

**ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE
SHALE GAS POR FRACTURACIÓN HIDRÁULICA EN EUROPA**

LEYDY JOHANNA CASTRO GÓMEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2015

**ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE
SHALE GAS POR FRACTURACIÓN HIDRÁULICA EN EUROPA**

LEYDY JOHANNA CASTRO GÓMEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ESPECIALISTA EN QUÍMICA AMBIENTAL**

DIRECTOR

**MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA,
Química PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

Para mi familia por Inspírame siempre en cada uno de los instantes de mi vida, en cada una de mis acciones.

Mi padre por ser mi director, mi luz.

Mi madre por ser mi guía y mi fuerza.

Mis hermanos por ser mi apoyo

Agradezco al Espíritu Santo por que al iniciar este objetivo para mi vida siempre me rodeo con su presencia. Mi dió el acierto para empezar, la dirección para progresar y la perfección para acabar Gracias por tu misericordia para conmigo y los míos. Un logro más que sumo a mi vida profesional para mi propia Satisfacción y orgullosa de haber pertenecido a esta institución, Alma mater UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Muchas Gracias.

Leydy Johanna Castro Gómez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. SHALE GAS, DEFINICIÓN, ORIGEN Y OTROS CONCEPTOS	16
1.1 SHALE GAS: DEFINICIÓN	17
1.2 ORIGEN DEL SHALE GAS	20
1.3 ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL SHALE GAS	22
1.3.1 En Europa	26
2. FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO	39
2.1 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE FRACTURAMIENTO	41
2.2.1 Aditivos usados para el fracking	42
3. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL USO DEL FRACKING EN EUROPA	45
3.1 AFECTACIÓN DEL AGUA	47
3.1.1 Escenarios de contaminación	49
3.1.2 Consecuencias de la contaminación	55
3.2 AFECTACIÓN DEL AIRE Y RIESGOS A LA SALUD ASOCIADOS	60
3.2.1 El Shale Gas y las emisiones de Gases de Invernadero	61
3.2.2 Otros contaminantes	67
3.3 AFECTACIÓN AL SUELO	69
4. CONCLUSIONES	76
5. RECOMENDACIONES	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura laminada característica de una <i>Shale</i> .	17
Figura 2. Presencia de rocas en la corteza terrestre.	19
Figura 3. El material orgánico se deposita junto con las "arcillas" que posteriormente se transforman en <i>shale</i> .	20
Figura 4. La estructura interna simplificada de una <i>Shale</i> versus una Arenisca muestra el porqué de la diferencia de permeabilidades.	22
Figura 5. Consumo global de gas natural en miles de millones de metros cúbicos	23
Figura 6. Mapa de 48 principales cuencas de <i>shale gas</i> en 32 países.	24
Figura 7. Dependencia europea del gas proveniente de Rusia	30
Figura 8. Extensión del yacimiento y sus puntos de producción.	35
Figura 9. Producción de un pozo de <i>Shale gas</i> por las fracturas hechas por el <i>fracking</i> .	40
Figura 10. La fractura se mantiene abierta gracias al efecto del material propante.	41
Figura 11. Componentes principales de los fluidos de fracturamiento.	43
Figura 12. Representación esquemática de infraestructuras e impactos potenciales	47
Figura 13. Escenarios de posible contaminación a mantos de agua por operaciones de fracturamiento hidráulico	51
Figura 14. Compilación de información de diversos estudios microsísmicos que indican la separación vertical de las fracturas en varios pozos horizontales de <i>shale</i> en los Estados Unidos.	53
Figura 15. Lista parcial de sustancias químicas utilizadas en los fluidos de fracturamiento hidráulico	57

Figura 16. Huella de Carbono de diversos combustibles usados para producir energía eléctrica.	64
Figura 17. Fluido de fracturamiento de retorno almacenado en una piscina de recolección puede generar escapes de metano a la atmósfera.	67
Figura 18. Localidad de Blackpool, epicentro del sismo y relación con las actividades de <i>fracking</i> cercanas.	71
Figura 19. Relación entre volúmenes de fluido de fracturamiento inyectado y magnitud de sismicidad inducida para el pozo Preese Hall en la localidad de Blackpool.	74
Figura 20. Actividad sísmica registrada desde 1990 hasta el 2013 en el área de la ciudad de Groningen	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estimación de recursos de <i>shale gas</i> posiblemente recuperables.	26
Tabla 2. Tabla de países europeos que rechazan el uso del <i>fracking</i> .	28
Tabla 3. Ranking de países según cantidad de recursos en hidrocarburo no convencional (<i>shale gas</i> y <i>shale oil</i>), expresados en Tcf. Las cifras presentadas corresponden a la media aritmética de al menos tres fuentes de información en cada caso.	31
Tabla 4. Componentes principales utilizados en la preparación del fluido de fracturamiento y su función específica.	43
Tabla 5. Emisiones de CO ₂ en diferentes combustibles.	62

