

## Ensayos

# Fracking... experiencia y perspectivas mundiales

Aracely Maldonado-Torres<sup>1</sup>, Benigno Estrada-Drouaillet<sup>1</sup>, Eduardo Osorio-Hernández<sup>1</sup>, José Alberto López-Santillán<sup>1</sup>, Sandra Grisell Mora Ravelo<sup>2</sup> Angeluz Olvera-Velona<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Tamaulipas, <sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Recibido: 05-06-2016 Aceptado: 28-11-2016

### Resumen

Un tema controversial que ha ganado terreno con la reciente reforma energética es el fracking, una técnica empleada para la explotación de gas natural o gas shale almacenado en reservorios no convencionales; así como el posible impacto que puede tener en el ambiente, la salud pública y las ventajas económicas que implica su utilización sobre las técnicas convencionales utilizadas para la extracción de hidrocarburos. En este artículo se aborda la experiencia y perspectivas de los países con mayor cantidad de reservas de gas shale, identificando los casos de éxito y los problemas ambientales o sociales que presenta cada uno de ellos, concluyendo con el panorama actual de la explotación de gas natural en México.

**Palabras clave:** Extracción no convencional, gas shale, hidrocarburos, impacto ambiental.

### Abstract

*Fracking is a technique employed for the exploitation of natural gas or shale gas located in unconventional gas wells and is it gaining ground after the recent reforms of the Mexican energy sector. This technique's impact on the environment, public health, as well as the resulting economic benefits must be considered when compared with more conventional hydrocarbon extraction methods. This article discusses the experiences and perspectives of the countries with the largest shale gas reserves. The success stories as well as the environmental or social problems experienced in these territories are highlighted, concluding with the current situation of natural gas exploitation in Mexico.*

**Keywords:** Unconventional extraction, shale gas, hydrocarbons, environmental impact.

### Résumé

*Un thème controversé qui a gagné du terrain avec la récente réforme énergétique est celui de la fracturation, « fracking » en anglais, une technique utilisée pour l'exploitation du gaz naturel ou du gaz de schiste stocké dans des réservoirs peu conventionnels, ainsi que le possible impact qu'il peut avoir sur l'environnement, la santé publique et les avantages économiques que son application implique par rapport aux techniques conventionnelles utilisées pour l'extraction des hydrocarbures. Dans cet article, on aborde l'expérience et les perspectives des pays possédant une quantité plus importante de réserves de gaz schiste, en identifiant les réussites et les problèmes environnementaux ou sociaux que présente chacun d'entre eux. Finalement, en conclusion on examine le panorama actuel de l'exploitation du gaz naturel au Mexique.*

**Mots-clés:** Extraction non conventionnelle, gaz schiste, hydrocarbures, impact environnemental.

## Introducción

Fracking es el término en inglés correspondiente a la técnica conocida como fractura hidráulica, la cual se emplea para extraer hidrocarburos como petróleo y gas natural de formaciones sedimentarias conocidas como roca lutita, shale o esquisto. Estas formaciones se localizan a profundidades de entre dos y

diez kilómetros bajo la superficie terrestre, son impermeables, altamente porosas y actúan como trampas de tal forma que el hidrocarburo se mantiene aislado dentro de la formación rocosa (Moreu, 2013). La fractura hidráulica consiste en inyectar a través de pozos previamente excavados una mezcla de agua,

componentes químicos y arena a altas presiones para conseguir que las rocas se rompan o fracturen liberando así los hidrocarburos que contienen y de esta manera, mediante sistemas de bombeo se recolectan y se distribuyen según sea necesario (Figura 1).

