

Riesgos de la fractura hidráulica: Casos de las cuencas de Burgos, México y Neuquina, Argentina

Risks of hydraulic fracture: Cases from the basins of Burgos, Mexico and Neuquina, Argentina

Ulises Antonio Alemán-Contreras*, Humberto Reyes-Hernández*✉, Anuschka van 't Hooft*, Germán Santacruz de León**

Alemán-Contreras, U. A., Reyes-Hernández, H., van't Hooft, A., & Santacruz de León, G. (2022). Riesgos de la fractura hidráulica: Casos de las cuencas de Burgos, México y Neuquina, Argentina. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 30(87), e3737, doi: <https://doi.org/10.33064/iycuaa2022873737>

RESUMEN

El objetivo del artículo es reconocer los riesgos del *fracking* y los impactos que esta técnica provocó en las cuencas de Burgos, México y Neuquina, Argentina. Se realizó una revisión documental que incluyó bases de datos, información gubernamental y fuentes bibliográficas, a partir de lo cual se definieron los riesgos frecuentes vinculados en forma directa al *fracking* como: la sismicidad inducida, uso excesivo y contaminación del agua, contaminación del aire y efectos sobre la salud humana. Adicionalmente se generó información cartográfica, correspondientes a pozos y campos petroleros, que evidencian la implementación de la fractura hidráulica en ambas cuencas. En ambos casos se documentaron impactos vinculados a los riesgos, que se agudizan cuando se realizan prácticas prohibidas en otros países. Frente a la continua expansión del *fracking* es necesario desarrollar un marco institucional que propicie la implementación de las medidas preventivas y de mitigación eficaces.

Palabras clave: *fracking*; fractura hidráulica; riesgo impacto; cuenca de Burgos; cuenca Neuquina.

ABSTRACT

Recibido: 30 de mayo de 2022, Aceptado: 21 de julio de 2022

*Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Industrias #101-A, Fracc. Talleres, C. P. 78399, San Luis Potosí, México. Correo electrónico: tony-aleman@hotmail.com; hreyes@uaslp.mx; avanthoof@uaslp.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3116-369X>; <https://orcid.org/0000-0001-6232-1035>; <https://orcid.org/0000-0002-3742-9121>

**El Colegio de San Luis, A. C. Parque de Macul #155, Fracc. Colinas del Parque, C. P. 78294, San Luis Potosí, S. L. P., México. Correo electrónico: german.santacruz@colsan.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5231-6355>

✉ Autor para correspondencia

The objective of the article is to know the risks of fracking and the impacts that this technique caused in the Burgos and Neuquina basins. A documentary review was carried out that included databases, government information, and bibliographic sources, with which frequent risks directly linked to fracking were defined, such as induced seismicity, excessive use and pollution of water, air pollution, and effects on the environment and human health. In addition, wells and oil fields cartography was elaborated. The maps show the implementation of hydraulic fracturing. In both cases, impacts linked to risks were documented, which are exacerbated when linked to the use of practices rejected in other countries. Faced with the continued expansion of fracking, it is necessary to develop an institutional framework that fosters the implementation of effective preventive and mitigation measures.

Keywords: fracking; hydraulic fracture; risk; impact; Burgos basin; Neuquina basin.

INTRODUCCIÓN

La fractura hidráulica o *fracking* hace referencia a una combinación de técnicas que se aplican a los hidrocarburos alojados en rocas de baja permeabilidad, también denominados hidrocarburos no convencionales (Estrada, 2013, p. 16). Estos recursos naturales no renovables incluyen los petróleos extrapesados de alta viscosidad (*extra heavy oil*), las arenas petrolíferas (*oil sands*), el crudo de lutitas (*oil shale*), el gas ajustado (*tight gas*), gas natural con una permeabilidad muy baja, el metano en lecho de carbón (*Coal bed methane*), el gas de lutitas (*shale gas*) y los hidratos de gas natural (*natural gas hydrates*) (IEA y ETSAP, 2010, p. 1).

Los hidrocarburos no convencionales se encuentran alojados en formaciones de rocas sedimentarias cuyas características son tener bajo contenido energético (con respecto al volumen de la roca), alta dispersión de las formaciones en áreas muy extensas y baja permeabilidad (Boyer, Clark, Jochen, Lewis, & Miller, 2011, p. 28, 29). Dichas características hacen necesarias la estimulación y la fractura hidráulica para la emanación de los hidrocarburos a la superficie; para lo cual el proceso de *fracking* combina técnicas específicas aplicables a los hidrocarburos alojados en este tipo de yacimientos (Estrada, 2013, p. 16).

La fractura hidráulica es una técnica controvertida debido a que se ha vinculado con una amplia diversidad de impactos negativos documentados en regiones de diferentes países donde esta técnica se implementa (Benavides & Diwekar, 2015; Currie, Greenstone, & Meckel, 2017; Ellsworth, 2013; Green, 2017; Howarth, Santoro, & Ingraffea, 2011; Hultman, Rebois, Scholten, & Ramig, 2011; Ingraffea, 2013; Rofinelli, 2015; Weinberger, Greiner, Walleigh, & Brown, 2017; Wilson et al., 2015). A pesar de ello, es una técnica muy extendida en todo el mundo.

El objetivo de este artículo fue reconocer los riesgos asociados con la implementación del *fracking*, así como los impactos que provocó en las cuencas Neuquina, Argentina y Burgos, México tras la expansión de esta técnica en ambos países que cuentan con altas reservas probadas de hidrocarburos convencionales y no convencionales. Para ello se desarrolló un amplio análisis documental que incluyó la revisión de fuentes bibliográficas y hemerográficas, bases de datos, información gubernamental —en

específico insumos cartográficos de pozos, campos petroleros y áreas no convencionales en las respectivas áreas de estudio. Este trabajo también aborda las características más relevantes del *fracking*, el contexto en el que se originó, las técnicas en la que se basa, los recursos que explota y el contexto de su expansión internacional.

