



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

PRÁCTICA RECOMENDADA

PR IAPG-SC-23-2021-00

**Sismicidad inducida asociada a
operaciones de la industria del
petróleo y gas**

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de estas Prácticas Recomendadas es proponer una herramienta que sirva de guía a las compañías operadoras en la evaluación y mitigación de riesgos asociados a sismicidad inducida en operaciones relacionadas a la exploración y desarrollo de hidrocarburos.

Este documento integra la experiencia y el conocimiento de referentes técnicos de compañías petroleras en diferentes yacimientos de la República Argentina, así como especialistas en sismicidad inducida de compañías internacionales con experiencia en Estados Unidos, Canadá y otras partes del mundo.

El mismo pretende cubrir de forma genérica aquellos tópicos considerados de mayor relevancia en la temática. Las prácticas recomendadas son generales y cada operador podrá adaptarlas a su situación de trabajo específico.

Las prácticas de evaluación, monitoreo y mitigación de sismicidad inducida representan un compromiso de la industria con el país y la región para el desarrollo sustentable y responsable de los recursos hidrocarburíferos.

Estas prácticas reflejan el estado del conocimiento sobre este tema aplicado a los hidrocarburos, que requiere de áreas de investigación activas para mejorar su entendimiento. Este conocimiento se encuentra en permanente crecimiento, por lo cual las posibles recomendaciones evolucionan continuamente. En consecuencia, el presente documento busca ser el punto de partida para futuros Manuales de Prácticas Recomendadas con mayor desarrollo, en la medida que la experiencia y la adquisición de datos en la República Argentina se incremente y así lo permita.

Este manual complementa el documento técnico e interno del IAPG redactado en septiembre 2020 “Sismicidad inducida. Análisis de antecedentes y vinculación con la industria de hidrocarburos”.

Las sugerencias bibliográficas incluidas al final del documento son recopilaciones generales, existe abundante material sobre la temática no incluida en la lista.

2 EVALUACIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGO DE SISMICIDAD INDUCIDA

Para el diseño y la ejecución de operaciones de fracturamiento hidráulico y la disposición de fluidos de producción en formaciones permeables se recomienda incorporar una evaluación de los potenciales riesgos vinculados a la ocurrencia de sismicidad inducida. Según resulte de dicha evaluación en cada área específica, puede ser necesario un procedimiento detallando los diversos factores tenidos en cuenta en la evaluación de riesgo de sismicidad inducida, y eventualmente complementado con un programa de monitoreo y un plan de respuesta.

2.1 EVALUACIÓN DE RIESGOS

La probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico tendrá en cuenta diversos factores naturales y aspectos operacionales. Los factores naturales incluyen la sismicidad histórica, el régimen de esfuerzos y presiones, y la existencia de fallas de escala sísmica y sub-sísmica. Los principales aspectos operativos abarcan el diseño de fractura hidráulica e inyección en pozos sumideros. La evaluación de riesgo final deberá incluir además de los factores naturales y operacionales, el impacto sobre infraestructura crítica y poblaciones. Cada uno de estos factores tendrá un peso diferente en función del área de operación.

2.1.1 FACTORES NATURALES

Sismicidad histórica

Se recomienda contar con registros históricos de sismicidad natural publicados por organismos oficiales para establecer una línea base de actividad sísmica, previo a las operaciones de fracturamiento o disposición de fluidos. La ocurrencia de actividad sísmica previa es indicadora de que el estado de esfuerzos al que está sometido el sistema geológico puede estar activando fallas preexistentes. La ausencia de registros de actividad sísmica previa no necesariamente implica que en la cuenca no exista sismicidad histórica, sino que puede estar vinculada a un arreglo de monitoreo insuficiente, o incapaz de registrar la sismicidad existente.

Además de conocer la ocurrencia de sismicidad es importante identificar la ubicación de los eventos, agrupamientos espaciales o alineamientos de estos, conocer el tipo de mecanismo focal y la magnitud máxima ocurrida, todos ellos con sus errores asociados. Estos atributos aportarán más información sobre el carácter sismogénico del área.

Dado que la sismicidad inducida está vinculada a diversos tipos de actividades humanas, se debe identificar otras posibles fuentes de sismicidad inducida no vinculadas a operaciones de la industria hidrocarburífera. Por ejemplo, las variaciones en los niveles de agua de represas o embalses representan otra fuente de sismicidad inducida incluso en áreas de baja sismicidad natural.

Sistema de esfuerzos y fallas

Se recomienda contar con mapas regionales y/o locales del estado del régimen de esfuerzos efectivos actuales del subsuelo, principalmente de su orientación y magnitud.

La sismicidad inducida podría ocurrir cuando las condiciones en el subsuelo sean alteradas de modo que una discontinuidad preexistente alcance el punto de falla por deslizamiento por el

efecto de los esfuerzos. Si una discontinuidad sometida a esfuerzos está cercana al estado crítico, la teoría y las observaciones demuestran que un cambio en las presiones puede activar estas discontinuidades induciendo sismicidad.

Es recomendable el mapeo de las fallas y rasgos estructurales, dentro del objetivo geológico a ser estimulado o utilizados para inyección, y también en niveles supra y subyacentes al objetivo y si fuera posible su conexión con el basamento. Cabe aclarar, sin embargo, que las áreas de actividad sísmica no siempre se correlacionan con zonas de fallas identificables en la información del subsuelo disponible.