Comúnmente, la fractura hidráulica se acompaña de la

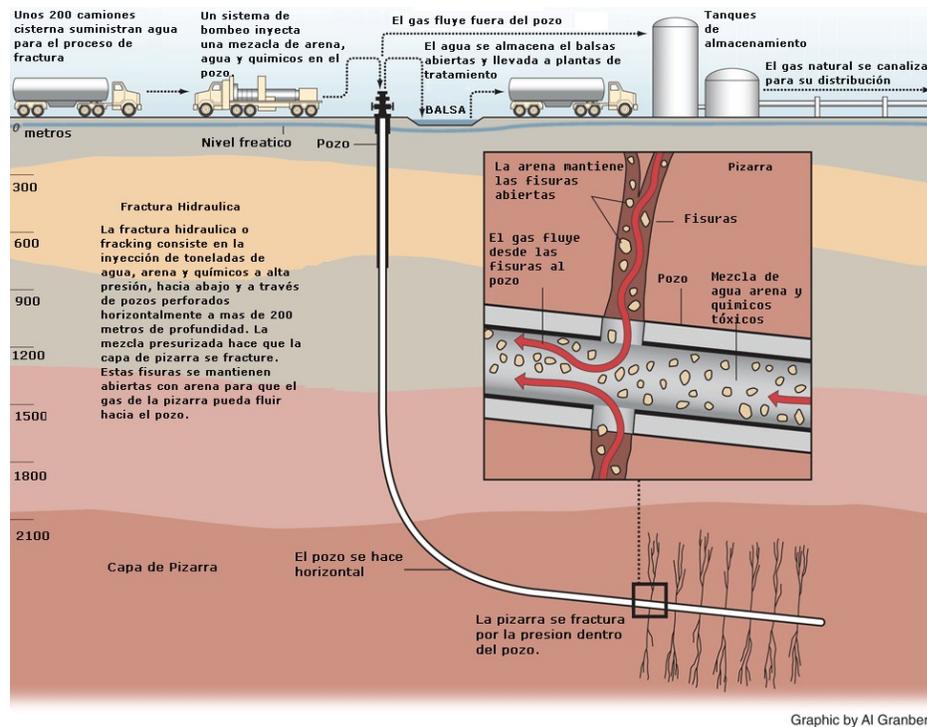


Figura 1. Proceso de fracturación hidráulica mejor conocido como "fracking" utilizado para la extracción de gas shale localizado en depósitos de roca lútica o depósitos no convencionales. Fuente: <https://www.propublica.org/special/hydraulic-fracturing-national>

perforación horizontal para conseguir potenciar la explotación y producción de estos recursos energéticos (Bjørlykke, 2010), por lo que esta técnica es más agresiva, compleja y costosa que la explotación convencional (Hart, 2013). Además, se ha documentado que por cada pozo explotado por esta técnica, se emplean aproximadamente 15,000 m<sup>3</sup> de agua de los que se recuperan solamente un aproximado de 9,495 m<sup>3</sup> (IEA, 2012; Jiang, Hendrickson, VanBriesen, 2014; Maldonado-Torres, Sánchez, Osorio-Hernández, López-Santillán, Estrada-Drouaillet, 2016); los cuales vuelven a la superficie como aguas de retorno contaminadas por diversas sustancias tóxicas como sales, metales, hidrocarburos y elementos radiactivos, entre otros, motivo por el cual a nivel mundial se les considera como residuos peligrosos (EPA, 2015; Zhang, 2016). A pesar de que en el proceso se reutiliza el agua, en algunos casos su escasez en las provincias donde se localizan las formaciones de gas shale, limitan la implementación de la técnica, al poner en riesgo el abasto de la población y ante el riesgo de contaminación de los mantos freáticos (Feng, 2015). A este respecto, se han registrado más de mil casos de contaminación del

agua en sitios cercanos a los pozos de extracción de gas shale (Food and Water Watch, 2012). Los residuos líquidos y lodos que se generan en la fracturación hidráulica se almacenan generalmente en embalses superficiales (Figura 2), hasta que son enviados a confinamiento final una opción que resulta costosa; en ocasiones estos embalses pueden desgarrarse y afectar el suelo y la vegetación de los alrededores (Brown, 2014; Moubasher, Hegazy,



Figura 2. Embalses superficiales donde se almacenan a cielo abierto los lodos residuales del proceso de fracking, representan peligro para el ambiente y la salud de los trabajadores por los elementos tóxicos que contienen.

Mohamed, Mustafá, Kabiél, Hamad, 2015). Además, estos compuestos se retienen en la cadena trófica lo cual provoca su acumulación en los ecosistemas, ocasionando graves deterioros debido a su toxicidad y a la dificultad de eliminarlos tanto del ambiente como de los organismos vivos (Baquero, Sterling, Mera, 2010; García-Torres, Ríos-Leal, Martínez-Toledo, Ramos-Morales, Cruz-Sánchez, Cuevas-Díaz, 2011). Debido a que el agua de proceso se reutiliza en lo posible, los lodos de perforación son los residuos de la fractura hidráulica que se generan en mayor cantidad y su manejo y disposición conllevan una serie de problemas graves; de acuerdo con la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), en 2015 a nivel mundial se generaron 141,584 m<sup>3</sup> de lodos de extracción de gas shale (EPA, 2015). Los cuales pueden estar contaminados por hidrocarburos, elementos potencialmente tóxicos, compuestos BTX (benceno-tolueno-xileno), compuestos orgánicos semivolátiles y material radiactivo, entre otros (Castorena-Cortés, Roldán-Castillo, Zapata-Peñasco, Reyes-Avila, Quej-Aké, Marín-Cruz, Olguín-Lora, 2009; Zagrean, 2002; EPA, 2015) y la presencia de estos contaminantes y sus concentraciones dependen en gran medida de las formaciones geológicas y los aditivos empleados en el proceso. Estos compuestos pueden modificar las características físico-químicas del suelo y agua tanto superficial como subterránea comprometiendo el desarrollo de los seres vivos. Además, la liberación por causa de fugas accidentales

de metano ocasiona la contaminación de mantos freáticos y emisiones de gases de efecto invernadero. Aunado a esto, la actividad sísmica es otro aspecto que se ha visto intensificado por la extracción de gas natural (Ellsworth, 2013; Guerrero, 2015; Hornbach, DeShon, Ellsworth, Stump, Frohlich, Oldham, Olson, Magnani, Brokaw, Luetgert, 2015), lo cual se demuestra por la aparición de microsismos cuya frecuencia ha aumentado conforme lo hace la explotación de recursos no convencionales por fractura hidráulica (Llano y Kachadourian, 2015). Si bien es posible que esta actividad sísmica, sea ocasionada por la inyección al subsuelo de las aguas residuales generadas en la fracturación y no de forma directa por este procedimiento (Ellsworth, 2013; Keranen, Savage, Abers, Cochran, 2013; Hornbach et al., 2015).

