ello debe desarrollar un conjunto de contenidos gráficos y divulgativos que deben resultar pedagógicos y ser de fácil comprensión. También cuenta con la potestad de conminar a los operadores a que sean ellos mismos los desarrolladores de estos contenidos bajo la supervisión de la autoridad

TÍTULO IV: AUTORIDAD DE APLICACIÓN, CONTROL Y SANCIONES

Artículo 11 - Autoridad de Aplicación.

La autoridad máxima de aplicación de la presente ley es la Secretaría de Ambiente de la Provincia del Neuquén. La Secretaría de Ambiente debe establecer una Comisión Provincial para la Prevención de la Sismicidad Inducida (la Comisión) que será el organismo encargado de implementar la ley en todos sus aspectos. La Comisión está compuesta por representantes de las siguientes entidades:

- a) la Secretaría de Ambiente,
- b) las universidades públicas nacionales,
- c) institutos académicos e investigación públicos afines a la materia tales como el CONICET, el INPRES o el Instituto Volponi (entre otros posibles).
- d) Personas jurídicas en representación de la ciudadanía afectada por el fenómeno de la sismicidad inducida y no directamente vinculadas ni al sector industrial ni a las instituciones públicas.

La Comisión debe disponer de inspectores que fiscalicen el seguimiento de los protocolos establecidos en la presente ley por parte de las operadoras.

Artículo 12 - Funciones de la autoridad de aplicación.

La autoridad de aplicación tiene las siguientes funciones:

- a) Realizar las acciones posibles para prevenir la ocurrencia de sismicidad inducida.
- b) Constituir al organismo ejecutivo dependiente de la Secretaría de Ambiente encargado de la aplicación de esta ley, la Comisión Provincial para la Prevención de la Sismicidad Inducida.
- c) Evaluar y aprobar las Evaluaciones de Riesgo Sísmico Previo.
- d) Definir un protocolo de semáforo sísmico de fácil comprensión y aplicación y acorde con los criterios Internacionales
- e) Supervisar y controlar el cumplimiento de las disposiciones de la presente ley y su reglamentación.
- f) Fiscalizar, auditar y acreditar los sistemas de monitoreo sísmico implementados por los operadores.
- g) Analizar los datos de monitoreo sísmico y los registros de las operaciones de fractura hidráulica.
- h) Dictar las medidas preventivas y el programa de implementación dirigidos a minimizar el riesgo de sismicidad inducida.
- i) Dictar las medidas correctivas generales y particulares para la contención de la sismicidad inducida ante su detección.
- j) Aplicar las sanciones previstas en la presente ley en caso de incumplimiento.
- k) Promover la investigación científica y la difusión de información sobre la sismicidad inducida, de modo transparente, accesible y con el uso de información y código abiertos.
- l) Establecer un equipo científico y técnico especializado en sismología y geomecánica acorde con los postulados de esta ley.
- m) Garantizar mecanismos públicos de acceso abierto, ágil y transparente a la información relacionada al fenómeno de la sismicidad inducida.
- n) Establecer los mecanismos necesarios para garantizar la participación ciudadana.
- ñ) Definir un sistema de comunicación y alerta temprana ante la ocurrencia de sismicidad inducida.
- o) Implementar y mantener la plataforma digital abierta de gestión y difusión de datos.

Artículo 13 - Régimen Sancionatorio.

El incumplimiento de las disposiciones de la presente ley y su reglamentación hace a los sujetos obligados pasibles de las sanciones enumeradas en el presente artículo, las que podrán aplicarse en forma individual o acumulativa, atendiendo a la gravedad de la infracción y a los antecedentes del infractor, de acuerdo lo establezca la reglamentación:

- a) Apercibimiento.
- b) Multa, cuyo monto será determinado por la reglamentación, tomando en consideración el beneficio económico obtenido por el infractor y el daño potencial o real causado.
- c) Suspensión temporal o definitiva de las actividades de fractura hidráulica.

- d) Revocación de la licencia o permiso para operar.
- e) Obligación de realizar estudios o implementar medidas de mitigación adicionales.
- f) Responsabilidad por los daños y perjuicios ocasionados a terceros como consecuencia de la sismicidad inducida.

La reglamentación de la presente ley establecerá el procedimiento administrativo para la aplicación de las sanciones, garantizando el derecho de defensa de los presuntos infractores.

TÍTULO V: PRINCIPIOS, MECANISMOS Y FOMENTO DE LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA PARA LA PREVENCIÓN DE LA SISMICIDAD INDUCIDA

Artículo 14 - Principios y mecanismos de participación ciudadana

- a) Principios para la participación ciudadana: Desarrollando el ítem (e) del artículo 3 de la presente ley relativo al principio rector de participación ciudadana, se reconocen los siguientes derechos ciudadanos en el ámbito particular del fenómeno de la sismicidad inducida:
 - i) Se reconoce y garantiza el derecho de la ciudadanía a participar de manera efectiva en los procesos de toma de decisiones relacionados con la mitigación de la sismicidad inducida. Esta participación se fundamenta en los principios de transparencia, acceso a la información, inclusión, rendición de cuentas y debida consideración de las opiniones y propuestas ciudadanas. Bajo el principio de la representatividad, se debe asegurar la participación de una amplia gama de voces, incluyendo a los grupos más vulnerables y a aquellos que puedan verse desproporcionadamente afectados.
 - ii) Las administraciones públicas competentes deben adoptar las medidas necesarias para facilitar y promover la participación activa de las entidades ciudadanas, los individuos afectados y la población en general en todas las fases relevantes de la gestión de la sismicidad inducida, incluyendo la planificación, la evaluación de impacto ambiental y social, la implementación de medidas preventivas y correctivas, y el seguimiento y evaluación de su eficacia.
 - iii) Se debe fomentar la colaboración entre las administraciones públicas, las empresas responsables de actividades potencialmente inductoras de sismicidad y la ciudadanía, a través de la creación de espacios de diálogo y la implementación de mecanismos que permitan la construcción conjunta de soluciones y la mejora continua de las políticas públicas en esta materia.
 - iv) Si bien no todos los mecanismos deben tener un carácter vinculante directo, es fundamental que las administraciones expliquen claramente cómo se han tenido en cuenta las aportaciones ciudadanas en la toma de decisiones.
 - v) Las acciones de participación ciudadana deben ser evaluadas una vez cumplidas con el fin de evaluar la efectividad de los procesos establecidos y realizar ajustes en función de los resultados obtenidos.

Para garantizar la participación efectiva de la ciudadanía en la prevención de la sismicidad inducida, se establecen los siguientes mecanismos a ser desarrollados bajo los criterios establecidos por la autoridad de aplicación, sin perjuicio de otros que puedan desarrollarse reglamentariamente:

- b) Mecanismos de acceso a la Información:

i) Informes públicos. Se deben confeccionar documentos informativos que brinden información y contextualización a la población en general de los aspectos relativos a la sanción de esta ley, de público acceso, de forma clara, oportuna, comprensible y de una extensión y complejidad adecuada al público destinatario.

ii) Plataformas de acceso a la información. La autoridad de aplicación de esta ley constituirá un conjunto de plataformas digitales de código abierto y otros medios accesibles para la consulta de esta información, así como canales de atención para resolver dudas y proporcionar aclaraciones.

c) Mecanismos de consulta pública: Se realizarán consultas públicas previas a la adopción de planes, programas, normativas y proyectos que puedan tener un impacto significativo en la sismicidad inducida. Estas consultas se llevarán a cabo de forma abierta y transparente, utilizando medios que garanticen la participación de los diversos actores interesados.

Los resultados de las consultas públicas serán debidamente considerados en la toma de decisiones y se informará públicamente sobre cómo se han integrado las aportaciones ciudadanas.

i) Audiencias públicas: Se deben convocar audiencias públicas para debatir sobre cuestiones específicas relacionadas con la sismicidad inducida, permitiendo la presentación de opiniones y propuestas por parte de entidades ciudadanas, individuos afectados y expertos. Estas audiencias serán convocadas con la suficiente antelación y se garantizará la publicidad de su celebración y de las conclusiones alcanzadas, mediante la utilización de todos los canales adecuados para ello: boletines oficiales, pasquines institucionales o corporativos, medios de comunicación y otros canales posibles.

ii) Mesas de diálogo y foros de participación: Ante la posible ocurrencia de sismicidad inducida se deben crear de mesas de diálogo y foros de participación permanentes o temporales, integrados por representantes de las administraciones públicas, las empresas, las entidades ciudadanas (incluyendo plataformas de afectados y organizaciones de la sociedad civil con interés en la materia), y expertos independientes.

Estos espacios deben servir para el intercambio de información, el debate de propuestas, la identificación de problemas y la búsqueda de soluciones conjuntas. Se deben establecer los reglamentos de funcionamiento que garanticen la representatividad y la efectividad de estos mecanismos.

d) Mecanismos de iniciativa ciudadana: Se debe facilitar a la ciudadanía presentar iniciativas y propuestas formales relacionadas con la mitigación de la sismicidad inducida para su consideración por las administraciones competentes.

e) Mecanismos de participación en el seguimiento y evaluación: Se debe garantizar la participación de representantes de la ciudadanía en los procesos de seguimiento y evaluación de la eficacia de las medidas de mitigación implementadas, así como en la revisión de planes y programas. Esto puede incluir la participación en comités de seguimiento o la presentación de informes y observaciones por parte de las entidades ciudadanas.

f) Mecanismos de denuncia y prevención: Se deben habilitar canales accesibles y seguros para que la ciudadanía pueda comunicar la percepción de riesgos, incidentes o posibles incumplimientos relacionados con actividades que puedan inducir sismicidad. Se deben establecer protocolos claros para la recepción, análisis y respuesta a estas comunicaciones, garantizando la protección de los informantes.

g) Fomento de la formación:

i) la autoridad competente debe desarrollar programas de información, sensibilización formación y capacitación dirigidos a la ciudadanía sobre la sismicidad inducida, sus causas, sus posibles efectos y los mecanismos de participación disponibles.

ii) se debe facilitar el acceso a recursos económicos y técnicos para apoyar la participación activa de las entidades ciudadanas en los procesos de toma de decisiones, especialmente aquellas que representan a colectivos vulnerables o afectados directamente.

II) se deben establecer mecanismos de colaboración con universidades, centros de investigación y organizaciones de la sociedad civil para el desarrollo de herramientas y metodologías innovadoras que fomenten una participación ciudadana informada y efectiva.

TÍTULO VI: DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS Y TRANSITORIAS

Artículo 15 - Reglamentación.

El Poder Ejecutivo Provincial reglamentará la presente ley dentro de los noventa (90) días de su promulgación, estableciendo los mecanismos operativos, los requisitos técnicos detallados y los montos de las sanciones, sin alterar lo dispuesto en la presente norma.

Artículo 16 - Financiamiento.

Los gastos que demande la implementación de la presente ley serán cubiertos con las partidas presupuestarias correspondientes, así como con lo obtenido de la aplicación de las sanciones previstas en la presente ley.

Artículo 17 - Revisión y Actualización.