2.1.2 ANTECEDENTES OPERACIONALES

Los volúmenes inyectados, las tasas de bombeo, y la presión acumulada podría modificar el equilibrio de esfuerzos por lo que se recomienda compilar antecedentes de operaciones de fractura hidráulica y disposición de agua de producción.

2.1.3 INFRAESTRUCTURA Y ASENTAMIENTOS

En algunas ocasiones los eventos sísmicos inducidos pueden ser percibidos por la gente (sismicidad inducida anómala). El operador debe identificar zonas habitadas cercanas al área de operación incluyendo aquella infraestructura más sensible como son casas, represas, plantas de gas, plantas de energía, torres de agua, entre otro tipo de construcciones.

Actualmente, de acuerdo a la zonificación sísmica realizada por el INPRES, la provincia de Neuquén se encuentra clasificada entre las zonas 1 y 2 de peligrosidad sísmica, variando de “reducida” en la zona de la cuenca neuquina a “moderada” hacia la cordillera, lo que obliga a que las construcciones en el ámbito Neuquino sean sismo resistentes según lo requerido por INTI-CIRSOC e INPRES, Reglamento #103.

2.2 PLAN DE MONITOREO Y MITIGACIÓN DE RIESGO DE SISMICIDAD INDUCIDA

En el caso que la evaluación de riesgo de sismicidad inducida realizada en un área específica previo a las operaciones asociadas a la exploración o desarrollo de hidrocarburo lo requiera, será recomendable establecer un plan adecuado de monitoreo durante las operaciones. El sistema de monitoreo permitiría al operador identificar un aumento de la actividad sísmica inducida, pudiendo realizar cambios operacionales para mitigar el riesgo.

Actualmente el gobierno neuquino, junto con el INPRES, está implementando el programa de monitoreo sísmico en la provincia de Neuquén (resolución 54/21) al cual adhieren la mayoría de las compañías. Este programa permitirá recabar información, que será publicada de acuerdo a los criterios del INPRES, y elaborar un protocolo de respuesta a partir de la misma. Por otra parte, al día de la fecha, varias compañías que operan en la cuenca Neuquina han implementado su propio sistema de monitoreo de sismicidad natural e inducida y cuentan con, o están trabajando en, protocolos internos de respuesta en función de la información recabada hasta el momento. Los protocolos son posibles en la medida que haya datos disponibles, siendo este el objetivo de la implementación de una red de monitoreo dedicada.

La interacción entre la industria y los entes reguladores, con una comunicación clara y efectiva, es esencial para garantizar el desarrollo de los recursos y operaciones seguras. Se recomienda impulsar la realización de reuniones y talleres en los que se compartan los fundamentos técnicos y experiencias con la comunidad y gobierno.

El presente documento es dinámico. Con la evolución de los proyectos y la generación de una base de datos confiable, incluyendo además las lecciones aprendidas en operaciones de este tipo en nuestro país y en otras unidades de negocio en el mundo, el plan de monitoreo y mitigación de riesgos podrá verse modificado.

Una vez esté mejor caracterizada la influencia de la actividad hidrocarburífera en función del monitoreo, se podrán recomendar acciones de mitigación. Estas acciones podrían requerir de la colaboración entre organismos reguladores y la industria, que se ocupe del análisis y evaluación de la información y la generación de recomendaciones.

3 SUGERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustín Udías, 1999. Principles of Seismology. Cambridge University Press.
- Canadian Association of Petroleum Producers, abril de 2019. Anomalous Induced Seismicity due to Hydraulic Fracturing. Industry Shared Practices.
- Council, G. W. P., Oil, I., & Gas Compact Commission, 2021. Potential injection-induced seismicity associated with oil & gas development: A primer on technical and regulatory considerations informing risk management and mitigation.
- Gillian R. Foulger, Miles P. Wilson, Jon G. Gluyas, Bruce R. Julian and Richard J. Davies, 2018. Global review of human-induced earthquakes. Earth-Science Reviews 178 (2018) 438-514.
- IAPG, septiembre 2020. Sismicidad inducida. Análisis de antecedentes y vinculación con la industria de hidrocarburos. Documento interno, 21 p.
- International Association of Oil and Gas Producers Report No. 489, 2013. Good practice guidelines for the development of shale oil and gas.
- National Research Council, 2013. Induced seismicity potential in energy technologies. National Academies Press.
- Peter Knoll and Georg Kowalle (ed.), 1996. Induced Seismic Events.
- Serge A. Shapiro, 2015. Fluid Induced Seismicity. Cambridge University Press.
- Seth Stein and Michael Wyssession, 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure.
- Underground Injection Control National Technical Workgroup, 2015. Minimizing and Managing Potential Impacts of Injection Induced Seismicity from Class II Disposal Wells: Practical Approaches.
- Walters, R.J., 2015. Scientific Principles Affecting Protocols for Site characterization and Risk Assessment Related to the Potential for Seismicity Triggered by Saltwater Disposal and Hydraulic Fracturing. Stanford University Center for Induced & Triggered Seismicity (SCITS).
- Zoback M., and A. Kohli, 2019. Unconventional Reservoir Geomechanics: Shale Gas, Tight Oil, and Induced Seismicity (Capítulo 13). Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316091869