A pesar de que la técnica de fracturación hidráulica se aplica tanto en la obtención de gas como de petróleo shale, el presente ensayo se enfoca a la obtención de gas shale debido a que las reservas probadas de este recurso son mayores que las de petróleo shale; para el caso de México en la Cuenca de Burgos las reservas estimadas de gas shale son de 573 TPC, mientras que de petróleo shale solo se reportan 13,000 Barriles (EIA, 2013).

### Países con reservas de gas shale

Los países con mayores reservas de gas shale recuperables por fracking se pueden observar en la Figura 3. Dentro de los países con mayor potencial

Tabla 1. Reservas de gas shale técnicamente recuperable de los países mencionados en esta investigación. Fuente: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

| Región       | País                      | Gas Shale recuperable<br>(Trillones de m <sup>3</sup> ) |
|--------------|---------------------------|---|
| Norteamérica | Canadá                    | 16.2  |
|              | México                    | 15.43   |
|              | Estados Unidos Americanos | 17.6  |
| Australia    | Australia                 | 12.15   |
| Sudamérica   | Argentina                 | 22.6  |
| Europa       | Francia                   | 3.89  |
|              | Inglaterra                | 0.73  |
|              | Alemania                  | 0.48  |
|              | Bulgaria                  | 0.47  |
|              | Suiza                     | 0.27  |
| Asia         | China                     | 31.57   |
| Sudáfrica    | Sudáfrica                 | 11.03   |
|              | Algeria                   | 20.01   |

en reservas probadas, la posición con respecto al uso de la fractura hidráulica y sus experiencias son muy variadas, aunque una gran mayoría se postula en contra o se ha protegido mediante moratorias también se tienen registros de experiencias positivas. A continuación se presentan las situaciones ambientales y sociales prevalecientes en diferentes regiones geográficas. Las reservas de gas shale para los países mencionados se presentan en la Tabla 1.

### China: shale gas versus carbón

A nivel mundial China tiene los mayores reservorios de gas shale con un 15.5% del total mundial, lo que equivale a 31 trillones de metros cúbicos. Hasta hace pocos años, China era el mayor productor de carbón y por lo tanto, el principal país emisor de dióxido de carbono (gas causante del efecto invernadero). Sin embargo, a partir de 2007 el país dio un giro en su dependencia energética y optó por el fracking como su mejor opción; de esta forma se planea una reducción considerable de las emisiones a la atmósfera y un beneficio económico de realizarse su exportación y venta, lo que pondría al país por encima de los Estados Unidos en el mercado de gas shale. En el período 2011-2015 la tendencia en el país asiático ha sido la reducción en el consumo de carbón mineral en gran parte gracias al impulso de fuentes no convencionales (LEISA, 2016). Sin embargo, en la otra cara de la moneda, las principales reservas de gas shale para China se localizan en la provincia de Sichuan y al igual que las grandes cuencas donde se concentra el gas en ese país, esta zona es extremadamente seca y presenta un estrés en cuanto al recurso agua; el cual se necesita en grandes cantidades para aplicar el fracking. Por otra parte los estudios de impacto y regulaciones ambientales son carentes o incluso inexistentes lo que de no resolverse previo al inicio de las explotaciones a gran escala podría ocasionar un fuerte impacto ambiental sobre la potencia asiática (Mangione, 2013; Feng, 2015).

### Argentina, la esperanza de sustituir el gas natural por gas shale

Argentina es considerada la segunda potencia en cuanto a reservorios de gas shale en el mundo, se calcula que tendría una reserva de 21 miles de millones de m<sup>3</sup> (di Sbroiavacca, 2015). Sin embargo,

la explotación de este recurso se inició a partir de 2010, ya que a pesar de que se conoce la existencia de hidrocarburos no convencionales desde los años 60's, no se contaba con la tecnología para realizar su explotación (YPF, 2013; Bacchetta, 2013); se plantea que le tomará entre 5 y 10 años para lograr el abastecimiento total del país con recursos no convencionales.