La presente ley y su reglamentación serán revisadas y actualizadas periódicamente, nunca en un plazo superior a cinco (5) años, en función de los avances científicos y tecnológicos, la experiencia adquirida en su aplicación y las recomendaciones de la autoridad de aplicación así como de otras instituciones públicas relevantes.

Artículo 18 - Vigencia.

La presente ley entrará en vigencia a los ocho (8) días de su publicación en el Boletín Oficial de la Provincia del Neuquén.

Artículo 19 -

Comuníquese al Poder Ejecutivo Provincial.

ANEXO 1

PROTOCOLO DE SEMÁFORO SÍSMICO DE LA PROVINCIA DE NEUQUÉN (categorías por magnitud)			
Se aplican las acciones de cada nivel de alerta junto a las complementarias de los niveles precedentes. En caso de superposición, son de aplicación las más restrictivas y/o estrictas.			
Aplica para pozos en proceso de fracturación para los que cualquier elemento de su estructura se ubica dentro del radio estipulado.			
RIESGO	M _L	Acción	Avisos o alertas
ROJO (15 km)	≥3.5	- Interrumpir operaciones. - Las operaciones no deben reiniciarse hasta que la autoridad de aplicación no lo habilite tras estudio pormenorizado de la situación.	Anuncio público de alerta.
ÁMBAR (10 km)	3.5	2.5-3.5 M _L : - Monitoreo permanente de tendencias en el subsuelo y operaciones por personal especialmente cualificado y técnicos/inspectores provinciales. - Bajo la supervisión de técnicos provinciales, modificar operaciones. Pausas: 1ª 4 horas, 2ª 8 horas, 3ª 48 horas. O alternativas equivalentes en volumen o presión de bombeo hasta descender de nivel de riesgo. - Si la sismicidad vuelve a estar por encima de 2.5 tras la tercera pausa con o sin reinicio de operaciones, pasar a protocolo rojo.	Responsables de máximo nivel provinciales, responsables de protección civil y bomberos de toda la provincia y delegados de trabajadores del sector.
AMARILLO (5 km)	2.5	1.5<>2.5 M _L : - Monitoreo periódico (múltiples veces por día) de tendencias en el subsuelo por personal especialmente cualificado y técnicos/inspectores provinciales. - Monitoreo en pozos de control cercanos. - Comunicación permanente de datos de operación y sismicidad por redes abiertas en tiempo real. - Toma de acciones adecuadas para devolver la sismicidad al nivel verde.	A los responsables de la operadora y a los técnicos provinciales, áreas de: minería e hidrocarburos, ambiente, y recursos hídricos.
VERDE	1.5	<1.5 M _L : - Monitoreo permanente de tendencias en el subsuelo y operaciones de modo automatizado por operarios de la compañía.	Ninguna alerta.
Se definen áreas de exclusión de actividad en zonas sensibles (críticas) constituidas por un radio de 15 km de cualquier tramo del pozo con fracturación hidráulica.			

El Protocolo de Semáforo Sísmico debe ir acompañado de un documento gráfico de difusión de características similares al de esta tabla, que presente de modo claro y sencillo las actuaciones requeridas según cada umbral de riesgo.

FUNDAMENTOS:

Sr. Presidente:

La presente ley se fundamenta en la creciente preocupación a nivel mundial y regional por el fenómeno de la sismicidad inducida asociada a la práctica de la fractura hidráulica para la extracción de hidrocarburos no convencionales. Si bien esta actividad representa una oportunidad de desarrollo económico para la Provincia del Neuquén, es fundamental abordar sus riesgos potenciales, especialmente en lo que respecta a la generación de eventos sísmicos que puedan afectar a la población, la infraestructura y el ambiente.

La ley propuesta proporciona un marco regulatorio y un protocolo de semáforo sísmico que constituyen una base sólida para prevenir los riesgos asociados al fenómeno de la sismicidad inducida. Para el desarrollo de esta legislación se han tomado en consideración criterios y umbrales de actuación típicos de contextos semejantes en otras regiones del mundo, e incluso se han usado como fuente de referencia documentos internos de las operadoras presentes en la provincia de Neuquén. La legislación desarrollada representa un equilibrio entre la necesidad de proteger a la población y el ambiente, y la realidad de la actividad hidrocarburífera en la provincia.

La presente ley busca establecer un marco normativo robusto y preventivo, basado en los principios de precaución, prevención, responsabilidad, transparencia y mejora continua. Se exige la realización de evaluaciones de riesgo sísmico previas, la implementación de sistemas de monitoreo sísmico continuo, la adopción de mejores prácticas operacionales y el cumplimiento de un protocolo de semáforo sísmico con umbrales y criterios de actuación claros y unívocos.

La creación de una autoridad ejecutiva de aplicación con facultades de control y sanción (Comisión Provincial para la Prevención de la Sismicidad Inducida), dependiente de la Secretaría de Ambiente, así como la promoción de la investigación científica y la participación de la comunidad a través del acceso a la información, son elementos clave para garantizar la efectiva implementación de la presente ley y la mitigación de los riesgos asociados a la sismicidad inducida.

En este sentido, la presente ley se presenta como una herramienta fundamental para asegurar un desarrollo sostenible de la actividad hidrocarburífera en la Provincia del Neuquén, protegiendo los intereses de sus habitantes y el patrimonio natural.

El [Observatorio de Sismicidad Inducida](#) (OSI), la entidad que ha desarrollado esta propuesta de ley¹, es un proyecto independiente de investigación científica que desde 2019 ha

¹ El OSI es una organización independiente, neutral y sin fines de lucro que no representa a corporaciones, naciones, instituciones públicas, partidos políticos, grupos de interés o individuos específicos. No es una institución que brinde asesoramiento legal o de inversión. Este trabajo no tiene como objetivo promover corporaciones o sectores industriales específicos, ni inducir la inversión en ellos. Ningún contenido de este informe puede utilizarse para inducir inversiones, promover corporaciones o realizar actividades privadas con fines de lucro. Todo el contenido de este informe se basa en información disponible al momento de la publicación y ha sido verificada utilizando fuentes confiables; sin embargo, no garantizamos la precisión, integridad o actualidad de la información. El Observatorio de Sismicidad Inducida no asume responsabilidad legal por ningún daño directo o indirecto que resulte del uso de este informe, ni es de hecho directa o indirectamente responsable de ellos, ya que, en cualquier caso, el informe ha sido realizado con la voluntad de evitar daños potenciales haciendo un llamado a quienes sí cuentan con las responsabilidades al respecto.

No corresponde a este documento elaborar los análisis específicos, ni indicar los valores concretos de las variables consideradas, ni siquiera indicar todas las variables posibles afectando al fenómeno

investigado y monitoreado la actividad sísmica en Patagonia centrando su atención en el fenómeno de la sismicidad inducida por la actividad humana, especialmente, aunque no exclusivamente, en el área de Vaca Muerta y como consecuencia del fracking. A lo largo de estos años ha producido artículos académicos y comunicaciones públicas en prensa y redes sociales, realizando también investigación de campo y mantenido diálogo directo con los actores implicados y afectados por el fenómeno: habitantes de la región, trabajadores de la industria, representantes institucionales y otros. El texto que el OSI presenta a continuación a modo de fundamentos de la ley propuesta – así como la propia ley – es una consecuencia natural, necesaria e inevitable del trabajo acumulado y de la realidad actual de la Cuenca Neuquina en cuanto a la creciente progresión de eventos sísmicos inducidos.

El texto ha sido redactado desde una perspectiva verdaderamente interdisciplinar –conectando conceptos interdisciplinarios y no como una sucesión de particularidades de diversas disciplinas– y dirigido a un público general que no cuenta con el conocimiento técnico específico de la materia, sin que por ello pierda rigor en la argumentación. Se espera de este modo que resulte más claro y contribuya a facilitar la comprensión de la ley propuesta y el semáforo sísmico que la acompaña. Con el fin de esclarecer las argumentaciones, se complementa el texto con breves ejemplos de casos reales que se presentan en recuadros de texto independientes.

La propuesta de ley –dirigida a la Cuenca Neuquina pero que postula algunos criterios generales extensibles a otras cuencas hidrocarburíferas convencionales y no convencionales del país y a otros sectores industriales como la minería– es un ejercicio independiente motivado desde la sociedad civil y con un enfoque académico, no es un documento institucional, y quiere ser un llamado para que la administración pública implemente un plan de acción y un marco regulatorio ante la aparición del fenómeno conocido como *sismicidad inducida*. En el contexto que nos incumbe, este fenómeno consiste en la ocurrencia de eventos sísmicos con causas relacionadas a la extracción de petróleo y gas, y que se ha extendido especialmente en la región de la Cuenca Hidrocarburífera Neuquina, llegando a generar cerca de medio millar de sismos registrados de diversa magnitud en la provincia de Neuquén entre 2018 y 2025. La propuesta de ley se concibe como un punto de partida y una contribución que puedan facilitar el trabajo de la administración a la hora de definir un marco de acción que le permita implementar el conjunto de medidas necesarias para prevenir y minimizar el impacto de este indeseado y nocivo fenómeno para la sociedad, el ambiente y la industria.

de estudio. Este documento es una propuesta analítica no formal ni oficial. A modo de ejemplo o descriptivo se realizan propuestas concretas, pero deben ser sólo consideradas como asideros analíticos sobre los que una verdadera propuesta oficial podría sostenerse. Este documento constituye una propuesta y recomendación tentativa y genérica para que las partes verdaderamente responsables tomen las acciones que consideren oportunas, llegado el caso, aprovechando los argumentos aquí expuestos.

Este trabajo elaborado de modo independiente y sin recursos particulares quiere ser un primer paso para rellenar un vacío legal existente. Cualquier imprecisión, confusión o error presente en este documento debe ser interpretado como una acción involuntaria que sólo corresponde enmendar a los organismos públicos responsables de normatizar un aspecto particular de una actividad industrial de alto riesgo, la fractura hidráulica y la consecuente sismicidad inducida, que no ha sido correctamente atendida.

¿Qué es la sismicidad inducida?

El concepto de [sismicidad inducida](#) se refiere a los terremotos o secuencias de estos (enjambres, *swarm* en inglés) que son causados o desencadenados por actividades humanas en lugar de ocurrir estrictamente por procesos tectónicos naturales. Las actividades industriales de los sectores extractivo hidrocarburífero y minero, y el llenado de grandes embalses representan el 85% de las causas de eventos sísmicos inducidos o desencadenados por la acción humana a nivel global según [los registros más precisos disponibles](#). Entre estos, la técnica de fractura hidráulica o fracking representa por sí sola el 32%, un tercio del total de la sismicidad inducida registrada, y por lo tanto, conocida. Más de una decena de otras actividades humanas, tales como los aprovechamientos geotérmicos, la inyección o extracción de fluidos en el subsuelo no relacionada a la industria del petróleo y el gas, grandes explosiones nucleares o químicas suman, entre otras, el escaso 15% restante de causas conocidas de sismicidad inducida.