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE SHALE GAS POR FRACTURACIÓN HIDRÁULICA EN EUROPA*.

AUTORES: LEYDY JOHANNA CASTRO GÓMEZ**.

PALABRAS CLAVES: Hidrocarburos no convencionales, *Shale gas*, *Fracking*, Impactos Ambientales, Contaminación, Europa.

DESCRIPCIÓN:

En este documento se plantea el desarrollo de una monografía relacionada con la identificación de los efectos ambientales causados por la explotación de los *Shale gas* en Europa.

La producción de gas natural de formaciones de esquisto y depósitos de carbón está aumentando en esta región del planeta y rápidamente se están identificando nuevos horizontes productivos. Para producir estos combustibles se utilizan típicamente tecnologías de perforación horizontal y fracturamiento hidráulico, tecnologías que han sido relacionadas en los últimos años a ciertos impactos al medio ambiente. Por este motivo la recopilación bibliográfica de estos estudios resulta ser necesaria a la hora de valorar las consecuencias ambientales producto del uso de estas tecnologías.

Por este motivo el documento recopila variedad de estudios técnico-científicos relacionados a experiencias ocurridas en países Europeos respecto a la explotación de pozos de *shale gas* mediante el uso de tecnologías como el fracturamiento hidráulico. De la misma manera recopila y organiza los impactos asociados respecto a tres variables fundamentales como son el impacto al agua, al suelo y al aire, observando antecedentes presentes en Europa a través de los años y recopilando información de los estudios realizados en estos países. De la misma manera recopila y organiza los impactos asociados respecto a tres variables fundamentales como son el impacto al agua, al suelo y al aire, observando antecedentes presentes en Europa a través de los años y recopilando información de los estudios realizados en estos países.

* Monografía

** Facultad de Ciencias Básicas. Escuela de Química, Especialización. en Química Ambiental
Director Marianny Yajaira Combariza, PhD

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS RELATED TO SHALE GAS PRODUCTION AND HYDRAULIC FRACTURING IN EUROPE*.

AUTHORS: LEYDY JOHANNA CASTRO GÓMEZ**.

KEY WORDS: Unconventional Hydrocarbons, Shale gas, Hydraulic Fracturing, Fracking, Environmental Risks, Europe.

DESCRIPTION:

This document describes the development of a paper related to the identification of environmental effects caused by the exploitation of Shale gas in Europe arises.

Production of natural gas from shale formations and coal deposits is increasing in this region of the planet and are rapidly identifying new productive horizons. To produce these fuels, horizontal drilling and hydraulic fracturing technologies are typically implemented, technologies that have been linked in recent years to certain impacts to the environment. For this reason an organized research of these studies becomes necessary when assessing the environmental consequences resulting from the use of these technologies.

For this reason the document collects several technical and scientific studies and papers related to experiences occurring in European countries due to the exploitation of shale gas wells using hydraulic fracturing technologies. In addition associated impacts on three fundamental variables such as the impact on water, soil and air are recollected watching history present in Europe through the years and gathering information from recent studies in these countries In addition associated impacts on three fundamental variables such as the impact on water, soil and air are recollected watching history present in Europe through the years and gathering information from recent studies in these countries

* Monograph.

** Basic Sciences Faculty, Chemistry School, Especialization Environmental Director Marianny Yajaira Combariza, PhD

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la estructura productiva mundial se basa en el consumo de recursos energéticos. El acceso a nuevas fuentes energéticas es por lo tanto un tema fundamental para asegurar el crecimiento y desarrollo de la economía de un país. Una de estas fuentes no convencionales se conoce como el *Shale gas*, un tipo de gas natural el cual se encuentra atrapado en rocas de origen arcilloso de muy baja permeabilidad conocidas como esquisto o lutitas. Este gas es de difícil extracción debido a la baja permeabilidad de las rocas almacenadoras.