Un aspecto que puede favorecer la aplicación del fracking sin ocasionar problemas ambientales son las diferencias entre la profundidad de los reservorios de gas natural y los acuíferos, por ejemplo en la provincia de Neuquén en la formación Vaca Muerta los acuíferos se encuentran a una profundidad de 300 metros mientras que los reservorios de gas shale entre 2500 y 3000 metros, a diferencia de la formación Marcellus en Pensilvania Estados Unidos, donde los acuíferos contaminados se localizan a 300 m y las reservas de gas shale a sólo 400 metros de profundidad (YPF, 2013; Pereira, Adams, Converso, Gimenez, Borgo, Castagnino, 2014). A pesar de estas ventajas naturales, en 2014 ocurrieron explosiones y fugas de gas en varios pozos de extracción (La Nación, 2014) y el impacto ambiental que ocasionan las actividades de perforación y extracción es conocido (Taillant, Valls, D'Ángelo, Headen, Roeloffs, 2013; The Pembina Institute, 2014). Sin embargo, Argentina ha decidido impulsar el desarrollo de este recurso energético debido al desarrollo económico que implica la explotación de gas shale. A partir de 2013, Argentina dio entrada a petroleras internacionales como Chevron, ExxonMobil, Shell y Total que han contribuido en la inversión para la explotación de los yacimientos de gas shale, que ha aumentado considerablemente en los últimos años, cambiando el panorama para el país que actualmente está considerando convertirse en exportador de este recurso, aumentando el PIB por encima de \$62,000 millones de dólares para 2035 (Pereira et al., 2014). De momento el país está creciendo en cuanto a la creación de empresas nuevas relacionadas con el boom del gas shale como es el caso de industrias de producción de arena de fracturación que a la larga podrían suministrar los requerimientos totales de este recurso, independizando a Argentina de las importaciones.

## África y las moratorias para la extracción de gas shale

En África la explotación de gas shale mediante fracking está actualmente detenida por los posibles efectos que puede causar sobre el ambiente y las reservas de agua que son más valiosas que el hidrocarburo obtenido. Prueba de ello es Argelia, el tercer país a nivel mundial en reservorios probados de gas shale, el país africano en lugar de iniciar a gran escala la explotación de este recurso como plantea China en su caso, ha frenado toda actividad relacionada con el fracking, cancelando los proyectos piloto al menos hasta el año 2022 (Khettab, 2015), debido a las fuertes protestas que se alzaron por la amenaza que representa aplicar el proceso en un país donde el agua es un recurso escaso, ya que los principales reservorios se ubican en pueblos dentro del desierto donde el agua es prioridad para consumo humano. Otro caso similar es el de Sudáfrica (Gall, 2015), octavo país en reservas probadas de gas natural factibles de ser explotadas mediante fractura hidráulica, en 2011 se aprobó la decisión de expandir licencias de perforación las cuales se prorrogaron unos meses después (SNMPE, 2013; Bacchetta, 2013).

## Estados Unidos principal productor e historial de contaminación ambiental

Estados Unidos es el mayor productor de hidrocarburos a nivel mundial y esto se debe a la aplicación del fracking para la obtención de gas natural, proceso que ha venido realizando desde principios de los años 50's, con lo cual se pone a la cabeza en tecnología pero también en problemas ambientales relacionados con el procedimiento, sin embargo fue hasta los años 80's en que la técnica empezó a combinarse con la fractura horizontal y fue hasta 2011 que la EPA comenzó un estudio exhaustivo sobre los efectos del proceso sin que existan al momento resultados completos sobre el tema. Dentro de los principales problemas que se reportan por el fracking, los estados de Oklahoma y Texas han registrado un aumento en la frecuencia e intensidad de los sismos (Asamblea contra la fractura hidráulica, 2011), lo cual según estudios realizados está directamente relacionado con el fracking y la mezcla de químicos que se inyecta en el subsuelo (Guerrero, 2015). Aunado a esto, en

la década de 2000-2010 se presentaron problemas por contaminación de agua tanto superficial como subterránea en los estados de Colorado, Nuevo México, Virginia Occidental y Utah, donde debido a la contaminación por metano se reportaron explosiones de pozos y viviendas habitación. Otro caso son los estados de Nueva York, Texas y Pensilvania que reportan contaminación del 85% de los pozos de agua dulce que se han evaluado al momento por metano termogénico (procedente de la explotación de gas natural), lo cual se ha derivado de las violaciones a las regulaciones ambientales existentes por parte de las empresas (Guerrero, 2015). Otro aspecto importante desde el punto de vista ambiental son las emisiones a la atmósfera ocasionadas por el proceso, como es el caso de Fort Worth en Texas donde se han detectado gases contaminantes como ozono, compuestos BTEX y sulfuros que son dañinos para la salud humana (Robles, 2014), de igual forma el mismo caso sumado a la contaminación por sustancias radiactivas se presentó en la formación Marcellus en el estado de Nueva York, donde se ha prohibido por completo el fracking para evitar un mayor desastre ambiental (YPF, 2013). Por otro lado existe un beneficio económico en la producción de gas shale que motiva continuar con el proceso de fracking, el cual permitirá al país dejar de ser el principal importador de gas natural y de igual forma disminuir la dependencia del petróleo (Rahm, 2011).

## Canadá: la convivencia positiva entre agricultura y fracking

Una de las experiencias positivas para el proceso del fracking es la de Canadá, en particular en la provincia de Alberta una de las más importantes zonas agrícolas y primer lugar en producción agrícola con alrededor del 21% de la producción anual y en donde se han explotado desde los años 50's 171 mil pozos por la técnica de fracking y donde se extrae anualmente alrededor del 71% del gas natural que se utiliza en el país. En Canadá se ha conseguido una compatibilidad entre ambas actividades mediante la creación de agencias que velan por los derechos de agricultores y público en general al favorecer la participación ciudadana en cuanto a prioridades energéticas tal es el caso de la Energy Resources Conservation Board (ERCB) y la Farmer's Advocacy Office que intercede

en las negociaciones entre agricultores y la industria; de la misma forma proyectos como el FracFocus han permitido una transparencia sobre la legislación y aditivos químicos empleados en el proceso (Shale Gas España, 2013).