Estos eventos sísmicos son generalmente de magnitud pequeña a moderada, pero en algunos casos pueden llegar a ser significativos por encima de magnitud 4. Sin embargo, esta afirmación, de uso muy común, debe ser tomada con cautela porque tomada de modo aislado, minimiza en el momento del análisis algunos elementos importantes que se exponen a continuación:

- 1) La potencia o fuerza de los sismos se mide [por la energía que liberan](#), de modo similar a cómo podría medirse la potencia de una explosión. Las unidades habituales para hacer esta medición son unidades de magnitud, y aunque se utiliza una u otra escala de magnitud de entre las múltiples posibles en función del marco de estudio concreto (Richter o local, de momento, ondas superficiales, ondas de cuerpo), pueden considerarse equivalentes entre ellas en una primera aproximación y de modo simplificado fuera del marco académico. Las escalas de magnitud, siempre dentro de esta simplificación, varían de 0 a 9, siendo 0 la magnitud más baja y 9 la mayor. Según [algunos autores](#), el comportamiento de la progresión en magnitud de los eventos sísmicos, conocido como [ley de Gutenberg-Richter](#), es semejante en los casos de los sismos inducidos y los naturales. Es decir, cada cierta cantidad de sismos de una magnitud es previsible la ocurrencia de un sismo de magnitud mayor. Y esta progresión mantiene una proporción aproximada de [10 a 1](#). Esto significa que cada 10 sismos de magnitud 1 es previsible contar con uno de magnitud 2, y así progresivamente. De este modo, se requieren cien millones de sismos de magnitud 1 para esperar contar con uno de magnitud 9. Considerando que diariamente ocurren cientos o miles de sismos de diversa magnitud a escala global es coherente con la ley Gutenberg-Richter contar con algunos sismos de magnitud importante (6, 7) al año, y algunos muy serios (8, 9) por lustro o década en el planeta. Pero por la misma razón y dado que apenas identificamos algunos miles de sismos inducidos en la historia de la humanidad (todos ellos a partir del siglo XX y principalmente concentrados en décadas recientes), no es sorprendente que el número registrado de éstos a escala global y de magnitud mayor a 5 supere tan solo escasamente la centena. Sin embargo esto no impide suponer que puedan alcanzar magnitudes mayores a medida que el fenómeno de la sismicidad inducida se siga extendiendo

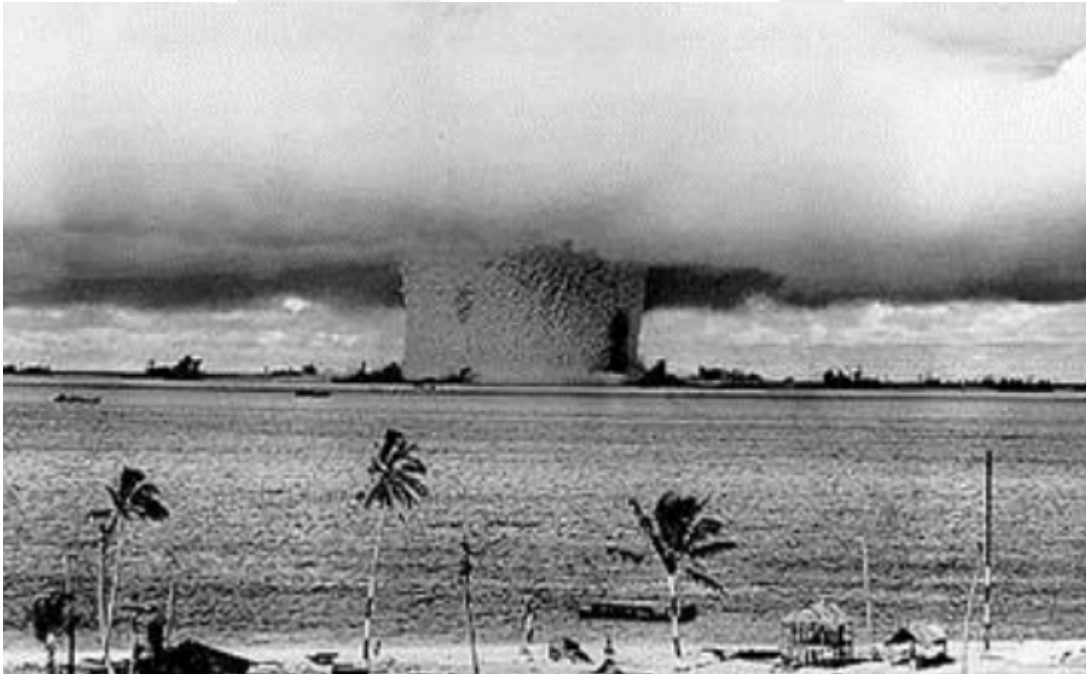
como parece estar haciéndolo de la mano de nuevas y más intensivas prácticas industriales.

- 2) Además, los sismos inducidos ocurren con profundidades cercanas a la superficie, lo que hace que la relación entre su magnitud y el daño que causan en su región cercana –su *intensidad*, se desarrolla este concepto a continuación y más adelante– sea mayor que el promedio de los naturales de igual magnitud, típicamente más profundos. Continuando con la analogía de la explosión, considerar la profundidad de origen de un sismo es equivalente a comparar el efecto que pueda tener una detonación cerca o lejos de un observador. Resulta evidente que más allá de la magnitud de la explosión, la cercanía a la misma determinará la gravedad de los daños: no es lo mismo que la explosión se produzca a 10 km del observador o que lo haga a 10 metros.

Descripción de caso

Según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica ([INPRES](#), cita textual): *A modo de comparación, la energía que los físicos nucleares calcularon que se liberó en la primera explosión atómica subacuática de prueba llevada a cabo en el atolón de Bikini en el año 1946, fue de aproximadamente 1019 ergios (Bolt, 1993); equivalente a una magnitud de 4,8. La misma produjo una columna ascendente de 10 millones de toneladas de agua, de 600 m de ancho en su base y 1.500 m de altura.*

Es apropiado recordar que en Neuquén ya son diez los sismos de magnitudes entre 4 y 5 M que se pueden asociar [con toda probabilidad](#) a la actividad del fracking.



Primera explosión nuclear submarina (Bikini 24-07-1946)

Notas de vocabulario

En este apartado queremos introducir unas breves reflexiones terminológicas con el fin de enriquecer la interpretación del texto. Es necesario recordar que **este texto no constituye un manual técnico académico**, si no una descripción de los fundamentos que acompaña a la propuesta de ley surgida de la sociedad civil frente a un grave impacto ambiental de la industria, por lo que sin perder el rigor y con el fin de hacer más claras las explicaciones para el público general, el uso del lenguaje puede resultar menos preciso que el habitual en un marco estrictamente técnico.

Un primer matiz importante del vocabulario lo encontramos en el uso de los términos sismo y terremoto. En la lengua castellana, ambas palabras son, indistintamente, sinónimos; mientras que *temblor*, se refiere a un sismo de escasa intensidad. Es cierto sin embargo, que en algunas regiones y según el uso popular, se identifica a la palabra terremoto como al sismo de mayor intensidad. Por el contrario, los microsismos, son terremotos de pequeña magnitud, afectando áreas pequeñas y de escasa duración, y por lo general se identifican con aquellos terremotos imperceptibles para las personas. Sin lugar a dudas, no es este último el caso que analiza en este trabajo.

Otro elemento crucial es la distinción entre magnitud e intensidad sísmicas. La magnitud de un sismo es una medida de la fuerza o energía del mismo (con alguna de las escalas mencionadas anteriormente), mientras que la intensidad (medida típicamente con la escala de Mercalli) es una medida del impacto de este sobre la superficie terrestre. Una analogía sencilla que ya se usó en el apartado anterior es la de equiparar un sismo a una explosión. Una misma explosión no generará las mismas consecuencias si ocurre cercana a un lugar de afectación o lejana del mismo. Su poder destructivo sobre las construcciones, los movimientos de suelo que genere, la caída de objetos, etc. tendrán características diferentes. Por eso, dos sismos de igual magnitud pueden tener intensidades muy diferentes (principalmente, aunque no solo, en dependencia de la profundidad de su hipocentro y la cercanía a centros poblados e infraestructuras) y resultaría en un error grave de procedimiento restringir el análisis del impacto de un sismo a la estricta observación de su magnitud.

En lo que refiere a sismicidad inducida y en un grado de detalle mayor, se distingue entre sismos inducidos (*induced* en inglés) y desencadenados (*triggered*). Los primeros son aquellos que son causados enteramente por la actividad humana al modificar las condiciones ambientales y de la tectónica local, mientras que los segundos son aquellos que podrían haber ocurrido naturalmente, pero cuya ocurrencia se ve anticipada y potenciada debido a la actividad humana que favorece las condiciones para su manifestación dentro de un marco tectónico alterado. Es decir, estos últimos, los desencadenados, podrían haber ocurrido de forma natural, pero en un marco cronológico geológico de miles a millones de años, y no en el corto plazo como sucede con la aparición de la industria. Además, al combinar estos últimos los efectos de la sismicidad natural y la artificial, su magnitud puede ser mayor respecto a la de cada una de esas causas por separado. Explicado de modo figurativo, la actividad humana ejerce de dedo en el gatillo en la explosión de un arma, siendo justamente esta la palabra usada en inglés en el mundo académico para describir el fenómeno, *triggered* (gatillado). Por eso, si bien hablamos de sismicidad inducida de modo genérico para referirnos tanto a sismos inducidos como desencadenados, debemos recordar el matiz entre ambos, prestando especial atención al

hecho de que los sismos desencadenados son potencialmente más dañinos que los inducidos.

Por último, en la literatura que aborda el impacto ambiental de la industria, como por ejemplo en la referida a la sismicidad inducida, es común encontrar una distinción en el uso de las palabras de [peligro y riesgo](#). En estos textos se entiende el peligro como a una situación o acto con un potencial de producir un daño. Mientras que el riesgo se entiende como una medida de la magnitud potencial de los daños frente a una situación peligrosa. Es decir, el riesgo se mide asumiendo una determinada vulnerabilidad frente a cada tipo de peligro. A modo de ejemplo, la ocurrencia de terremotos genera situaciones de peligro, pero el riesgo generado será mayor o menor en función de su proximidad e impacto sobre las personas. De este modo, un sismo tendrá un impacto mucho mayor, generando mucho más riesgo, si ocurre inmediatamente bajo una gran refinería cercana a un núcleo poblacional, que si ocurre en medio de una extensa área deshabitada y sin infraestructuras. El protocolo debe minimizar la aparición del peligro y evitar la ocurrencia del riesgo.

¿Qué casos de sismicidad inducida se conocen en el mundo?

Sólo tenemos [noción](#) de cinco sismos potencialmente inducidos ocurridos en la primera mitad del siglo XX, asociados a operaciones de minería o extracción de hidrocarburos. A partir de la década de los sesenta empieza a incrementar el número de eventos registrados, pero lo cierto es que casi el 95% de eventos registrados a escala global se da a partir de la década del 2010.