Los riesgos son hechos probados, por ejemplo, que el *fracking* contamina el agua y el subsuelo (Matesanz Caparroz, 2013, p. 123). En contraste, un impacto se define como un hecho concreto que se deriva de las presiones ejercidas sobre el territorio; pueden ser directos, indirectos o diferidos, los impactos entran en el ámbito del corto y medio plazo, son mesurables (Matesanz Caparroz, 2013, p. 80). Es decir que el riesgo y el impacto son conceptos similares, no obstante que el primer concepto hace referencia a un caso potencial y el segundo a un caso concreto con una delimitación temporal y geográfica.

Primeros ensayos

Si bien desde el siglo XIX han existido prácticas rudimentarias que podrían considerarse como precedentes del *fracking*, la técnica como tal surgió en EE. UU. como una estrategia para enfrentar lo que podría significar la dependencia energética exterior, que derivó del embargo petrolero impuesto en 1973 por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) a Israel, EE. UU. y sus aliados (Bustillos, Artecona, Makhoul, & Perrotti, 2015, pp. 7, 31). Aun cuando el desarrollo del *fracking* actual comenzó en la década de los setenta, pasaron más de 30 años para que su implementación fuera rentable desde una perspectiva comercial y energética.

Fue hasta 2008 cuando el *fracking* alcanzó la rentabilidad con el desarrollo y optimización de la técnica denominada *mancha de agua* (*slick water*) que consiste en la aplicación de agua mezclada con arena de cuarzo, reductores de fricción y aditivos químicos a formaciones de lutitas (Estrada, 2013, pp. 23, 24). La nueva técnica se combinó con la perforación horizontal, la perforación multinivel y la perforación en bloque (*drilling pad*) haciendo más eficiente su implementación (Boyer et al., 2011, p. 29). En años posteriores la técnica se propagó a Canadá y México, luego a Sudamérica (Argentina) y Europa (Reino Unido) y finalmente, a África, Asia y Oceanía (Boyer et al., 2011).

Las técnicas de *fracking* pueden aplicarse a formaciones no convencionales en la perforación de pozos extendidos (Estrada, 2013, p. 17) o emplearse en forma complementaria en pozos de yacimientos de hidrocarburos convencionales agotados — de gas y petróleo— por medio de reentradas (perforaciones a partir de pozos ya existentes) en la etapa final de la vida productiva del pozo. De esta manera se reasigna la zona productiva del pozo a un yacimiento o formación adicional o diferente y la nueva sección puede ser vertical, horizontal o direccional (Halliburton, 2021).

Si bien el proceso para la explotación de cada "formación no convencional" es específico y particular, existen etapas básicas: evaluación de la formación y del recurso, preparación de la locación, perforación vertical, perforación horizontal, perforación en S o direccional, estimulación y fractura hidráulicas, etapa productiva del pozo, etapa de *flowback*, separación de sólidos, líquidos y gases, almacenamiento y transporte de hidrocarburos; finalmente, el cierre del pozo (eitb, 22 de octubre de 2013).

En al menos 46 países existen reservas de recursos no convencionales. China, Argentina, Argelia, EE. UU., Canadá, México, Australia, Rusia y Brasil destacan como los países con mayores reservas posibles (Energy Information Administration, 24 de septiembre

de 2015). En América Latina las reservas posibles de recursos no convencionales se concentran en Argentina, México, Brasil, Venezuela, Paraguay, Colombia, Chile, Bolivia y Uruguay (Energy Information Administration, 24 de septiembre de 2015). Varios de estos gobiernos participan en la extracción y producción de hidrocarburos por medio de empresas del estado y paraestatales; es decir, con financiamiento mixto, pero con una participación mayoritaria del Estado, como son: Yacimientos Petrolíferos Fiscales (Argentina), Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (Bolivia), Petrobras (Brasil), Empresa Nacional del Petróleo (Chile), Ecopetrol (Colombia), Pemex (México), y PDVSA (Venezuela) (Pasquali, 8 de marzo de 2019).

Expansión

La implementación del *fracking* se asemejó a la dinámica propiciada por un producto sustituto (Porter, 1979, pp. 142-143) que disminuye la capacidad negociadora de productores (los países exportadores de hidrocarburos) e incrementa la capacidad negociadora de los compradores (países con alto consumo de hidrocarburos), esta dinámica permitió el incremento en la disponibilidad y acceso a una oferta energética global con un suministro más seguro y regular (Vargas Suárez, 2014, p. 12) para el mercado estadounidense. De esta manera, la reducción de los precios internacionales de los hidrocarburos a principios de 2014 pudo significar la consecución del objetivo principal de una política transnacional (Kaiser, 1969, pp. 92-95) impulsada por EE. UU. Al ser el *fracking* una técnica de alta especialización requirió de tecnología de punta y mano de obra especializada —provistos por empresas transnacionales— y materiales específicos como el puntal (arena de cuarzo), un aditivo indispensable en la industria que impide el cierre de las microfracturas abiertas para el flujo de los hidrocarburos (Yacimientos Petrolíferos Fiscales, 21 de abril de 2015, párr. 2).

La implementación del *fracking* incluye una etapa de prospección para determinar si la inversión será lucrativa y favorable para realizar la técnica a gran escala y una etapa de exploración, donde se realizan ensayos de explotación (eitb, 22 de octubre de 2013, min. 24:11). Una vez determinada la rentabilidad de la inversión deviene un cambio institucional (North, 1998) en el país receptor de la técnica. Con su legalización además de regular su implementación a gran escala se normalizan los mecanismos que garantizan y facilitan el retorno de la inversión y los beneficios asociados. Lo anterior hace factible que en la mayoría de los países la implementación del *fracking* —en su etapa prospectiva experimental— se diera en forma extralegal.