Sin embargo, a pesar de las experiencias positivas en Alberta, otras provincias entre ellas Quebec suspendieron actividades presentando una moratoria en 2011 siguiendo el modelo europeo de prohibición precautoria (Bacchetta, 2013), a pesar de los beneficios económicos que representa la explotación de este recurso (Chen, Osadetz, Chen, 2015), dicha resolución se mantendrá vigente hasta tener una evaluación de los impactos ocasionados (Bacchetta, 2013).

### Australia problemas con contaminación de los ríos.

Australia se encuentra en el lugar seis en cuanto a reservorios de gas shale probados, su explotación mediante fracking data del año 2000. Gracias al descontento de la población civil en el año 2011 la provincia de Nuevo Gales del Sur presentó una moratoria para la aplicación de fracking en la extracción de gas shale de los lechos de carbón existentes misma que se encuentra vigente hasta el año 2020 (Asamblea contra la fractura hidráulica, 2011). En el plano ambiental el país se ha visto afectado por la contaminación de sus aguas superficiales (CCWAI, 2015), tal es el caso del Río Condamine ubicado en la provincia de Queensland, donde se reportan altas concentraciones de gas metano (que se fuga a la superficie durante el proceso de fracking) al grado de arder en forma literal en presencia de fuego (Elcacho, 2016), conllevando a una amenaza a la flora, fauna y a la salud humana de los pobladores. Actualmente, el país trabaja en la creación de una norma que prohíba la utilización de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno en los fluidos de perforación (Bacchetta, 2013; SNMPE, 2013).

### Francia y Europa, el principio de prohibición precautoria

Europa ha detenido el avance del fracking amparándose en el principio de la prohibición precautoria que según la Comisión Europea consiste en que “cuando hay motivos razonables para temer que efectos potencialmente peligrosos

puedan afectar al medio ambiente o a la salud humana, animal o vegetal y, sin embargo, los datos disponibles no permitan una evaluación detallada del riesgo, políticamente se ha aceptado el principio de precaución como estrategia de gestión de los riesgos en diversos ámbitos” (Asamblea contra la fractura hidráulica, 2011), por lo cual algunos países de la Unión Europea como Alemania, Francia, Inglaterra, Bulgaria y Suiza decidieron detener toda actividad del proceso hasta no tener pruebas de que es inocuo para el ambiente y la salud humana (SNMPE, 2013; Bacchetta, 2013).

En particular Francia es uno de los países que han abogado por detener la exploración mediante técnicas no convencionales y ha aportado además información contundente para detener la extracción (Guerrero, 2015), mediante un informe presentado por la Office Parlementaire d'évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques órgano del Senado y Parlamento franceses que analiza además las técnicas alternativas a la explotación por fracking que permitan eliminar o reducir el consumo de agua en el proceso, algunas de las técnicas que propone son la fractura con CO<sub>2</sub> líquido utilizada desde 1981, así como la sustitución de los fluidos de fractura por opciones más amigables con el ambiente como el gas helio, el heptafluoropropano o el uso de nitrógeno para fracturar mediante criogenia o congelamiento, sin embargo el lado negativo del asunto es el costo más elevado que representan estas técnicas (Lenoir y Bataille, 2013).

### ¿Cuál es el panorama en México?

México se encuentra en la posición 35 con respecto a las reservas probadas de gas natural con alrededor de 339,802 millones de metros cúbicos que corresponden al 0.2% de la participación mundial (PEMEX, 2013). El Petroleum Intelligence Weekly en 2013 reportó que México, representado por la paraestatal PEMEX se ubicó en el décimo séptimo lugar entre las grandes empresas productoras de gas natural en el mundo, lo que prueba la importancia de esta empresa en el contexto internacional (PIW, 2014).

Actualmente se cuenta con una ley de hidrocarburos derivada de la reforma constitucional en materia energética promulgada en diciembre de 2013 que establece que la Secretaría de Energía es la institución encargada de los permisos para las actividades de