Las operaciones de explotación de este tipo de gas natural no convencional se hacen por medio de la fracturación hidráulica que consiste romper la roca para generar fracturas que permitan al gas fluir hacia cara de pozo por diferencia de presión. Para esto se utilizan fluidos hidráulicos con diversos componentes químicos que son inyectados a profundidad para romper la zona de interés y generar las mencionadas fracturas.

La extracción de este recurso hidrocarburo promete ser una buena opción como suministro de energía pues la constante disminución de las reservas de gas natural convencional y la gran cantidad de contaminantes que produce la quema de combustibles fósiles líquidos lo posicionan al *shale gas* como una alternativa hacia una fuente de energía más limpia y con gran potencial de explotación. Sin embargo es necesario analizar a fondo el proceso que involucra la extracción. El uso del *fracking* ha sido asociado en los últimos años con grandes impactos al medio ambiente que involucran afectaciones a recursos naturales e incluso impactos a la salud pública.

Para la implementación de un proyecto éstos, es necesario utilizar grandes cantidades de agua que deja de usarse para procesos agrícolas y para consumo humano, lo que puede agudizar los problemas de escasez especialmente en zonas donde este recurso es crítico. A su vez ciertos impactos al aire, agua y suelos han sido asociados al uso de esta tecnología.

El *fracking* es un proceso que rompe formaciones del subsuelo con el fin de generar fracturas, por lo que ciertos mantos de agua subterránea pueden verse afectados por la inyección de los químicos presentes en los fluidos de fracturamiento contaminando de manera significativa los recursos de agua subterránea en incluso de superficie. De la misma manera la calidad del aire y las condiciones climáticas se ven afectadas por la constante emisión de gases de invernadero que se expulsan durante estos procesos industriales, como óxidos de carbono y nitrógeno que son residuos de la combustión de bombas y equipos utilizados. De la misma manera, la emisión de gases como el Metano (CH₄) contribuye de gran manera al incremento de los gases de invernadero presentes en la atmósfera contribuyendo de esta manera al aumento del calentamiento global. Estos y otras consecuencias son causales de grandes preocupaciones en la comunidad internacional que debate constantemente la viabilidad de tecnologías como el *fracking* para extracción de hidrocarburos no convencionales. . El principal motivo de alarma es el manejo ambiental que se ha dado en los países donde abiertamente se utiliza la tecnología. En muchas ocasiones los impactos ambientales anteriormente descritos no son adecuadamente controlados y en muchos casos se desconocen incluso las estrategias de identificación. Igualmente las sustancias utilizadas no son debidamente estudiadas según su nivel de toxicidad, por lo que representan un gran peligro para el ecosistema y a las comunidades cercanas.

Por este motivo este documento se propone a realizar una recopilación bibliográfica de los impactos ambientales anteriormente descritos presentes en los

principales países de Europa donde el recurso del *shale gas* ha sido explotado, enfocándose específicamente en los puntos más críticos como son la afectación al agua, al aire y al suelo. El primer capítulo presenta una serie de definiciones y antecedentes con el fin de centrar al lector para los posteriores temas a tratar. El capítulo dos se dedica a explicar la naturaleza del fracturamiento hidráulico para dar un mejor entendimiento de la tecnología y de todos los procesos presentes en ésta. Finalmente el tercer capítulo recopila la información de los impactos ambientales organizándolos en los puntos críticos anteriormente definidos llevándolos al contexto de los países europeos que explotan *shale gas*.

1. SHALE GAS, DEFINICIÓN, ORIGEN Y OTROS CONCEPTOS

Usualmente cuando se habla del término gas natural se hace referencia a hidrocarburos obtenidos de formaciones geológicas de orden petrolífero, razón por la cual suele relacionarse a yacimientos con presencia de hidrocarburos líquidos o petróleo como componente principal, sin embargo es bastante común encontrar yacimientos con presencia solamente de este combustible gaseoso. Si bien el gas natural ha estado tan presente en la historia y desarrollo del subsuelo terrestre como el petróleo mismo, hoy más que nunca su importancia para el futuro energético del planeta ha crecido como difícilmente se pensó alguna vez que podría ocurrir.