El *fracking* en México y Argentina

En Argentina el *fracking* se instrumentó legalmente en 2012 con la Ley de Soberanía Hidrocarburífera número 26.741 (Bonney, 2016, p. 41). En México se legitimó en 2013 con la reforma energética que incluía la legalización del *fracking* y la participación de la iniciativa privada en el sector energético (Alemán Contreras, 2017). En Argentina, la cuenca Neuquina es una de las regiones en la que el *fracking* se implementó principalmente. Esta cuenca se extiende sobre las provincias de Neuquén, Mendoza, Pampa y Río Negro. En esta región desde 1900 y hasta el año 2017 el total de pozos de extracción de hidrocarburos convencionales y no convencionales sumaba 28,240, de los cuales 1,501 son pozos no convencionales —1,389 pozos extendidos y 112 reentradas— (figura 1). En 2014 se perforaron 360 pozos no convencionales, que representan la mayor perforación de pozos de este tipo, la mayoría situados en la provincia de Neuquén. En esta cuenca el *fracking* se implementó en 16% de los 408 campos y su expansión coincide con las fases típicas de implementación de la técnica (figura 2).

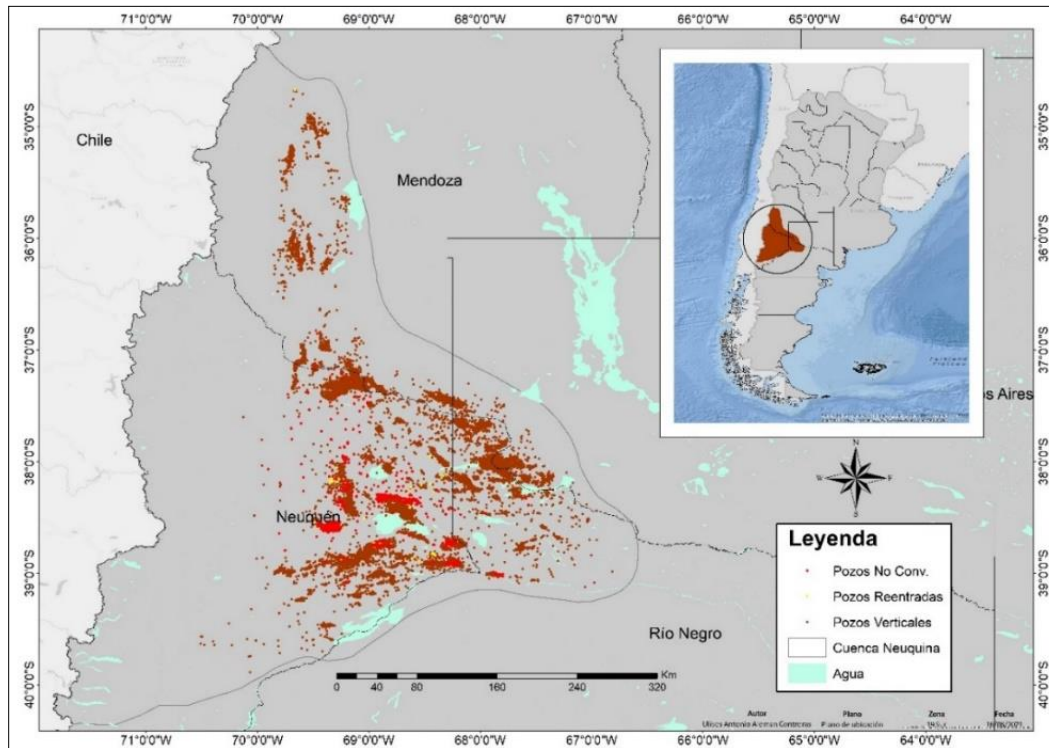


Figura 1. Pozos verticales, con reentradas y extendidos en la Cuenca Neuquina, Argentina, 1900-2017.

Elaboración propia con base en Secretaría de Gobierno de Energía, Gobierno de Argentina (2017).

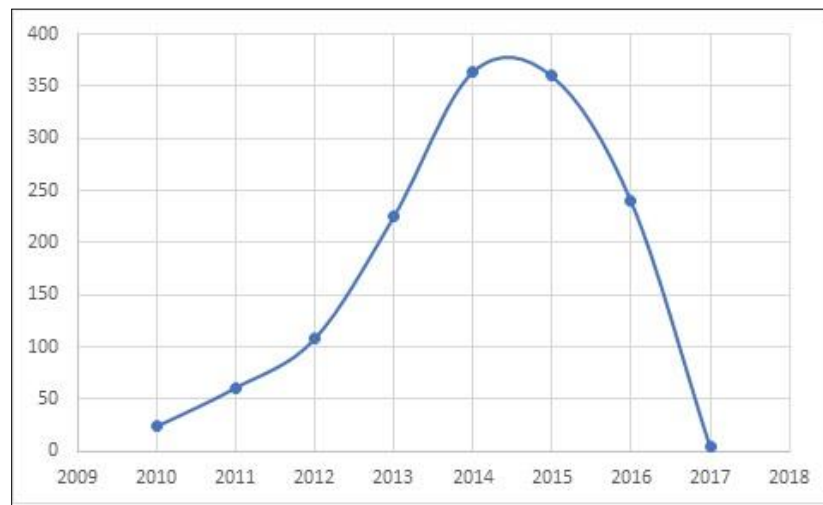


Figura 2. Pozos extendidos perforados por año en la Cuenca Neuquina, Argentina, 2010-2017.

Elaboración propia con base en Secretaría de Gobierno de Energía, Gobierno de Argentina (s. f.).

En México la cuenca de Burgos fue una de las regiones donde el *fracking* se implementó principalmente, esta cuenca comprende los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, en el norte del país. De 1923 a 2018 en esta cuenca se han perforado 7,570 pozos de hidrocarburos convencionales y no convencionales, de los que 2,153 pueden ser categorizados como pozos no convencionales —1,730 reentradas y 423 pozos extendidos— (figura 3). La mayoría de los pozos no convencionales se encuentran distribuidos entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas.