Con la expansión acelerada de la práctica de la fracturación hidráulica en la industria de extracción de petróleo y gas se empieza a registrar un incremento notorio en la ocurrencia de sismicidad inducida. La preocupación social inicial, motiva a continuación el interés científico por este fenómeno, para dar paso posteriormente y en algunas ocasiones a la actuación de las autoridades y la aparición de normativas preventivas. Las primeras descripciones fehacientes de sismicidad inducida relacionada con el fracking se realizan para la región central y este de los Estados Unidos de América a partir de la segunda década del dos mil y son descritas en el trabajo de [Weingarten](#) y otros. El primer caso destacado se observa en 2011 en la localidad de Prague en [Oklahoma](#), y a partir de entonces otros importantes casos en Colorado y Texas todos ellos con magnitudes considerables variando de 4.7 a 5.6. Estos casos no se asocian tanto a la práctica del fracking por sí misma, que en aquél entonces era menos intensiva que la de hoy en día, sino a la subsiguiente inyección subterránea de los grandes volúmenes de aguas de desecho que generaba esta actividad (principalmente del producto llamado “agua de formación”). Apenas un año después del trabajo de Weingarten, el estudio de [Atkinson](#) y otros describe, ahora sí directamente asociada a la estimulación hidráulica, la ocurrencia de terremotos en Canadá, en la Cuenca Sedimentaria Occidental. Sin que sean estos los únicos o primeros ejemplos académicos al respecto, sí que son quizás los más relevantes y considerados fundacionales de esta nueva etapa de estudio de la sismicidad inducida. Antes incluso de la existencia de estos estudios, el gobierno del [Reino Unido](#) ya impuso [restricciones](#) a la industria del fracking ante la ocurrencia de sismos en 2011 cuando los vecinos de la localidad de Lancashire sintieron temblores en sus casas derivados de la inyección en el pozo Preese Hall. Desde entonces el Reino Unido ha destacado por ser uno

de los países más restrictivos respecto a esta actividad por razones de sus consecuencias sobre la sismicidad. Otros casos relevantes se han descrito también en Sichuan en China, donde un sismo desencadenado por el fracking alcanzó [5.7 grados de magnitud](#) en Junio de 2019, causando 13 muertes entre otros muchos daños.

¿Qué casos de sismicidad inducida se conocen en Argentina?

Existen cuatro relevantes trabajos científicos que apuntan a la ocurrencia de SI en Argentina, y los cuatro ponen el foco en la Cuenca Neuquina y el fracking, si bien uno de ellos se traslada también a la Cuenca del Golfo de San Jorge y la industria convencional del petróleo y el gas.

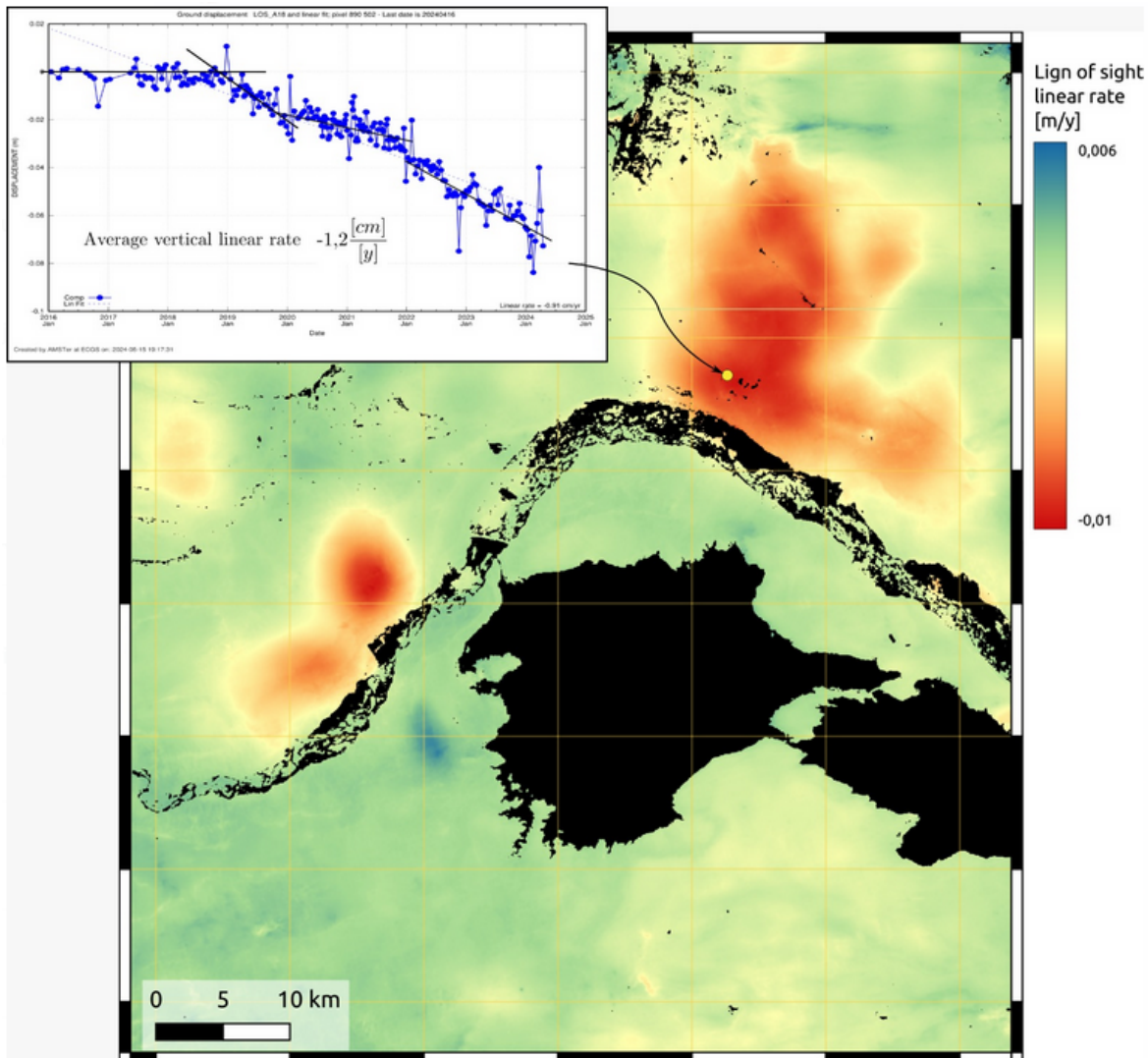
[Correa-Otto](#), [Vásquez](#), [Tamburini-Beliveau](#) y [Schultz](#), junto a sus colaboradores, han sido los autores que han asociado de manera fehaciente el incremento notorio de la actividad sísmica en la provincia de Neuquén con el fracking. Atendiendo a estos trabajos, entre decenas y cientos de eventos sísmicos ocurridos en Neuquén pueden guardar relación con esta industria, destacando entre ellos el evento del 7 de marzo de 2019 ocurrido en las cercanías de la población de Sauzal Bonito y con una magnitud 5 M. Este evento, y otro de igual magnitud en la cuenca hidrocarburífera convencional del Golfo de San Jorge, ocurrido el 17 de octubre del mismo año, representan dos casos de sismicidad inducida en el país que se encuentran entre los de mayor orden de magnitud a escala global. Sólo existe reporte de un sismo inducido por fracking mayor al de Sauzal Bonito 2019, y es el de Sichuan en China. En Norteamérica, a pesar de la extensa práctica de esta técnica desde 2005, los mayores sismos inducidos por fracking han sido de magnitud 4.6 ML, en British Columbia y Alberta en [Canadá](#). Los autores de este documento, integrantes del OSI, consideran que atendiendo a los elementos descritos en los trabajos de los autores recién mencionados, a la experiencia en el campo, y a los registros sísmicos del INPRES y otras fuentes, en la Cuenca Neuquina el número de sismos inducidos desde la llegada del fracking hasta la actualidad (particularmente desde el año 2019) supera a inicios de 2025 al medio millar.

Con estos antecedentes y ante la prevista expansión del fracking no sólo ya en el sector neuquino de la Cuenca Neuquina y su formación principal Vaca Muerta, si no también en las provincias colindantes de Río Negro y Mendoza, o incluso en otras cuencas, como en el caso de la Cuenca Austral en Santa Cruz y la formación Palermo Aike, resulta imperativo considerar cuáles pueden ser los futuros impactos de la sismicidad inducida en el país y necesariamente actuar para prevenir y reducir sus daños.

Descripción de caso

Mediante observación con radares satelitales, aplicando la técnica conocida como DInSAR, es posible observar el impacto y la alteración en la superficie del suelo a medida que la industria hidrocarburífera se desarrolla en la Cuenca Neuquina, produciendo hundimiento o levantamiento del suelo en relación a la extracción e inyección de fluidos en el subsuelo. La siguiente imagen muestra cómo importantes porciones del suelo se deforman con magnitudes de varios centímetros de desplazamiento en aproximadamente

cinco años (consideremos la analogía de que el subsuelo se infla o desinfla por la actividad industrial). Estas deformaciones afectan a la integridad estructural de las instalaciones de la región (viviendas, pozos, ductos, rutas, puentes, presas, etc.).



Mapa de deformación del suelo elaborado en colaboración con el investigador [Dominique Derauw](#), generado con la técnica DInSAR. Las manchas coloradas indican procesos de hundimiento del suelo por actividad extractiva. La mancha azul de menor tamaño corresponde a la [deformación del suelo](#), levantamiento, por causa del sismo del 7 de marzo de 2019. Hay que contemplar la posibilidad de que procesos de levantamiento asociados a la inyección de fluidos por fracking queden enmascarados en el término medio por los posteriores procesos de hundimiento por extracción.

¿Qué consecuencias tiene la sismicidad inducida y cómo afecta a la población?

Si bien los sismos inducidos son como cualquier otro terremoto, y por ello cabe esperar que sus consecuencias sean asimilables a los naturales, hay [algunos factores importantes](#) que condicionan el análisis de sus potenciales consecuencias, en particular aquellos originados por el fracking, y que básicamente tienen que ver con la profundidad de los mismos y su

ocurrencia en cuencas sedimentarias donde no es habitual la actividad sísmica. Estos factores conllevan que:

- 1) Las poblaciones no están acostumbradas a convivir con la sismicidad. Esto hace que:
 - a) la población viva con mayor ansiedad estos eventos que en el caso contrario. Esto incrementa el malestar psicológico de la población, llegando a casos extremos donde el temor desencadenado puede generar pánico social o daños graves a las personas, en particular a aquellas con problemas cardíacos.
 - b) la población no se encuentre preparada para reaccionar ante eventos sísmicos, incrementando el riesgo de daño por actuar de modo inapropiado.
- 2) Las instalaciones no están preparadas para hacer frente a la actividad sísmica:
 - a) Dado que la sismicidad era un fenómeno inexistente en estas regiones, las infraestructuras no son antisísmicas. Esto incrementa el riesgo de daños materiales y sobre las personas. Situación que se agrava en el caso de que las poblaciones cuenten con recursos escasos y/o las instalaciones no se encuentren bien mantenidas, generando estructuras más débiles y menos preparadas para el impacto sísmico.
 - b) Existe además un efecto acumulativo, por el cual el impacto de sucesivos sismos de baja intensidad puede terminar generando daños considerables en las estructuras.
 - c) Esto es válido para cualquier instalación civil. Pero hay que considerar que precisamente se está desarrollando un crecimiento exponencial de instalaciones críticas en estas regiones tales como depósitos y canalizaciones de hidrocarburos altamente inflamables o tóxicos. La ausencia de regulación antisísmica para estas infraestructuras las convierte en susceptibles de sufrir fallos catastróficos derivados de la inusual actividad tectónica. También se extiende la red de rutas y otras infraestructuras complementarias que se ven igualmente expuestas al fenómeno.
 - d) Por último, la preexistencia de infraestructuras críticas tales como embalses, depósitos de materiales peligrosos, hospitales u otras, agrava los potenciales daños por la falta de preparación contra la ocurrencia de sismos.
- 3) Múltiples procesos geodinámicos no estrictamente tectónicos se reactivan incrementando los fenómenos conocidos como “geo-riesgos”. Entre ellos destacan la potencial aparición de [dolinas](#) (serio problema en otras cuencas del mundo con la Pérmica en EUA), procesos de hundimiento o levantamiento del suelo (como se observó en la descripción de caso anterior) y, de particular trascendencia en la región de análisis, los procesos de remoción en masa (siguiente ejemplo). Estos últimos, en su forma típica de la estepa patagónica semiárida, se asocian a frentes de barda expuestos a los procesos erosivos naturales que provocan desprendimientos rocosos, pero que en este caso ven incrementada su actividad por la acción de la sismicidad inducida disparando la probabilidad de daños potenciales.