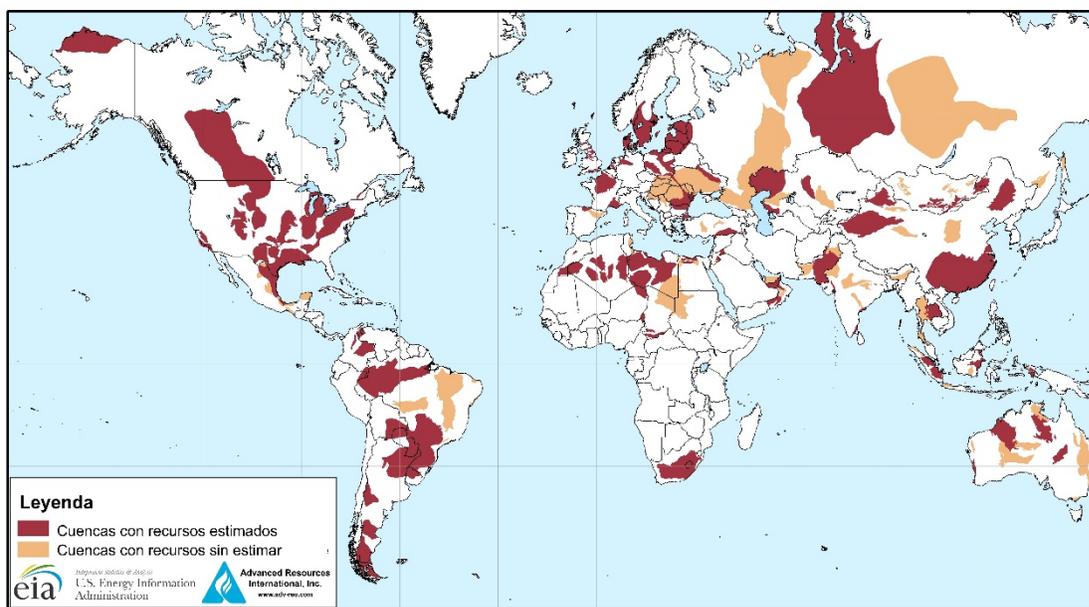


Figura 3. Principales cuencas a nivel mundial con reservas de gas shale. Fuente: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

procesamiento de gas natural, además esta reforma realiza la creación del CENAGAS (Centro Nacional de Control de Gas Natural) organismo público descentralizado encargado de administrar, coordinar y gestionar la red de ductos y almacenamiento de gas natural en el país (SENER, 2014). Es importante tener en cuenta que el fracking se realiza desde 2010, cuando se iniciaron perforaciones exploratorias; siendo en 2013 con la reforma energética, cuando se abren las puertas a empresas extranjeras para continuar la explotación mediante esta técnica. En ese momento, la publicidad en torno a la Reforma Energética aseguró una caída en los precios del gas, alentada por las inversiones y el aumento en la producción; sin embargo, las políticas a implementar eran y permanecen desconocidas. A partir de 2014 se inician las primeras licitaciones en materia de lutitas dentro de las cuencas a explotar correspondientes a la Cuenca de Burgos en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila continuación geológica de la Cuenca de Eagle Ford en Texas y la Cuenca Tampico-Misantla en Veracruz (Robles, 2014; Guerrero, 2015; de la Vega y Ramírez, 2015). Autores como De la Vega y Ramírez (2015) hacen énfasis en lo costoso que resultará para México concretar temas como los términos de los contratos, el papel y las funciones de las agencias de regulación, y el tipo y grado de

involucramiento de PEMEX en las regulaciones ambientales, y aun considerando que esto se solucione sin mayores conflictos los resultados no se verán de forma inmediata.

En el aspecto ambiental y como resultado de las reformas mencionadas, en 2015 se publicó la Guía de criterios ambientales para la exploración y extracción de hidrocarburos contenidos en lutitas, por parte de la Dirección General de Energía y Actividades Extractivas, documento en el cual se legislan los procesos de exploración, perforación, extracción y abandono de los pozos, así como la vulnerabilidad ambiental y recomendaciones para el monitoreo y distancia de los pozos a las zonas agrícolas (SEMARNAT, 2015).

### ¿Es económicamente rentable utilizar el fracking sobre las técnicas convencionales?

La fractura hidráulica es considerada por algunos autores como clave tecnológica para el desarrollo al incrementar la capacidad de extracción del gas shale, al grado de producir a nivel mundial alrededor de 206, 685 x 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup> anuales de este recurso (Chen et al., 2015; Wang, Yao, Sun, Song, 2015; Zhang et al., 2016). La Secretaría de Energía menciona en su reporte “Prospectiva del Gas Natural y Gas LP 2013-2017” que

los proyectos de extracción de gas shale son rentables cuando los precios en el mercado se mantienen entre 4 y 6 USD/MMBtu respectivamente; sin embargo, pese al panorama alentador en años recientes el precio del gas shale para Norteamérica no ha superado los 3 USD/MMBtu por lo cual no se ve ventaja alguna sobre la producción convencional de este recurso (MIT, 2011; SENER, 2014).

## Conclusiones

La obtención de gas natural mediante el proceso de fracking se plantea como una de las opciones más viables y rentables económicamente hablando, cuando los precios del recurso superan los 4 USD/MMBtu; de tal manera que la aplicación de esta técnica permite obtener una mayor independencia respecto al petróleo y aprovechar los recursos no convencionales a diferencia de la explotación convencional que sólo permite la explotación del gas asociado a las reservas de petróleo. Por otra parte, el coste ambiental y social es muy alto pues existe el riesgo de afectaciones severas tanto al ambiente como a la salud humana. En cuanto a las experiencias de otros países existen tanto positivas como negativas coincidiendo en que los mayores desastres ambientales ocurrieron debido a la violación de las reglamentaciones ambientales vigentes.