De acuerdo con la información consultada 2010 fue el año con mayor implementación de pozos extendidos (140). El año 2018 es la última fecha registrada en la que se perforaron los pozos de este tipo. Con respecto a las reentradas, en la información disponible no se especifica la temporalidad en la que se realizó este reacondicionamiento (*workover*). En esta región la fractura hidráulica se implementó principalmente por medio de reentradas, aunque la información oficial no especifica la temporalidad en la que se aplicaron estos reacondicionamientos, tan solo se señalan las fechas en las que se implementaron los pozos extendidos nuevos (figura 4).

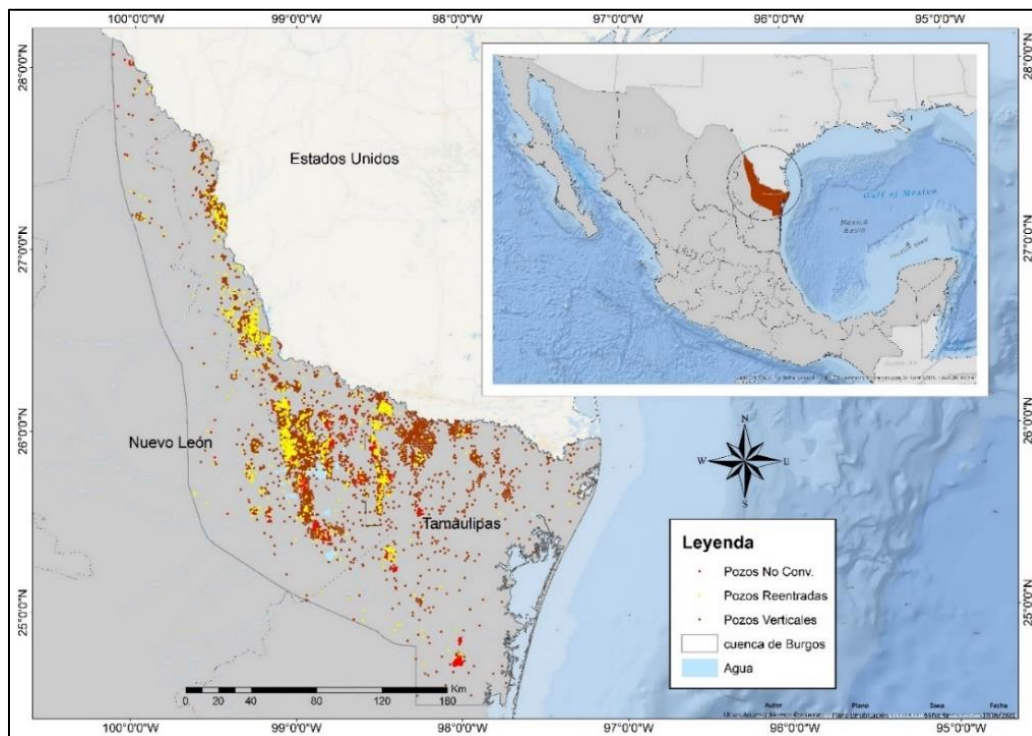


Figura 3. Pozos verticales, con reentradas y extendidos en la Cuenca de Burgos, México, 1923-2018. Elaboración propia con base en Consejo Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH) (s. f.).

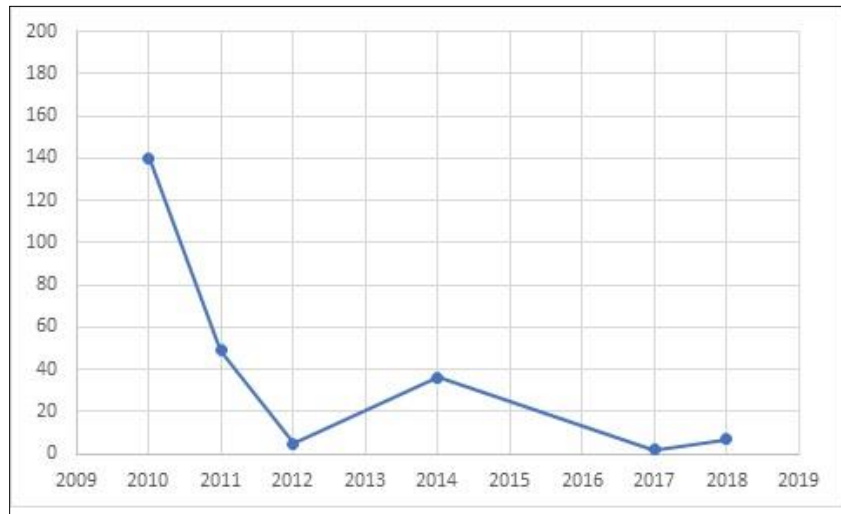


Figura 4. Número de pozos extendidos por año en la Cuenca de Burgos, México, 2010-2018. La gráfica incluye los pozos con reentradas. Elaboración propia con base en Consejo Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH) (s. f.).

Principales riesgos del *fracking*

De acuerdo con lo reportado en la literatura el *fracking* se asocia directamente con la actividad sísmica inducida o sismos antropocéntricos, lo que ha sido analizado por diversos autores (Ellsworth, 2013, p. 142; Wilson et al., 2015, p. 7), quienes coinciden que tras la llegada del *fracking* a una región —que puede o no ser clasificada como zona sísmica— se activa o potencializa la presencia de eventos sísmicos. La *Royal Society* y la *Royal Academy of Engineering* señalan que:

El *fracking* propicia dos tipos de sismicidad inducida: el primer tipo, consiste en los eventos microsísmicos que debidos a los trabajos cotidianos del *fracking* y que son comunes e inocuos; el segundo tipo son los eventos de sismicidad superior que generalmente son raros y se asocian a la presencia de una falla estresada previamente. Aunado a lo anterior, se establece que la magnitud de los eventos de sismicidad superior asociados al *fracking* comúnmente no excederán la magnitud de los eventos de sismicidad natural de la región donde se implemente la técnica (The Royal Society, Royal Academy of Engineering, 2012, p. 41).