Descripción de caso

SECCIONES

LA NACION

INICIAR SESIÓN

SUSCRIBITE

LA NACION > Seguridad

Neuquén: un hombre murió aplastado en el derrumbe de un acantilado en el lago Mari Menuco

Según Defensa Civil del lugar, el joven de 32 años se encontraba en un espacio no habilitado para el público

10 de febrero de 2022 · 14:42 · 2 minutos de lectura

LA NACION



El joven que murió tenía 32 años y era profesor de educación física en la ciudad de Neuquén

PUBLICIDAD

AD

UNITED24 MEDIA

An Environmental and

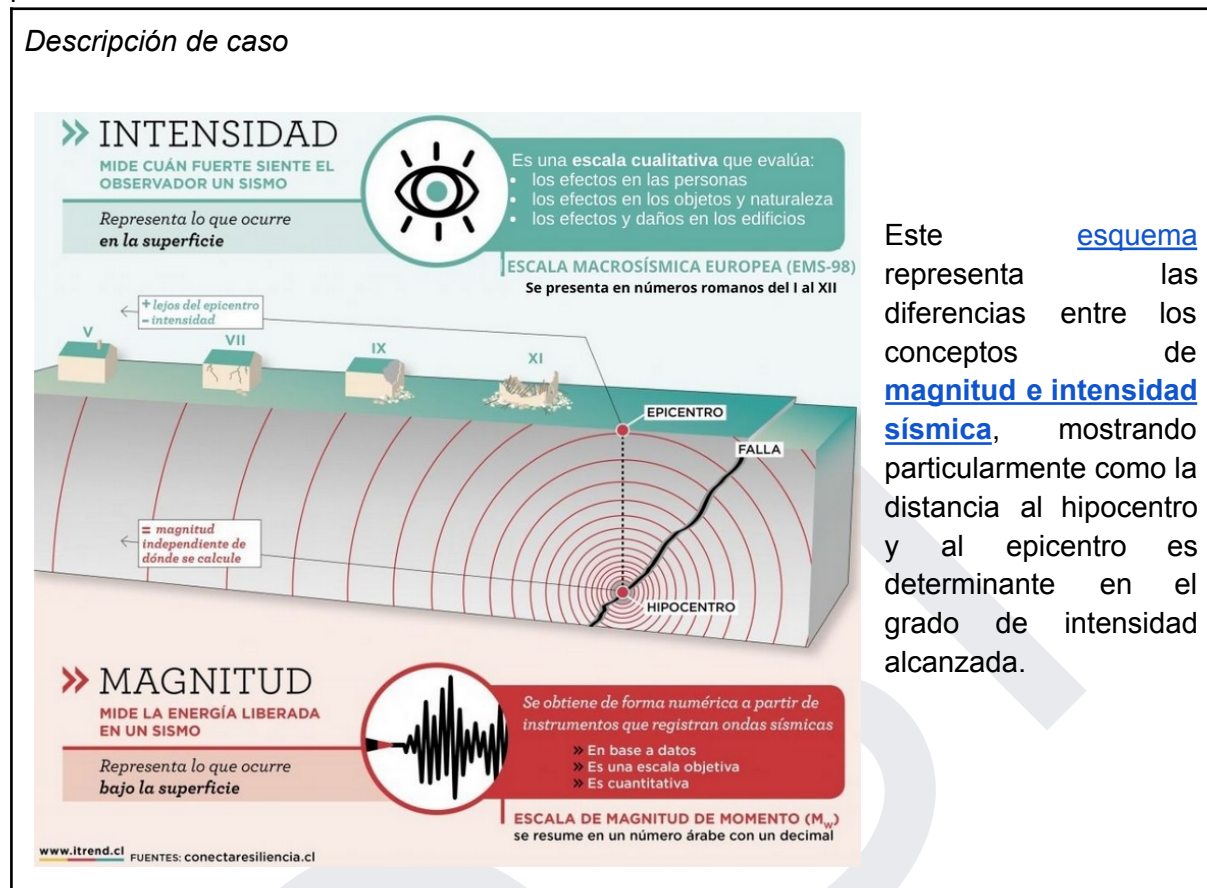
Los procesos de caída de frentes de bardas se dan en la zona hace miles de años, pero gran número de ellos han acompañado simultáneamente a diversos episodios sísmicos. Al menos cuatro eventos de caídas de rocas de gran tamaño han sido descritos en fechas recientes, causando en conjunto una muerte, heridos y cortes de ruta, y demandando esfuerzos civiles para normalizar el libre desplazamiento de personas y bienes. Se adjunta nota de prensa del diario La Nación con fecha 22 de febrero de 2022.

- 4) Dada la superficialidad de los hipocentros sísmicos de los eventos inducidos (el foco originario del sismo bajo la superficie), su potencial destructivo (su intensidad) es mayor que el de los naturales, si bien afectando a una menor extensión territorial por razón del menor trayecto recorrido por las ondas sísmicas. Como se ha mencionado en el apartado anterior, un sismo es un fenómeno equiparable a una explosión. Por ello es comprensible que el impacto sobre infraestructuras y personas de un evento ocurrido a una profundidad de entre 1 y 5 km, como suelen ser los eventos inducidos, sea mayor que el de un evento ocurrido a decenas o incluso más de cien km de profundidad, como suelen ser los naturales.

Cualquier combinación posible de estas cuatro variables mencionadas da noción del riesgo potencial diferencial de la ocurrencia de sismicidad inducida en regiones no sísmicas frente

a regiones que cuentan con un grado de sismicidad histórica elevado y están preparadas para ello.

Descripción de caso



¿Qué medidas se han tomado en el mundo para contener al fracking y a la sismicidad inducida? Regulaciones.

Más allá de la sismicidad inducida, la práctica industrial del fracking conlleva un alto impacto ambiental, social y económico ya que transforma drásticamente las realidades territoriales en las que se asienta. Los problemas de gestión del agua y de los residuos, junto con las emisiones de diversos tipos de gases y la sismicidad inducida son posiblemente los impactos ambientales negativos más destacados de esta industria.

Este documento se centra en el aspecto de la sismicidad inducida, y no aborda estas [otras cuestiones](#), pero es necesario mencionarlás para comprender el amplio espectro de legislaciones existentes a escala internacional limitando o prohibiendo el fracking por la gravedad de sus impactos.

A continuación se enumeran a grandes rasgos algunos de los casos en que el fracking ha sido limitado en términos generales mediante prohibiciones o moratorias.

Prohibiciones o moratorias genéricas del fracking en el ámbito internacional

- Estados de Estados Unidos de América y Canadá. En EUA: New York, Vermont, Oregón y Maryland cuentan con prohibiciones o moratorias totales. Muchos otros

Estados cuentan con regulaciones parciales. En Canadá la Provincia de Brunswick prohibió el fracking y la de Quebec tiene regulaciones parciales.

- En Europa. Estados con moratorias o prohibiciones generales: Francia, Bulgaria, Dinamarca, Países Bajos, Alemania, República Checa, España, Irlanda, Reino Unido.
- En América Latina: Uruguay prohibió el fracking. En Colombia hubo una moratoria y ahora la prohibición está en debate. En Costa Rica también. En Argentina la provincia de Entre Ríos ha prohibido el fracking, y en Brasil varios estados están debatiendo actualmente la potencial prohibición del fracking y en Paraná y Santa Catarina está prohibido. En México el expresidente López-Obrador asumió anunciando la prohibición del fracking, habiendo terminado el mandato sin hacerla efectiva.
- En Australia el gobierno de Tasmania ha aplicado una moratoria.

Regulaciones en el marco internacional respecto a la sismicidad inducida

En lo referido a la sismicidad inducida y ante su creciente ocurrencia, han surgido diversas regulaciones para contener el fenómeno en distintos lugares del planeta. Casi todas estas regulaciones se despliegan con un mismo esquema propuesto originalmente por [Bommer](#) y otros en 2006, que consiste en la implementación de un protocolo llamado *sistema de semáforo* por su traducción literal del inglés (*traffic light system* o *traffic light protocol*) y que nosotros llamaremos **protocolo de semáforo sísmico**. Estos protocolos tratan de reducir la ocurrencia de los sismos inducidos mediante la contención de la actividad industrial asociada que los desencadena. Para ello pautan un conjunto de acciones a seguir por parte de la industria a medida que se registra sismicidad potencialmente inducida, y estas acciones consisten fundamentalmente en disminuir progresivamente la actividad industrial. Con el fin de que tanto el riesgo asociado a la sismicidad como las acciones a tomar sean identificadas fácilmente, se establecen umbrales por etapas progresivas. Típicamente tres (o cuatro) umbrales de riesgo. Por ello el protocolo se asemeja a un semáforo donde el riesgo sísmico es 1) ausente, 2) moderado o 3) inaceptable, y que conlleva por parte de la industria 1) ausencia de acciones, 2) acciones moderadas o 3) detención de la actividad industrial respectivamente. Por analogía con el semáforo: verde, amarillo y rojo. En el caso de aplicar cuatro umbrales, se añade una categoría ámbar entre el amarillo y el rojo.

Para una comparación más eficaz entre los distintos protocolos consultados (todos de los que se ha tenido constancia), se resumen a continuación en forma de tabla, mostrando las magnitudes sísmicas que definen cada umbral de actuación en los distintos casos². **Es necesario aclarar que la tabla es una simplificación, aproximación y adaptación con fines ilustrativos que aglutina contextos diversos.** Por ejemplo, en el significativo caso de Texas en los EUA no se cuenta con un protocolo de semáforo sísmico, si bien la categorización de riesgo de sismicidad inducida y los protocolos de acción son asimilables a los protocolos de tipo semáforo sísmico, y así se ha reflejado en la tabla. En el caso de Suiza, Islandia, Finlandia y de El Salvador, no se refiere a la industria del fracking, si no a la de aprovechamientos de energía geotérmica, que en este contexto de análisis son

² Cabe considerar que en este caso se observa la magnitud como variable principal, y que por bien que este análisis sea limitado, es válido dadas las características similares del conjunto de sismos (sismos inducidos de escasa profundidad). Este aspecto se desarrolla más adelante.