## Bibliografía

- Asamblea contra la fractura hidráulica. (2011). La extracción de gas no convencional y la fractura hidráulica: Permisos en Burgos. Asamblea contra la fractura hidráulica en Cantabria: España. Disponible en: <http://www.fracturahidraulicano.info/>
- Bacchetta, V. L. (2013). Geopolítica del fracking: impactos y riesgos ambientales. *Nueva Sociedad* Vol. 244:61–73.
- Baquero D., M. I., A. M. Sterling y A. C. Mera C. (2010). Acople fotocatalítico-biológico para el tratamiento de desechos complejométricos generados en laboratorios de análisis químico y ambiental. *Revista Lasallista de Investigación* Vol. 7(1):7–16.
- Bjørlykke, K. (2010). Unconventional hydrocarbons: oil shales, heavy oil, tar sands, shale gas and gas hydrates. En: *Petroleum Geoscience Germany: Springer*.
- Brown, V. J. (2014). Radionucléotidos en las aguas residuales de la fracturación hidráulica. Manejo de una mezcla tóxica. *Salud Pública de México* Vol. 56(4):408–415.
- Castorena-Cortés, G., T. Roldán-Carrillo, I. Zapata-Peñasco, J. Reyes-Avila, L. Quej-Aké, J. Marín-Cruz y P. Olguín-Lora. (2009). Microcosm assays and taguchi experimental design for treatment of oil sludge containing high concentration of hydrocarbons. *Bioresource Technology* Vol. 100:5671–5677.
- CCWAI- Conservation Council of Western Australia Inc. (2015). Fracking in Western Australia- the basics. Clean Water Healthy Land. Disponible en: <http://cleanwaterhealthyland.org.au/content/fracking101>.
- Chen, Z., K. G. Osadetz y X. Chen. (2015). Economic appraisal of shale gas resources, an example from the horn river shale gas play, Canada. *Petroleum Science* Vol. 12(4):712–725.
- De la Vega, N., A. y J. Ramírez V. (2015). El gas de lutitas (shale gas) en México. Recursos e Impactos. *Economía UNAM* Vol. 12 (34): 79-105
- di Sbroiavacca, N. (2015). Shale oil and shale gas en Argentina. Estado de situación y prospectiva. Cuadernos de Investigación. *Serie Economía* Vol. 5:142–168.
- Elcacho, J. (2016). Un río en llamas, ¿por culpa del fracking? La Vanguardia. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/natural/20160426/401379805143/protesta-fracking-fuego-rio-australia.html>.
- Ellsworth, W. L. (2013). Injection-Induced Earthquakes. *Science* Vol. 341:142-149.
- EPA- Environmental Protection Agency. (2015). Tenorm: Oil and gas production wastes. Disponible en: <http://www.epa.gov/radiation/tenorm-oil-and-gas-production-wastes>.
- Feng, B. (2015). China backpedals on shale gas. *Chemical and Engineering News* Vol. 93(3):22–23.
- Food and Water Watch. (2012). The new global water crisis. Disponible en: [www.foodandwaterwatch.org](http://www.foodandwaterwatch.org)
- Gall, C. (2015). Shale gas project encounters determined foes deep in Algerian Sahara. The