La contaminación del agua superficial y subterránea en las áreas cercanas a las locaciones donde se implementa el *fracking* se relaciona con deficiencias en los trabajos de cementación o a las construcciones inadecuadas de pozos (Ingraffea, 2013, p. 5), lo que genera fugas de gas metano (CH₄) principalmente. Algunos artículos establecen una correlación entre la distancia —de una locación donde se implementa *fracking* y cuerpos de agua adyacentes— con los niveles de metano disuelto. La concentración del CH₄ encontrada en cuerpos de agua situados a distancias menores de 1 km es tal, que incluso existe el riesgo de explosión (Osborne, Vengosh, Warner, & Jackson, 2011, pp. 8172-8173).

El *wastewater* (agua residual) es un subproducto que se genera cuando el agua utilizada para la fractura y estimulación hidráulica regresa a la superficie (O'Donnell, Gilfillan, Edlmann, & McDermott, 2018, p. 329). Además, de los químicos utilizados en el fluido de fractura, este residuo contiene entre otras sustancias, materiales radioactivos de origen

natural (Naturally-Occurring Radioactive Materials [NORM]) como el Radio (Ra) y el Uranio (U).

El *fracking* también está relacionado con el excesivo uso de agua, ya que cada pozo no convencional requiere en la etapa de perforación entre 7,000 y 18,000 m³ (O'Donnell et al., 2018, p. 329), aunque existen otros autores que señalan que estas cantidades oscilan entre 10,000 y 16,000 litros de agua por minuto (Estrada, 2013, p. 24). Estas variaciones se deben a las características de los sustratos. Con respecto a la contaminación del aire, se sabe que los pozos no convencionales emiten más gases de efecto invernadero que los pozos convencionales (Howarth et al., 2011, p. 683). La mayor parte de estas emanaciones (78.8%) corresponden al CH₄ (Howarth et al., 2011, p. 683; Hultman et al., 2011, p. 4). Un gas con Potencial de Calentamiento Global (PCG) o *Global Warming Potential* (GWP) superior al CO₂ entre 1.4 y 3 veces, para un horizonte de tiempo de 20 años (Howarth et al., 2011, p. 685). La razón se debe a que el CH₄ tiene un periodo de vida atmosférico más corto que el CO₂ (Howarth et al., 2011, p. 685; Hultman et al., 2011, p. 4; Shindell et al., 2009, p. 717).

Dicha contaminación también se asocia con la volatilización de elementos químicos como el benceno (C₆H₆), el tolueno (C₆H₆CH₃) y el xileno (C₆H₆[CH₃]₂), aunque cabe aclarar que no siempre la concentración en el aire de estas sustancias supera los estándares previstos en las regulaciones de varios países (Bogacki & Macuda, 2014, pp. 899, 908). No obstante, dichos contaminantes se asocian con daños a la salud humana como cáncer (benceno), daño neurológico (tolueno); afectación al desarrollo de órganos (etilbenceno, sustancia teratogénica), daños hepáticos y riesgo cancerígeno (cloruro de metileno) (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2011).

Otros reportes señalan que los elementos radioactivos encontrados en el *wastewater* del *fracking* pueden provocar esclerosis múltiple y desórdenes neurodegenerativos (Uranio [U] y Bario [Ba]). El Radio (Ra) al degradarse a Radón (Rn) emite partículas alfa que pueden provocar muerte y mutación celular (Benavides & Diwekar, 2015, p. 3) al ser ingeridas o inhaladas. Otros estudios indican que las personas que viven en las inmediaciones de las locaciones donde se aplica la fractura hidráulica presentan problemas en las vías respiratorias, fatiga, náuseas, e incluso reacciones alérgicas en la piel (Weinberger et al., 2017, p. 114).

Finalmente, las actividades y las afectaciones asociadas a la introducción de la perforación no convencional —incluida la actividad sísmica calificada por la *Royal Society* y la *Royal Academy of Engineering* como común e inocua— provocan estrés psicológico (Fisher, Mayer, Vollet, Hill, & Haynes, 2018, p. 91) entre los vecinos de las locaciones no convencionales, quienes ven reducida su calidad de vida.

Impactos del *fracking* en ambos países

En México el *fracking* se implementó por medio de reentradas; es decir, pozos perforados desde pozos ya existentes. Dicho proceso es realizado típicamente en la etapa final de la vida productiva del pozo; consiste en la reasignación de la zona productiva del pozo a un yacimiento o formación adicional o diferente (Halliburton, 2021, p. 5). Aunque no existen datos precisos de fecha en que iniciaron estos trabajos en Burgos, se infiere que la mayoría de los pozos con doble perforación direccional, horizontal y en S son no convencionales. En Argentina, en la información disponible solo se establecen en forma explícita los pozos que son no convencionales.

El caso de la Cuenca Neuquina, Argentina ejemplifica claramente la dinámica exploración-expansión seguida convencionalmente en la implementación de la fractura hidráulica. En el caso de la Cuenca de Burgos, México la dinámica fue diferente; lo cual se explicaría por la cantidad de pozos con reentradas, en donde la implementación de este tipo de trabajos se dio en forma más intensiva que en la Cuenca Neuquina.

En México y Argentina la implementación del *fracking* incluyó prácticas que no se realizan o que incluso están prohibidas legalmente en otras regiones del mundo, como la utilización de los pozos letrina y el uso de horno de pirólisis para el tratamiento de los desechos de la industria de la fractura hidráulica. En ambos países preexiste un marcado control gubernamental en torno a la extracción y producción de hidrocarburos, lo que dificulta —aunque no imposibilita— el acceso a la información oficial gubernamental sobre la fractura hidráulica.