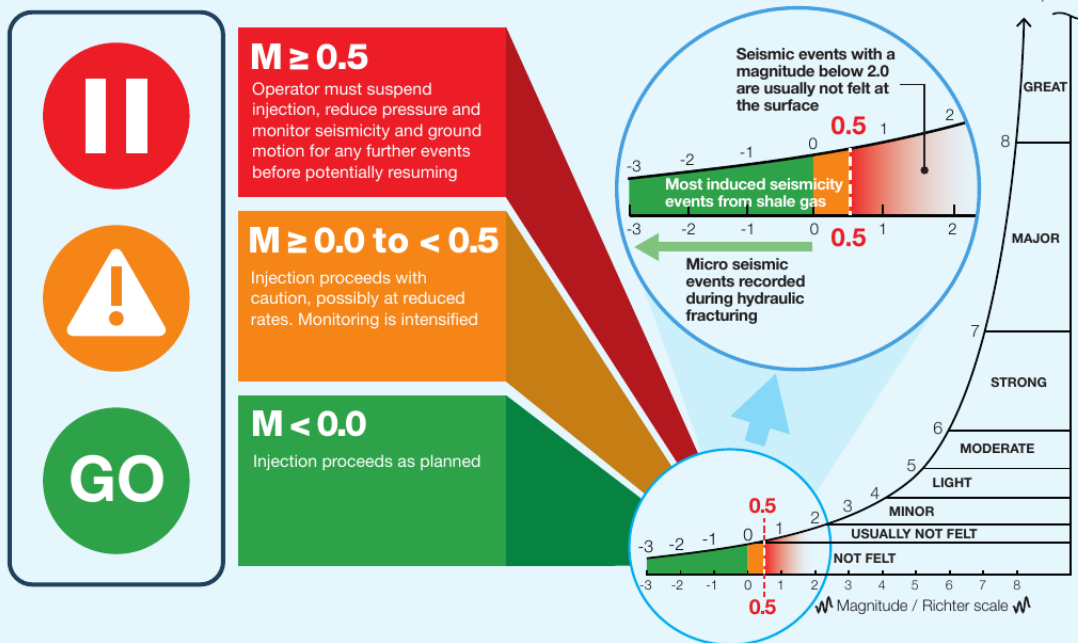
asimilables entre sí. En algunos casos, como en Ohio, Islandia o Suiza se definen cuatro categorías y no tres, por lo que el valor presentado es un promedio de las dos de en medio. En algunos casos hay diversas categorías según región dentro del mismo país o Estado o la información no es plenamente clara o los umbrales no són unívocos. En estos casos se presentan valores generales, aproximados o promediados de los presentes en las normativas consultadas. Además, en cada protocolo, cada categoría de color implica un conjunto de acciones que son particulares de cada realidad y que no es posible expresar en esta tabla, aunque sí que han sido considerados en el momento de elaborar la propuesta concreta de propuesta de ley que se realiza para Neuquén y se ven reflejadas en los apartados oportunos.

País/Estado	Semáforo sísmico. Categorías por magnitud.		
	Verde	Amarillo	Rojo
EUA - New Mexico	<2.5	2.5	>3-3.5
EUA - Texas		2-2.5	>3-3.5
EUA - Oklahoma	<2.5	2.5<3.5	>3.5
EUA - Ohio	?	?	>3
Canadá - Alberta	<2	>2	>3-4
Canadá - British Columbia	<2	>2	>4
Reino Unido	0	0<0.5	>0.5
El Salvador	<2	2<3	>3
Suiza	<2.3	2.3<3	3
Islandia	<1.5	1.5<3	3
Finlandia post	<1.6	1.2<2.5	2.5
Finlandia pre	<1.2	1.2<2.1	2.1
PROMEDIO (aprox.)	1.6	2.2	2.9

Descripción de caso. El semáforo sísmico del Reino Unido



Management – “traffic light system”



Semáforo sísmico aplicado en el Reino Unido por la autoridad correspondiente.

Otras prácticas institucionales y administrativas de gestión de la sismicidad inducida: los criterios de buenas prácticas

Más allá de las regulaciones sobre la industria y las normativas de prevención y control, existen los interesantes casos de la recomendación de criterios de buenas prácticas por parte de grupos de técnicos expertos en la materia hacia la industria y la administración para la contención de la sismicidad inducida. Estos ejemplos, con los que este mismo texto guarda un vínculo importante, los encontramos más comúnmente asociados a los casos de aprovechamientos geotérmicos (análogos en la mayoría de aspectos al caso de análisis de este trabajo) en vez de a la industria de los hidrocarburos, y no es de extrañar que esto sea así ya que la primera se encuentra más habitualmente cerca de importantes núcleos de población, lo que genera mayor alarma social. Estos manuales de buenas prácticas ofrecen criterios muy valiosos a la hora de proyectar políticas de gestión y mitigación de la sismicidad inducida, y es altamente aconsejable recurrir a ellos en tales situaciones.

El [documento](#) desarrollado conjuntamente en 2020 por el Instituto Federal de Tecnología de Zurich y el Servicio Sísmico de Suiza, es un ejemplo muy valioso. Otro relevante ejemplo es el reciente [trabajo](#) publicado en 2024 en la Revista “Reviews of geophysics”. Estos dos casos, constituyen dos referencias obligadas en el contexto que nos atañe.

¿Qué medidas se han tomado en Argentina?

Las administraciones argentinas no han tomado medidas contra la sismicidad inducida. No lo ha hecho el Estado Nacional ni la Provincia de Neuquén, la principal afectada por este fenómeno. A fecha de hoy existe una alta sospecha de que cerca de más de 500 sismos ocurridos en los últimos cinco años dentro de esta provincia sean inducidos, de los cuales 10 son de magnitudes entre 4 y 4.9, y uno de magnitud 5 (cumpliendo a la perfección la ley de Gutenberg-Richter).

Con una proyección de fuerte expansión de la industria del fracking en la Cuenca Neuquina (como está sucediendo desde a finales de 2024) que apenas se encuentra hoy en día poco más allá que tras sus primeros pasos, la perspectiva de la proliferación del fenómeno de la sismicidad inducida resulta inevitable. A inicios de 2019 cada pozo de fracking realizaba de promedio menos de 30 de fracturas, con ramas horizontales inferiores a los 2 km, mientras que a fecha de hoy ambos promedios se han duplicado. Las áreas concesionadas representan menos del 20% de las potenciales de la cuenca, y en términos superficiales la explotación de la cuenca cubre apenas el [5%](#). Con estos indicadores resulta claro que son crecientes las perspectivas de ocurrencia de sismicidad inducida y que esta puede alcanzar progresivamente magnitudes e impactos mayores.

La administración y las operadoras no han atendido la cuestión de la sismicidad inducida de modo estructural y cuando han atendido la cuestión lo han hecho de modo poco efectivo.

Descripción de caso. Posicionamiento público de los entes responsables ante la sismicidad inducida en Argentina o afines a la industria de los hidrocarburos:

- YPF: En 2014 YPF [anunciaba](#) en la prensa regional: “Petróleo y gas no convencional: 0% probabilidad de sismos”.
- El [IAPG](#), instituto referente en Argentina para la [industria](#) del petróleo ha realizado en los últimos años declaraciones como:
 - [decir que] “El fracking genera terremotos” [...] Esta acusación es, directamente, injusta, y parece más bien dirigida a confundir [...]
 - El IAPG [derriba](#) el mito de los sismos derivados del fracking.
- El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) no ha desarrollado ninguna acción específica al respecto. En 2022, tras cuarenta años, actualizó el [mapa](#) de riesgo sísmico del país (si bien no está vigente en términos ingenieriles), pero no incorporó ninguna particularidad específica para la Cuenca Hidrocarburífera Neuquina, a pesar del evidente incremento de eventos sísmicos ocurrido en esta región en los últimos años.
- En el [Boletín Oficial](#) de la Provincia de Neuquén del 14 de Mayo de 2021 se expone que dado “Que el territorio de la Provincia del Neuquén no cuenta actualmente con una red de sismógrafos tecnológicamente adecuada y suficiente para lograr una efectiva cobertura del mismo que permita obtener datos válidos y representativos”, la provincia de Neuquén, el INPRES y las operadoras establecen un Programa de Monitoreo Sísmico de en la Provincia de Neuquén para resolver la situación. Sin embargo, ni este Programa ni otros documentos oficiales abordan o mencionan la cuestión de la sismicidad inducida.

Pero si bien no existen mecanismos oficiales de contención del fenómeno de la sismicidad inducida, existe sin embargo un claro antecedente en el sector privado. A nivel interno y en la Cuenca Neuquina, la empresa Shell ha aplicado para sus operaciones un protocolo de semáforo sísmico de características análogas a las de muchos protocolos existentes en otras regiones del planeta. El semáforo sísmico de Shell en la Cuenca Neuquina se nutre de los datos de sismicidad recopilados por la red sísmica privada implementada por esta empresa en la región. El protocolo marca cuatro categorías: verde, <2 ; amarillo, $2 < 3$; ámbar, $3 < 3.5$; rojo > 3.5 .

Descripción de caso. El semáforo sísmico de Shell



Por los sismos, Shell suspende la actividad en Añelo

La suspensión será de forma preventiva.

Titular de prensa que refleja la situación ocurrida entre el 5 y 8 de junio de 2020. Shell detuvo preventivamente las operaciones de fractura en sus pozos SHE.Nq.BAñ-1011(h), 1012, 1013, 1014 y 1015 tras la ocurrencia de varios sismos, uno de ellos de magnitud 4.2.

A continuación, una copia del semáforo sísmico de Shell en Vaca Muerta, aplicado como procedimiento interno de la empresa y **usado como referencia para el protocolo desarrollado para la propuesta de ley.**

Protocolo*	M _L	Acción	Alertas automatizadas
ROJO	4.0	23,5 M _L : Interrumpir operaciones. El jefe de equipo debe suspender las operaciones de fracturación hidráulica. El Líder de terminación organiza teleconferencia con el Líder de Operaciones de pozos y Líder del Equipo de Ingeniería, el Equipo de Geofísica, Gerente de Área y Gerente Relaciones Externas para discutir las opciones de mitigación y el plan de reanudación de operaciones. Las operaciones no deben reiniciarse hasta que el plan ALARP no haya sido aprobado por el líder del Equipo de Ingeniería. Deberá considerarse notificar al mando superior.	Equipo de Activos Geofísica, Gestión de Activos, Relaciones Externas y HSSE. Solo alertas automatizadas verificadas de forma manual.
ÁMBAR	3.5	3,0 – 3,5 M _L : Modificar las operaciones. Implementar una o más pausas en las operaciones. Recomendación: 1ra pausa 2 horas, 2da pausa 4 horas, 3ra y última pausa 48 horas (si la actividad es ≥ 3.0 M _L tras la 3ra pausa, avanzar con el Protocolo rojo). También se puede considerar una reducción de la velocidad de bombeo si las condiciones operativas lo permiten. Los Equipos de geofísica y de Operaciones de pozos discuten la situación y las acciones a seguir.	Geofísica, Operaciones de pozos, Gestión de Activos. Solo alertas automatizadas verificadas de forma manual.
AMARILLO	3.0	2,0 - 3,0 M _L : Mayor monitoreo del subsuelo (sin cambios en las operaciones). El geofísica debe verificar la información y buscar posibles tendencias en la ubicación y magnitud de los eventos, es decir, los epicentros resaltan las fallas capaces de desencadenar sismos de mayor magnitud, los hipocentros migran más cerca del subsuelo, el aumento en el tiempo de la tasa de sismicidad o magnitud, etc.	Geofísica y Operación de pozos. Solo alertas automatizadas verificadas de forma manual.
VERDE	2.0	< 2,0 M _L : Ninguna acción	Ninguna

*El protocolo se basa en un alerta automático provisto por la red de monitoreo sísmico operada por Nanometrics.