El gas natural comúnmente es dividido en dos categorías según su facilidad de extracción: Convencional y No Convencional. El gas de tipo convencional es aquel encontrado en formaciones con permeabilidades mayores a 1 miliDarcy ($> 1 \text{ mD}$) donde el hidrocarburo puede moverse fácilmente a través del medio poroso y ser extraído de manera tradicional, motivo por el cual es ampliamente producido alrededor del mundo por su relativa facilidad de extracción. Por el otro lado el gas de tipo no convencional suele encontrarse en formaciones de baja permeabilidad ($< 1 \text{ mD}$) lo cual atrapa al gas y complica su extracción del subsuelo¹, y es en esta categoría donde el *shale gas* se encuentra.

Debe entenderse por lo descrito anteriormente que como gas de tipo convencional representa un recurso de fácil extracción y tecnológicamente económico, éste ha sido explotado de manera copiosa lo que significa que sus reservas a nivel mundial han ido decreciendo a gran velocidad conforme a las demandas

¹ SPEIGHT, J.G. "Natural Gas: A Basic Handbook". GPC Books, Gulf Publishing Company. Houston, Texas, 2007.

energéticas actuales. Es por esta razón que el gas de tipo no convencional como el *Shale Gas* ha ido tomando gran importancia y los avances tecnológicos han permitido que los países puedan apostar a este recurso como una posibilidad real y latente suplir sus demandas energéticas o bien sea de aumentar sus reservas de gas con respecto a otras épocas donde explotar estos hidrocarburos resultaba tecnológica y económicamente inviable.

1.1 **SHALE GAS: DEFINICIÓN**

Antes de entrar dar alguna definición al respecto, es necesario hacer hincapié en el término “*shale*”. *Shale* (esquisto o lutita en español) es el nombre que se le da en inglés al tipo de roca de origen sedimentario el cual se forma por la deposición de pequeñas partículas, muy finas, las cuales se acumulan durante millones de años en forma de finas capas o láminas que finalmente dan las características tan específicas de este tipo de roca como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Estructura laminada característica de una *Shale*.



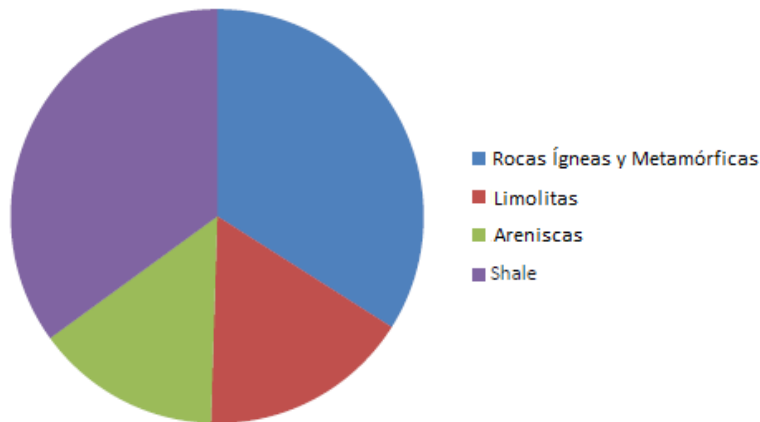
Fuente: Tomado de STEPHENSON, Michael. “Shale gas and Fracking”. Estados Unidos, 2015.

Dicho de otra manera, durante el proceso de transporte de sedimentos, los fragmentos minerales tienden a degradarse en el camino, usualmente transformándose en minerales arcillosos (de grosor muy fino). Estos depósitos de arcilla resultan ser bastante estables lo que significa que pueden ser depositados a grandes profundidades y presiones sin degradarse aún más, lo que favorece que grandes pilas de nuevos sedimentos arcillosos se amontonen formando lentamente la estructura de la *shale* o esquisto.

Este fenómeno de depositación ocurre principalmente en ambientes continentales como canales fluviales, lagos o ambientes marinos donde las corrientes arrastran las partículas y las depositan unas sobre otras en lugares de relativa pasividad y quietud lo que favorece que nuevas capas de sedimentos entierren a las anteriores formando de esta manera el cuerpo de la roca. Al ser este proceso de depositación un fenómeno bastante común en la naturaleza, por la cantidad de ambientes propicios, no es de extrañarse que este tipo de rocas (como las *shales*) estén frecuentemente presentes en la litología del planeta, de hecho se estima que el 35% de las rocas presentes en el planeta son de tipo *shale*² (ver Figura 2), siendo común encontrar gran cantidad de este tipo de rocas en operaciones de perforación, en mayor proporción y volumen que las bien conocidas “arenas”, almacenadoras del hidrocarburo, petróleo o gas, denominado convencional.