Además, es conveniente un mayor grado de apertura a la participación de empresas especializadas específicamente en la implementación del *fracking* que no asuman procesos de isomorfismo institucional (Cabrero Mendoza, 2000) de las entidades gubernamentales con las que interactúan, así como en el posible monitoreo de los procesos e impactos del *fracking* por parte de entidades no gubernamentales, como pueden ser consejos de vigilancia comunitarios o vecinales. Entre los impactos asociados a la fractura hidráulica encontrados en la cuenca de Burgos, México se presentó un aumento en la actividad sísmica asociada al que coincide con la temporalidad en la que arribó la técnica a la región (Llano & Kachadourian, 16 de diciembre de 2015, párr. 21).

En la cuenca Neuquina de Argentina también se ha reportado un aumento de la actividad sísmica. En particular en áreas cercanas a los campos hidrocarburíferos “Rincón del Magrullo”, “Paso de Indios” y “Fortín de Piedra”; aunque en la revisión bibliográfica no se identificó alguna referencia directa para éstos, la implementación del *fracking* se relacionaría con el aumento de eventos de sismicidad que van desde los 4.4 hasta los 5.2 grados en la escala de Mercalli (que tiene un total de 12 grados, basados en “estaciones libres”) (Vásquez, Spagnotto, Mescua, Giambiagi, & Sigismondi, 2020). Este tipo de “estaciones” principalmente ubicadas en Chile han sido cuestionadas por parte de instituciones gubernamentales argentinas por no contar con la tecnología suficiente para llevar a cabo este tipo de monitoreo. Otros artículos con mayor solvencia científica sólo señalan que la fractura hidráulica es una de las posibles causas del aumento en la actividad sísmica en “Vaca Muerta” (Correa Otto & Nacif, 22-24 de diciembre de 2017).

En relación con el impacto de la contaminación del agua, en específico el *wastewater* (Benavides & Diwekar, 2015, p. 2; Gilfillan & Haszeldine, s. f., p. 3; Green, 2017, p. 2; O’Donnell et al., 2018, p. 325; Ying, 2015, p. 2), se encontró que tanto en la Cuenca de Burgos como Neuquina el manejo y la disposición final de este subproducto no se realiza en forma adecuada al optar por prácticas menos sofisticadas e incluso prohibidas en otras regiones. En México este residuo se entierra en pozos letrina (INAI, 2015b, p. 2)¹, lo cual es una práctica prohibida en Europa. Algunos de los pozos letrina en la cuenca de Burgos se ubican en los campos hidrocarburíferos con mayor implementación del *fracking* como

¹ En 2015 Pemex Exploración y Producción dio respuesta a la solicitud de información No. 1857500061815, del año 2014, presentada al Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI). Pemex especifica el número total de pozos letrina correspondientes al Activo Integral Burgos, este tipo de pozos está asociado frecuentemente a la disposición final de agua de retorno del *fracking*. En la respuesta de Pemex Exploración y Perforación se especifica que existen 16 pozos letrina en el estado de Tamaulipas, nueve en el estado de Nuevo León y tres en el estado de Coahuila.

Culebra, Arcos, Nejo y Cuitláhuac, entre otros (INAI, 2015a). En Argentina empresas especializadas ofrecen servicios ambientales como el tratamiento de residuos petroleros (incluido el wastewater) y su disposición final; no obstante, los basureros petroleros han sido desbordados por la vertiginosa expansión de la fractura hidráulica, por lo que estas empresas queman los desechos petroleros (Acacio & Svampa, 2017, p. 9) en hornos de pirólisis; no obstante, este proceso genera gases tóxicos y residuos peligrosos (líquidos y sólidos).

Las repercusiones en la salud humana propiciadas por la fractura hidráulica se vinculan principalmente a la contaminación del agua y del aire (Currie et al., 2017, p. 1). Se ha documentado que los riesgos del *fracking* para la salud humana se encuentran estrechamente vinculados a la distancia entre las locaciones y los asentamientos humanos (Currie et al., 2017, p. 1; Fry, 2013, p. 84; Weinberger et al., 2017, p. 113).

CONCLUSIONES

Desde la expansión de la fractura hidráulica inicialmente en EE. UU. y más tarde en otros países en los años posteriores a 2008, el *fracking* ha sido una técnica controvertida y criticada por los riesgos e impactos a los que se asocia y que genera. Los principales riesgos son la sismicidad inducida, la contaminación y el despilfarro de agua, la contaminación del aire y afectaciones a la salud humana. En los casos de México y Argentina la implementación de la técnica fue impulsada principalmente por los gobiernos nacionales por medio de paraestatales y empresas del Estado, pero en ambos países se presentó la participación de la iniciativa privada. La fractura hidráulica exige el acompañamiento de altos estándares de regulación y seguridad, cuya aplicación no garantizan la cancelación de los riesgos asociados a esta técnica.

La agudización de los impactos propiciados por la implementación de la fractura hidráulica en las cuencas de Burgos y Neuquina son un ejemplo de lo que ocurre cuando una técnica que provoca graves desequilibrios ambientales se aplica sin un marco institucional-regulativo que contemple medidas preventivas, de mitigación y resarcimiento; lo anterior basado en el argumento del desarrollo económico y/o de la seguridad energética.