LOS PROTOCOLOS DE SEMÁFORO SÍSMICO

Cualquier protocolo de semáforo sísmico debe seguir los [criterios](#) enumerados a continuación:

Criterios generales

- El protocolo debe contar con los medios económicos, humanos y legales para poder ser elaborado, instaurado y aplicado sin condicionantes. Esto incluye al menos: instrumentos y softwares de monitoreo (evaluación de impacto y riesgos potenciales, control de la actividad y ajuste al marco regulatorio, elaboración de proyecciones, etc.), entes y personal para realizar los estudios y la fiscalización, portales online para consulta y comunicación de datos y reporte de informes y mecanismos permanentes de comunicación (teléfonos de información y emergencias y correo electrónico) entre la población, las autoridades y la industria
- Ser simples y robustos para permitir que se tomen decisiones de reducción de riesgos de manera efectiva e inmediata, con tiempo e información limitados. Para ello, deben definir acciones específicas a tomar acorde al grado de riesgo detectado con el fin de reducirlo. Lo cierto es que en el caso de los protocolos de actuación frente a la sismicidad inducida, no todas las regulaciones consultadas cumplen este requisito, y, particularmente en los casos en que se alejan de la típica forma de semáforo sísmico y adoptan otro tipo de formatos, su interpretación se vuelve cada vez más confusa y compleja.
- Para la definición de umbrales se observa el riesgo de molestias a las personas y el de daños a las infraestructuras. El *riesgo de molestias*, es decir, la percepción sensorial del sismo, el aumento del estrés y la percepción de inseguridad, no constituye sólo una percepción individual y subjetiva, sino que se entiende como el punto en el que el riesgo se erige como una problemática social real y por eso debe ser considerado. En función de las circunstancias, magnitudes sísmicas cercanas a 3 o incluso menores son fácilmente perceptibles por la población. Por otra parte, los daños estructurales directos no suelen ocurrir hasta que la magnitud supera los 4 grados. Sin embargo, factores particulares (profundidad del sismo y características del suelo y las construcciones principalmente) pueden condicionar este criterio general, o se pueden generar daños estructurales ocurridos por la acción acumulada de múltiples terremotos de menor magnitud a lo largo del tiempo. [Investigaciones recientes](#) sobre la aplicación de semáforos sísmicos indican que los esfuerzos de mitigación deben concentrarse en hasta dos órdenes de magnitud por debajo del nivel de protección deseado. Es decir, si el objetivo es evitar temblores de magnitud 3.5 los esfuerzos deben iniciar en el umbral de 1.5.
- Un criterio adicional importante es el del establecimiento de zonas críticas. Por su relevancia social o por su elevado riesgo potencial, existen áreas por las que es prioritario evitar la ocurrencia de sismos, incluso los de menor magnitud. De este modo lugares tales como hospitales o escuelas o núcleos de población en general, o presas o centrales energéticas o depósitos de materiales peligrosos entre otros, se

convierten en zonas críticas. De modo complementario al semáforo sísmico, se deben establecer [zonas de exclusión](#) de actividad con potencial de inducción sísmica para evitar la afectación de estas zonas e infraestructuras críticas.

Descripción de caso. Las zonas de exclusión

Por primera vez tras cinco años, en 2024, el pueblo de Sauzal Bonito en la provincia de Neuquén, el más afectado hasta el momento por el fenómeno de la sismicidad inducida, no tembló. Por primera vez tras cinco años, no se han realizado fracturas hidráulicas a una distancia inferior a 15 km del ejido del pueblo. Este caso, claro y cercano, se convierte en un ejemplo de facto del significado de las zonas de exclusión en este contexto.

Como contrapartida, no hay constancia de que se haya tomado ninguna acción concreta para alejar las fuentes de sismicidad inducida (los pozos de fracking) de infraestructuras críticas como por ejemplo el complejo hidroeléctrico Cerros Colorados (dónde de hecho está planificada una fuerte expansión de la industria en 2025), o núcleos de población como la propia ciudad de Neuquén.

Criterios adicionales

- Es [importante](#) desarrollar un plan de comunicación y una [estrategia](#) de respuesta que acompañe a la constitución del protocolo lo antes posible y **antes de que sea necesario responder a un incidente**. Este plan a desarrollar tanto previamente, durante y posteriormente a la instauración del protocolo, puede incorporar:
 - Encuestas públicas: el objetivo es comprender las preocupaciones del público;
 - Educación: el objetivo es presentar la información de una manera que pueda ser entendida por la audiencia.; y
 - Comunicación: atendiendo a los puntos previos, se debe desarrollar una estrategia comunicativa efectiva, con verdadera llegada a la población y a los afectados.
- Diálogo y colaboración continua entre los operadores y la administración, donde los primeros actúan acorde a las pautas establecidas por los segundos. Los operadores están obligados a cumplir las leyes y normativas como cualquier persona física o jurídica y deben mostrar absoluta colaboración para que el protocolo pueda ser cumplido adecuadamente. La autoridad correspondiente debe contar con plena potestad y los medios suficientes para hacer cumplir el protocolo. Se debe asegurar la posibilidad de los inspectores de realizar su trabajo correctamente y sin impedimentos de ningún tipo.
- Todo tipo de datos relacionados al monitoreo sísmico y también aquellos de la operatoria industrial que de algún modo se vinculen a la potencial sismicidad inducida deben ser accesibles en tiempo real por la población de forma libre, sencilla y abierta y cumpliendo con estándares internacionales. Deben estar actualizados regularmente, ser transparentes y comprensibles y hacer uso de software libre para

cumplir con criterios de universalidad. Este es un criterio considerado fundamental en los manuales de buenas prácticas. Los institutos de investigación y control, como por el ejemplo el INPRES, y las operadoras trabajan puertas adentro de este modo, el único requisito es conectar la información a redes de público acceso.

- Condicionar la concesión de permisos de explotación e inyección de fluidos a la existencia de un adecuado monitoreo sísmico y su correspondiente marco regulatorio (de monitoreo y prevención sísmicas), de modo análogo a lo realizado en importantes cuencas tales como Texas y Nuevo México. Este monitoreo sísmico debe incluir monitoreo de deformación del suelo tanto con instrumentos sobre el terreno como con información satelital.
- Toda operación industrial en campo debe contar con copia del protocolo estipulado y las personas responsables de la operación deben ser conocedoras de las instrucciones dictadas por dicho protocolo, cada una de ellas acorde a sus respectivas responsabilidades, permitiendo monitorear, prevenir, mitigar y responder del modo adecuado a la situación.
- El protocolo completo debe indicar con la mayor precisión posible todo parámetro técnico de control, así como la forma de los pasos concretos para ser aplicado en sus etapas de prevención, control y posterior a la ocurrencia de uno o varios sismos y acorde con cada umbral de actuación.

Descripción de caso. Accesibilidad a los datos

El [INPRES](#), la [Secretaría de Energía de la Nación](#) y otros entes públicos ya vuelcan una parte importante de sus datos a la red en tiempo real o con actualizaciones periódicas. Aún así, es necesario mejorar y ampliar el acceso a estos datos, emulando criterios de accesibilidad aplicados en otras regiones, por ejemplo, el [servicio geológico de los EUA](#) u [otras instituciones](#).

Por otra parte, las empresas cuentan con un [exhaustivo control](#) en tiempo real de las operaciones, lo que indica que existe la plena capacidad para transmitir estas informaciones a la población, algo que se vuelve imprescindible al tratarse de una afectación sobre la seguridad ciudadana durante la explotación de bienes comunes propios de la provincia.



Centro de monitoreo en tiempo real de las operaciones de fractura de YPF.

Criterios Técnicos

La definición de umbrales para el semáforo sísmico resulta óptima tomando parámetros sismológicos como [indicadores de movimiento del suelo](#) (y no simplemente la magnitud sísmica) ya que estos describen el peligro con mayor claridad y se vinculan más directamente con las consecuencias. Sin embargo, en la práctica, puede faltar gran parte de la información necesaria para implementar el semáforo sísmico basado en índices de movimiento del suelo tales como los llamados velocidad o aceleración pico del suelo (PGV o PGA por sus siglas en inglés). Los enfoques basados en el movimiento del suelo requieren ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPE, de nuevo, las siglas en inglés) bien calibradas, relaciones de escala, amplificación del sitio y validación con un amplio catálogo de terremotos. Es habitual que información tan precisa no se encuentre accesible a escala de cuenca o para el público en general o incluso para las administraciones; y esta es precisamente la situación en la Cuenca Neuquina. Por esta razón, y dado que los sismos inducidos en una misma región suelen compartir valores similares en alguna de las más importantes características como profundidad del hipocentro o tipo de geología asociada, el indicador más ampliamente utilizado para definir los umbrales de actuación de un protocolo de semáforo sísmico es la magnitud sísmica, sin que ello juegue en fuerte detrimento de la calidad del protocolo.

A continuación se listan algunos de los criterios técnicos que pueden ser considerados en el momento de elaborar y aplicar un protocolo de control de la sismicidad inducida y de semáforo sísmico, prestando particular atención (aunque no exclusivamente) a la fracturación hidráulica³. En el momento de la elaboración de un protocolo definitivo y vinculante, se deberán identificar y determinar con claridad los elementos que determinan la potencial inducción de riesgo sísmico asociada a las actividades industriales, así como los

³ Se han identificado, clasificado y resumido variables presentes en los múltiples documentos consultados y citados a lo largo, no es posible añadir aquí la referencia detallada a cada uno de ellos.

umbrales adecuados o aceptables para cada uno de estos elementos. Estos elementos pueden incluir los que se enumeran a continuación así como otros no identificados en este documento, y sin lugar a dudas cualquier anomalía con respecto a la evolución normal de las operaciones. La frecuencia de recopilación de datos (diaria, mensual, etc.), técnicas y metodologías de análisis (instrumentos, softwares, modelados, estadísticas, etc) oportunas así como el esquema completo de recopilación, análisis y comunicación de datos deberá también ser definido en un marco de prevención sísmica oficial acorde a los criterios generales definidos en este mismo documento.