- New York Times. Disponible en: <http://www.nytimes.com/2011/07/27/us/energy-environment/1Bwtif2>.
- García-Torres, R., E. Ríos-Leal, Á. Martínez-Toledo, F. R. Ramos-Morales, J. S. Cruz-Sánchez, y M. C. Cuevas-Díaz. (2011). Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* Vol. 27 (1):31–39.
- Guerrero M., V. (2015). Fracking: beneficios fugaces... daños permanentes. *¿Cómoves?* Vol. 198:10-14.
- Hart P., E. W. (2013). Impacto del desarrollo del shale gas en el suministro de líquidos de gas natural y en las materias primas petroquímicas. Disponible en: <http://www.imiq.org/wp-content/uploads/2013/07/IMPACTO-DEL-SHALE-GAS.pdf>.
- Hornbach, M. J., H. R. DeShon, W. L. Ellsworth, B. W. Stump, C. Hayward, C. Frohlich, H. R. Oldham, J. E. Olson, M. B. Magnani, C. Brokaw and J. H. Luetgert. (2015). Causal factors for seismicity near Azle, Texas. *Nature Communications* Vol. 6: 1-11
- IEA-International Energy Agency. (2012). Golden rules for a golden age of gas. *World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas*. IEA. France.143 pp.
- Jiang, M., C. T. Hendrickson and J. M. VanBriesen. (2014). Technically recoverable shale oil and shale gas resources: an assessment of 137 shale formations in 41 countries outside the United States. *World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas*. IEA. U.S. 730 pp.
- Keranen, K. N., H. M. Savage, G. A. Abers and E. S. Cochran. (2013). Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence. *Geology* Vol. 41(6):699-702.
- Khettab, D. O. (2015). Algeria's opposition flares up amid fracking plans. Al Jazeera English. Disponible en: <http://www.aljazeera.com/news/middleeast/2015/algeria-opposition-flares-fracking-plans-150505114107040.html>.
- La Nación. 2014. Neuquén: fuga de gas en el área de Vaca Muerta que operan YPF y Chevron. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1723799-neuquen-fuga-de-gas-en-el-area-de-vaca-muerta-que-operan-ypf-y-chevron>
- LEISA-Revista de Agroecología. (2016). El consumo de carbón en China declina significativamente, según las cifras. LEISA Revista de Agroecología. [En línea]. Disponible en: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/lasnoticias/cambio-climatico/1317-el-consumo-de-carbon-de-china-declina-significativamente-segun-las-cifras>
- Lenoir, J. C. et C. Bataille. (2013). Rapport sur Les techniques alternatives á la fractura hydraulique pour l'exploration des hydrocarbures non conventionnels. *Office Parlement Office Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques*. France.
- Llano, M. y A. Cachadourian. (2015). Sismicidad inducida y fracking. Cartocritica. Disponible en: [http://www.cartocritica.org.mx/2015/sismos\\_inducidos\\_fracking/](http://www.cartocritica.org.mx/2015/sismos_inducidos_fracking/)
- Maldonado-Torres, A., C. Sánchez, E. Osorio-Hernández, J. A. López-Santillán y B. Estrada-Drouaillet. (2016). Biorremediación de lodos de fractura hidráulica. *Mexican Journal of Biotechnology* Vol.1 (2):29-47.
- Mangione, G. (2013). La revolución del "fracking" llega a China. China en América Latina. Disponible en: <https://chinaenamericalatina.wordpress.com/2013/03/25/la-revolucion-del-fracking-llega-a-china/>.
- MIT - Massachusetts Institute of Technology. (2011). The future of natural gas: an interdisciplinary MIT study. MIT. Disponible en: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2011/06/MITEL-The-Future-of-Natural-Gas.pdf>
- Moreu C., E. (2013). Marco jurídico de la extracción de hidrocarburos mediante fractura hidráulica (fracking). *Revista Catalana de Dret Ambiental* Vol. 3(2):1–43.
- Moubasher, H. A., Hegazy, A. K., Mohamed, N. H., Moustafa, Y. M., H. F. Kabiell, A., and Hamad., A. (2015). Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganism. *International Biodeterioration and Biodegradation* Vol. 98 (1):113–120.

- PEMEX- Petróleos Mexicanos. (2013). *Prospectiva de gas natural y gas LP 2014-2018*. México: Comisión Reguladora de Energía.
- Pereira, P., J. Adams, L. converso, A. C. Gimenez, A. L. Borgo y T. Castagnino. (2014). *Reimaginando Argentina: una mirada no convencional hacia el 2035*. Accenture. Argentina. 40 pp.
- PIW- Petroleum Intelligence Weekly. (2014). Petroleum intelligence weekly-top50. Technical report, Energy Intelligence. Disponible en: <http://www2.energyintel.com/l/19202/2014-11-18/gp3qp>.
- Rahm, D. (2011). Regulating hydraulic fracturing in shale gas plays: The case of Texas. *Energy policy* Vol. 39:2974–2981.
- Robles M., B. (2014). Impacto social y ambiental del fracking. Senado de la República, Instituto Belisario Domínguez LXII Legislatura: México.
- SEMARNAT-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Guía de criterios ambientales para la exploración y extracción de hidrocarburos contenidos en lutitas. SEMARNAT. México. 61 pp.
- SENER- Secretaría de Energía. (2014). *Prospectiva de gas natural y gas LP 2014-2028*. Anuario Estadístico Petróleos Mexicanos. México-SENER. 20 pp.
- Shale Gas España. (2013). Agricultura, fracking y el caso de Canadá. Disponible en: <http://shale-gasespana.es/shale-gas/agricultura-fracking-y-el-caso-de-canada/>.
- SNMPE- Sociedad Nacional de Minería de Perú. (2013). *Informe quincenal de la SNMPE*. SNMPE: Perú.
- Taillant, J. D., M. Valls, M. E. D´Angelo, C. Headen and A. Roeloffs (2013). Fracking Argentina: Informe técnico y legal sobre la fracturación hidráulica en Argentina. *Centro de Derechos Humanos y Ambiente y ECOJURE*. Argentina. 102 pp.
- The Pembina Institute. (2014). *Petróleo y gas no convencional en México y Argentina: dos casos*. Heinrich Böll Stiftung México, Centroamérica y el Caribe. 108 pp.
- Wang, W., J. Yao, H. Sun and W. Song. (2015). Influence of gas transportation mechanism of the productivity of multi-stage fractured horizontal wells in shale reservoirs. *Petroleum Sciences* Vol. 12(4): 664-673.
- YPF- Yacimientos Petrolíferos Fiscales. (2013). ¿Qué es shale? Disponible en: <https://www.ypf.com/EnergiaYPF/Paginas/que-es-shale.html>.
- Zagrean N., C. (2002). Oil exploration and production wastes initiative. Department of Toxic Substances Control Hazardous Waste Management Program Statewide Compliance Division. California. USA.
- Zhang, X. A. Y. Sun y I. J. Duncan. (2016). Shale gas wastewater management under uncertainty. *Journal of environmental management* Vol. 166:188–198.