REFERENCIAS

- Acacio, J. A., & Svampa, F. (2017). Hidrocarburos no convencionales y *fracking*: Estado, empresas y tensiones territoriales en la Patagonia argentina. *Cuestiones de Sociología*, 17, e038. doi: 10.24215/23468904e038
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2021). *Toxic substances portal* [Portal electrónico]. Recuperado de <https://wwwn.cdc.gov/TSP/index.aspx>
- Alemán Contreras, U. A. (2017). *Cambios institucionales en sectores estratégicos como reflejo y factor de desarrollo: La Reforma Energética en México 2013* (Tesis de maestría, El Colegio de San Luis). Recuperada de <http://colsan.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1013/377>

- Benavides, P. T., & Diwekar, U. (2015). Optimal design of adsorbents for NORM removal from produced water in natural gas fracking. Part 1: Group contribution method for adsorption. *Chemical Engineering Science*, 137, 964-976. doi: 10.1016/j.ces.2015.07.012
- Bogacki, M., & Macuda, J. (2014). The influence of shale rock fracturing equipment operation on atmospheric air quality. *Archives of Mining Sciences*, 59(4), 897-912. doi: 10.2478/amsc-2014-0062
- Bonnefoy, P. (2016). Argentina: La expropiación de Repsol-YPF. *Estudios Internacionales*, 48(184), 39-73. doi: 10.5354/0719-3769.2016.42567
- Boyer, C., Clark, B., Jochen, V., Lewis, R., & Miller, C. K. (2011). Gas de lutitas: Un recurso global. *Oilfield Review*, 23(3), 28-39. Recuperado de <https://shalegasespana.files.wordpress.com/2012/10/schlumberger-gas-de-lutitas.pdf>
- Bustillos, I., Artecona, R., Makhoul, I., & Perrotti, D. E. (2015). *Energía y políticas públicas en los Estados Unidos: Una relación virtuosa para el desarrollo de fuentes no convencionales* [Documento en pdf]. Santiago, Chile: Naciones Unidas. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39172/1/S1501040_es.pdf
- Cabrero Mendoza, E. (2000). Usos y costumbres en la hechura de las políticas públicas en México. Límites de las *policy sciences* en contextos cultural y políticamente diferentes. *Gestión y Política Pública*, IX(2), 180-229. Recuperado de http://repositorio-digital.cide.edu/bitstream/handle/11651/1818/CME_Vol.9_No.II_2sem.pdf?sequence=3
- Consejo Nacional de Información de Hidrocarburos. (s. f.). Mapa de Hidrocarburos [Mapa interactivo]. Recuperado de <https://mapa.hidrocarburos.gob.mx/>
- Correa Otto, S., & Nacif, S. (22-24 de diciembre de 2017). *Sismicidad en la cuenca Neuquina, monitoreo de la actividad de fracking en la formación Vaca Muerta*. I Congreso Binacional de Investigación Científica (Argentina - Chile) - V Encuentro de Jóvenes Investigadores. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323734936_Sismicidad_en_la_cuenca_Neuquina_monitoreo_de_la_actividad_de_fracking_en_la_formacion_Vaca_Muerta
- Currie, J., Greenstone, M., & Meckel, K. (2017). Hydraulic fracturing and infant health: New evidence from Pennsylvania. *Science Advances*, 3(12). doi: 10.1126/sciadv.1603021
- eitb. (22 de octubre de 2013). *Zientziateka 2013: Julia Cuevas Urionabarrenetxea* [Video]. YouTube. Recuperado de <https://youtu.be/GE3IT99JNwk>
- Ellsworth, W. L. (2013). Injection-induced earthquakes. *Science*, 341(6142). doi: 10.1126/science.1225942
- Energy Information Administration. (24 de septiembre de 2015). *World shale resource assessments* [Artículo en página web]. Recuperado de <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>
- Estrada, J. H. (2013). *Desarrollo del gas lutita (shale gas) y su impacto en el mercado energético de México: Reflexiones para Centroamérica* [Documento en pdf]. México, D.F.: Naciones Unidas. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27184/1/M20130032_es.pdf
- Fisher, M. P., Mayer, A., Vollet, K., Hill, E. L., & Haynes, E. N. (2018). Psychosocial implications of unconventional gas development: Quality of life in Ohio's Guernsey and Noble Counties. *Journal of Environmental Psychology*, 55, 90-98. doi: 10.1016/j.jenvp.2017.12.008
- Fry, M. (2013). Urban gas drilling and distance ordinances in the Texas Barnett Shale. *Energy Policy*, 62, 79-89. doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.107
- Gilfillan, S., & Haszeldine, S. (s. f.). *Report on EU Horizon 2020 funded FracRisk fact-finding visit to Eureka Resources Standing Stone Gas Well wastewater treatment facility* [Documento inédito]. Escocia, UK: University of Edinburgh.