Variables sísmicas y características del lugar

- Registros sísmicos históricos (catálogo de sismos completo).
- PGV PGA (mínima medible en el radio de actuación necesario y max potencial).
- Magnitud (mínima medible en el radio de actuación necesario y max potencial).
- Ubicación precisa del terremoto o los terremotos, epicentro e hipocentro.
- Tendencias temporales y geográficas de eventos sísmicos, en particular aquellas series potencialmente inducidas.
- Eventos más grandes que ocurren después de la finalización de HF.
- Incertidumbres del GMPE.
- Variabilidades de amplificación del sitio.
- Respuesta estructural a las sacudidas (entorno construido).
- Respuesta perceptual a las sacudidas.
- Áreas de preocupación críticas (previamente conocidas o no): radios de tolerancia.
- Categorías de zonas habitadas, rurales, urbanas.

Datos geológicos y geofísicos:

- Espesor del yacimiento y extensión superficial.
- Estudios de reflexión sísmica 2D y 3D.
- Hidrogeología.
- Porosidad, permeabilidad y presión inicial del yacimiento.
- Propiedades mecánicas: elasticidad, ductilidad.
- Estratigrafía: especialmente presencia de capas de confinamiento por encima y por debajo.
- Distancia del basamento cristalino respecto a la formación hidrocarburífera explotada y/o de inyección (evitar la proximidad).
- Zonas o formaciones de alta transmisividad y permeabilidad (evitar o reducir la inyección).
- Presencia y orientación de tensión, fallas y fracturas y particularmente aquellas con estrés crítico que se puedan reactivar.
- Esfuerzos in situ, verticales y horizontales, debido a la masa rocosa y fluidos.

Detalles del pozo y de la terminación:

- Ubicación del pozo.
- Diagrama de pozo que muestra la construcción del pozo, la profundidad de inyección (parte superior e inferior del pozo abierto o ubicación de las perforaciones), la(s) formación(es) en las que se está realizando la inyección y la profundidad desde el basamento.

- Registros de pozo abierto que incluyen rayos gamma, calibradores, neutrones de densidad compensados y resistividad obtenidos al perforar el pozo que;
- Diseño de la agrupación de etapas de fracturación (ubicación, secuencia temporal, longitud).
- Fecha y hora de encendido y apagado de las bombas.
- Valores medios, mínimos y máximos esperados y medidos de presión de bombeo, temperatura, ruido y otros indicadores y su evolución temporal.
- Volumen de arenas inyectadas.
- Terminación del pozo (manguitos deslizantes o tapón y perforación).
- Uso de desviadores, otros reductores/limitadores de velocidad en el pozo.
- Distancia entre pozos y operaciones de pozos colindantes o en el mismo pad.
- Orientación del pozo con respecto a la dirección de la tensión crítica (evitar la inyección de fluidos en fallas orientadas de manera óptima y con estrés crítico).
- Evaluaciones de yacimientos (por ejemplo, diagramas de Hall y Silin).
- Pruebas de comunicación y/o integridad mecánica del pozo.

Datos de fluidos

- Diseño de fluido de fracturación hidráulica (slickwater vs. gel);
- Densidades de fluido/lodo, concentraciones de apuntalante, reductores de fricción.
- Volumen de líquidos y gases inyectados. Fluido total por unidad de longitud perforada, por etapa, por pozo, por plataforma.
- Propiedades físicas: densidad y temperatura, fases presentes (gas/líquido), compresibilidad, viscosidad, gravedad específica y nivel dentro de la tubería (presión de fondo de pozo/yacimiento).
- Química del fluido.
- Historiales de inyección y registro de lodos.

Recomendaciones y consideraciones particulares para la Cuenca Neuquina

- Dentro del marco de riesgo sísmico nacional, aplicar una nueva categoría de zonificación sísmica en toda la región de explotación no convencional acorde al riesgo actual y a las particularidades del riesgo añadido por la sismicidad inducida. Elevar la consideración de riesgo y estipular criterios de prevención sísmica generalizados: **construcción antisísmica y evaluación de riesgo sísmico en estudios de impacto ambiental**, planes de acción y evacuación, etc. Las propias infraestructuras de la industria, **empezando por los pozos** y extendiéndose a conexiones como rutas o ductos, depósitos y otros, son las más susceptibles por encontrarse en el epicentro mismo de los eventos inducidos.
- Revisar el grado de preparación de infraestructuras críticas frente a potenciales eventos sísmicos. Infraestructuras tales como represas, polos industriales, hospitales, escuelas y otros. Actuar en consecuencia allí donde se detecten falencias mejorando las medidas de contención.
- Elaborar una legislación y un protocolo oficial de actuación sobre la sismicidad inducida como el propuesto en este documento que rellene el vacío legal existente en la actualidad.

Umbrales de riesgo en los semáforos sísmicos y acciones genéricas asociadas

Los semáforos sísmicos suelen contar de tres categorías, si bien en ocasiones se sirven de cuatro (esta será la opción propuesta para la Cuenca Neuquina).

Verde

Umbral de riesgo mínimo. No hay sismos registrados o son de magnitud considerada de mínimo riesgo en la región, definido como el correspondiente a 2 unidades de magnitud sísmica menos que el máximo asumible (umbral rojo). Las operaciones proceden normalmente en los yacimientos.

Para el caso de la Cuenca Neuquina proponemos un umbral verde máximo de magnitud 1.5.

Amarillo y/o ámbar

Se trata de una o dos categorías de riesgo intermedio, la división en una o dos se establece según el criterio particular. Los sismos registrados son considerados de riesgo medio en la región, no tanto por su influencia directa en la operatoria o por su impacto en superficie, sino por ser considerados potenciales predecesores de eventos mayores o posibles enjambres. La intención de la luz amarilla es dar espacio a los operadores para que reaccionen y comiencen a implementar estrategias de mitigación para evitar finalmente que un evento descontrolado pase directamente de luz verde a luz roja durante la estimulación hidráulica.

Bajo esta circunstancia la operatoria es llevada a cabo con cautela, prestando especial atención a los parámetros que puedan indicar un incremento en la actividad sísmica. Se introducen algunas acciones de control de la actividad, reduciendo la intensidad de los procesos industriales, con el fin de morigerar la sismicidad desencadenada. Se debe informar a las autoridades y demás personal responsable por medio de los mecanismos estipulados. Se mantiene el monitoreo intensivo hasta confirmar que se recupera la situación de semáforo sísmico en umbral verde.

Para el caso de la Cuenca Neuquina proponemos dos umbrales intermedios. Un umbral amarillo entre 1.5 y 2.5, y un umbral ámbar entre 2.5 y 3.5.

Rojo

Umbral de máximo riesgo. Los sismos registrados por encima de este umbral se consideran inasumibles por el riesgo que conllevan tanto en sí mismos como por ser posibles antecesores de eventos más graves.

Las operaciones se interrumpen completamente y no se reanudan hasta una evaluación completa de la operación y la autorización explícita de las autoridades responsables.

Para el caso de la Cuenca Neuquina proponemos un umbral rojo en sismos de magnitud 3.5 y superior.

Zonas de exclusión

Existen zonas, a las que se les asigna el nombre de **zonas de exclusión**, donde el incremento del riesgo sísmico inducido por la actividad industrial es inasumible y en consecuencia dicha actividad debe ser evitada en un radio de afectación considerado adecuado⁴. Son zonas donde la presencia o proximidad de elementos singulares elevan el factor de riesgo asociado al peligro sísmico habitual, como por ejemplo:

- Represas hídricas: su potencial daño estructural por el impacto de las ondas sísmicas implica que la mínima afectación pueda tener consecuencias catastróficas por la repentina liberación de la masa de agua embalsada.
- Otras infraestructuras críticas tales como: centrales energéticas (nucleares, térmicas, etc), depósitos de materiales peligrosos (hidrocarburos, químicos tóxicos), grandes puentes viales, puertos y aeropuertos, etc.
- Riesgo geológico. Este aspecto se ha mencionado anteriormente. Aquellas zonas donde el riesgo geológico, como por ejemplo los deslizamientos de laderas, tienen más probabilidad de ser disparados deben ser excluidas.
- Riesgo sísmico. Fallas previamente conocidas de estrés crítico, de magnitud (extensión), orientación o cualquier otra variable considerada crítica con potencial de inducir un sismo por encima de determinado umbral considerado inaceptable.
- Riesgo sobre las viviendas y residentes. El área incluida dentro del radio de exclusión con foco en cualquier zona residencial o permanentemente habitada (hospitales, campamentos turísticos o de otro tipo, bases militares, etc).

EL PROTOCOLO DE SEMÁFORO SÍSMICO EN LA CUENCA NEUQUINA

El protocolo de semáforo sísmico propuesto para la Cuenca Neuquina ha sido definido siguiendo los preceptos hasta aquí presentados. Se destacan a continuación algunos de los elementos clave que lo han determinado:

- 1) Se fundamenta y es muy semejante a protocolos de semáforo sísmico aplicados en otras regiones del planeta.
- 2) En particular, se asemeja especialmente a uno de los protocolos aplicados en la Cuenca Neuquina por una de las mayores empresas operadoras como criterio interno de seguridad.
- 3) Aplica el principio fundamental de sencillez y claridad con el fin de permitir una ejecución efectiva en situaciones de necesidad o urgencia.
- 4) Propone los umbrales siguiendo los criterios ampliamente aceptados de evitar el riesgo de molestias y daños estructurales, y asumiendo que el umbral mínimo debe ser estipulado en dos unidades de magnitud por debajo del máximo asumible.
- 5) Considerando las limitaciones de recopilación y acceso de datos actuales, y siguiendo otros ejemplos (como en el ítem 2), se proponen cuatro umbrales de actuación espaciados por un grado de magnitud entre sí.

⁴ El radio de exclusión se sitúa típicamente entre 5 y 15 km de distancia entre la zona sensible y el punto más cercano de operación de la potencial fuente de inducción sísmica. En el caso de fracking, este punto de operación puede tratarse tanto de la cabeza del pozo, como la primera, la última o cualquier otra de las etapas de fractura del pozo horizontal.

- a) **Rojo: magnitud 3.5 M_L o mayor.** Umbral de sismicidad máximo asumible. Detención total de la actividad.
- b) **Ámbar: magnitud >2.5, <3.5 M_L .** Umbral de situación máxima de prevención. Escasas actividades bajo fuerte monitoreo. La magnitud de 2.5 M_L es actualmente utilizada como límite por el INPRES para comunicar públicamente los sismos registrados. Esto permite aplicar un control externo a la actividad tras la inmediata activación del plan hasta que no mejore el acceso a los datos de registro sísmico.
- c) **Amarillo: magnitud >1.5, <2.5 M_L .** Umbral de precaución. Siguiendo los criterios habituales, se estipula el primer nivel de precaución en dos grados de magnitud por debajo del valor rojo.
- d) **Verde: magnitud <1.5 M_L .** Umbral de actividad normal. Con actividad sísmica por debajo de 1.5 M_L la actividad prosigue con normalidad.

De acuerdo a todo lo hasta aquí expuesto, solicitamos a los legisladores de la Provincia hacer propia esta iniciativa y acompañar el proyecto de ley presentado para dar solución a la problemática ambiental expuesta, que sigue perjudicando a los vecinos y vecinas de la Provincia y pone en grave riesgo sus vidas, así como a los ecosistemas e infraestructura neuquinos.