- Green, J. (2017). *Radiation risks and fracking waste streams* [Documento en pdf]. Recuperado de <https://frackinginquiry.nt.gov.au/?a=423147>
- Halliburton. (2021). *The leader in hydraulic workovers* [Página electrónica]. Recuperado de <https://www.halliburton.com/en/completions/well-intervention-and-diagnostics/hydraulic-workover>.
- Howarth, R., Santoro, R., & Ingraffea, A. (2011). Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Climatic Change*, 106(4), 679-690. doi: 10.1007/s10584-011-0061-5
- Hultman, N., Rebois, D., Scholten, M., & Ramig, C. (2011). The greenhouse impact of unconventional gas for electricity generation. *Environmental Research Letters*, 6(4), 049504. doi: 10.1088/1748-9326/6/4/049504
- Ingraffea, A. R. (2013). Fluid migration mechanisms due to faulty well design and/or construction: An overview and recent experiences in the Pennsylvania Marcellus play. *PSE Healthy Energy*. Recuperado de https://www.psehealthyenergy.org/wpcontent/uploads/2017/04/PSE_Cement_Failure_Causes_and_Rate_Analysis_Jan_2013_Ingraffea1-1.pdf
- Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales. (2015a). Respuesta a la solicitud de información a Pemex exploración y producción No. 1857500061815. Recuperado de <https://www.infomex.org.mx/gobiernofederal/homeOpenData>
- _____ (2015b). Respuesta a la solicitud de información a Pemex exploración y producción No. 1857500101314. Recuperado de <https://www.infomex.org.mx/gobiernofederal/homeOpenData>.
- International Energy Agency y Energy Technology Systems Analysis Programme. (2010). *Unconventional Oil & Gas Production*. Recuperado de https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/P02-Uncon_oil&gas-GS-gct.pdf
- Kaiser, K. (1969). Transnationale Politik. En E.-O. Czempiel (Ed.), *Die anachronistische Souveränität* (pp. 80-109). Alemania: Verlag für Sozialwissenschaften. doi: 10.1007/978-3-322-98779-2_3
- Llano, M., & Kachadourian, A. (16 de diciembre de 2015). Sismicidad inducida y fracking [Artículo en página web]. México: CartoCrítica. Recuperado de https://cartocritica.org.mx/2015/sismos_inducidos_fracking/
- Matesanz Caparroz, J. (2013). *Repercusiones territoriales de la fractura hidráulica o "fracking" en Cantabria, Burgos y Palencia. Los Permisos de Investigación Bezana y Bigüenzo* [Documento inédito]. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de https://eprints.ucm.es/23795/1/Fracking_pdf.pdf
- North, D. C. (1998). *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- O'Donnell, M. C., Gilfillan, S. M. V., Edlmann, K., & McDermott, C. I. (2018). Wastewater from hydraulic fracturing in the UK: Assessing the viability and cost of management. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 4(2), 325-335. doi: 10.1039/C7EW00474E
- Osborne, S. G., Vengosh, A., Warner, N. R., & Jackson, R. B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proceedings of the National Academic of Sciences*, 108(20), 8172-8176. doi: 10.1073/pnas.1100682108
- Pasquali, M. (8 de marzo de 2019). Pdvsa, un gigante del petróleo en América Latina [Artículo en página web]. Recuperado de <https://es.statista.com/grafico/17266/empresas-petroleras-nacionales-con-mayor-facturacion/>

- Porter, M. E. (1979). How competitive forces shape strategy. En D. Asch, & C. Bowman (Eds.), *Readings in Strategic Management* (pp. 133-143). LDN: Palgrave. doi: 10.1007/978-1-349-20317-8_10
- POWER. (1 de agosto de 2009). Of fracking, earthquakes, and carbon sequestration [Artículo en página web]. US: Autor Recuperado de <https://www.powermag.com/of-fracking-earthquakes-and-carbon-sequestration/>
- Rofinelli, G. (2015). La trama del fracking. Consideraciones sobre el rol de los hidrocarburos no convencionales en el marco de la crisis global, ecológica y energética. En Luis Rojas Villagra (Coord.), *Neoliberalismo en América Latina. Crisis, tendencias y alternativas* (pp. 203-22). Recuperado de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20151203044203/Neoliberalismo.pdf>
- Secretaría de Gobierno de Energía, Gobierno de Argentina. (s. f.). Datasets [Base de datos]. Recuperado de <http://datos.minem.gob.ar/dataset?groups=mapas&groups=exploracion-y-produccion-de-hidrocarburos>
- _____ (2017). *Producción de hidrocarburos yacimientos según profundidad promedio* [Base de datos]. Recuperado de <http://datos.energia.gob.ar/dataset/bd26f4e9-74cc-4444-ae6d-2dadcf491057/archivo/3f13c499-cb5a-4998-a87a-c87d8367caec>
- Shindell, D. T., Faluvegi, G., Koch, D. M., Schmidt, G. A., Unger, N., & Bauer, S. E. (2009). Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science*, 326(5953), 716-718. doi: 10.1126/science.1174760
- The Royal Society, Royal Academy of Engineering. (2012). *Shale gas extraction in the UK: A review of hydraulic fracturing* [Documento en pdf]. LDN, UK: Autores. https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/shale-gas/2012-06-28-shale-gas.pdf
- Vargas Suárez, R. (2014). *El papel de México en la integración y seguridad energética de Norteamérica*. México, D. F.: UNAM-CISAN. Recuperado de <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/1755>
- Vásquez, J., Spagnotto, S. L., Mescua, J. F., Giambiagi, L. B., & Sigismondi, M. (2020). Aumento notorio de la sismicidad de la provincia del Neuquén, período 2015-2020. *Boletín Brackebuschiano. Geociencias y Sociedad. Asociación Geológica Argentina*, 2, 9-17. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/148625/CONICET_Digital_Nro.725ea488-800e-465f-9137-318913bc9944_V.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Weinberger, B., Greiner, L. H., Walleigh, L., & Brown, D. (2017). Health symptoms in residents living near shale gas activity: A retrospective record review from the Environmental Health Project. *Preventive Medicine Reports*, 8, 112-115. doi: 10.1016/j.pmedr.2017.09.002
- Wilson, M. P., Davies, R. J., Foulger, G. R., Julian, B. R., Styles, P., Gluyas, J. G., & Almond, S. (2015). Anthropogenic earthquakes in UK: A national baseline prior to shale exploitation. *Marine and Petroleum Geology*, 68(Part A), 1-17. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2015.08.023
- Ying, L. (2015). Analyzing TENORM in hydraulic fracturing wastes. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2-1), 1-6. doi: 10.11648/j.ijema.2015030201.11
- Yacimientos Petrolíferos Fiscales. (21 de abril de 2015). YPF lanza su plan de producción nacional de arenas. Un insumo clave en la producción de hidrocarburos [Artículo en página web]. Argentina: Autor. Recuperado de: <https://www.ypf.com/YPFHoy/YPFSalaPrensa/Paginas/Noticias/YPF-lanza-su-plan-de-produccion-nacional-de-arenas.aspx>

BIBLIOGRAFÍA

- Tomé López, C. (Ed.). (22 de diciembre de 2013). *Una visión del 'fracking' desde la geología* [Archivo de video en página electrónica]. *Cuaderno de Cultura Científica*. Recuperado de <https://culturacientifica.com/2013/12/22/una-vision-del-fracking-desde-la-geologia/>



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material
La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.