² STEPHENSON, Michael. “Shale gas and Fracking”. Estados Unidos, 2015.

Figura 2. Presencia de rocas en la corteza terrestre.



Fuente: Tomado y editado de STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

Si bien tanto en la geología del petróleo convencional como en la ingeniería de yacimientos, las *shales* (también llamadas esquistos) solían ser definidas tan sólo como trampas o barreras de flujo para el petróleo y el gas, los últimos tiempos han hecho que el enfoque haya cambiado y estas rocas sean analizadas de manera distinta como una posibilidad concreta de fuente de hidrocarburos.

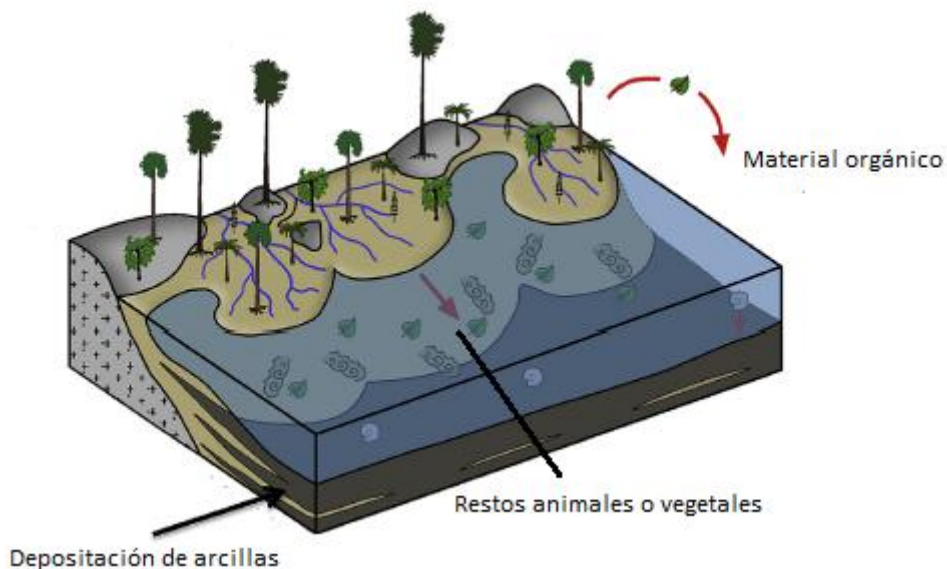
Dicho esto, la definición de *shale gas* resulta bastante más cómoda para el lector, al entenderse que es el gas, compuesto principalmente por metano (60 – 95% v/v), presente en este tipo de rocas que actúan como fuente generadora y almacenadora al mismo tiempo debido a su baja permeabilidad³. Usualmente son formaciones de gas seco aunque en algunos casos puedan encontrarse formaciones de gas húmedo (gas y petróleo o gas y agua).

³ SPEIGHT, James, PhD. "Shale Gas Production Processes". Oxford, Estados Unidos, 2013.

1.2 ORIGEN DEL *SHALE GAS*

Durante el proceso de sedimentación es común que se acumulen grandes cantidades de restos de materia orgánica: hojas de árboles, arbustos, hongos, algas, insectos e incluso restos de animales marinos según el ambiente de depositación. Esta materia orgánica se deposita y se mezcla junto con los sedimentos y minerales arcillosos que forman en su totalidad la estructura de la roca. Esta mezcla resultante se convierte en elemento crucial para la generación de hidrocarburos, en este caso gas natural. En la Figura 3 puede observarse gráficamente lo anteriormente descrito.

Figura 3. El material orgánico se deposita junto con las "arcillas" que posteriormente se transforman en *shale*.



Fuente: Tomado y editado de STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

Dicho de otra manera, cantidades de materia orgánica son arrastradas a través de corrientes y se depositan junto con las arcillas que formarán la roca. En un proceso de miles de años en que los sedimentos son enterrados bajo otros, la

materia orgánica contenida allí se enfrentará a condiciones de grandes presiones y temperaturas lo cual la “cocinará” hasta convertirse en kerógeno que posteriormente se transformará en hidrocarburo, gas natural en este caso⁴.

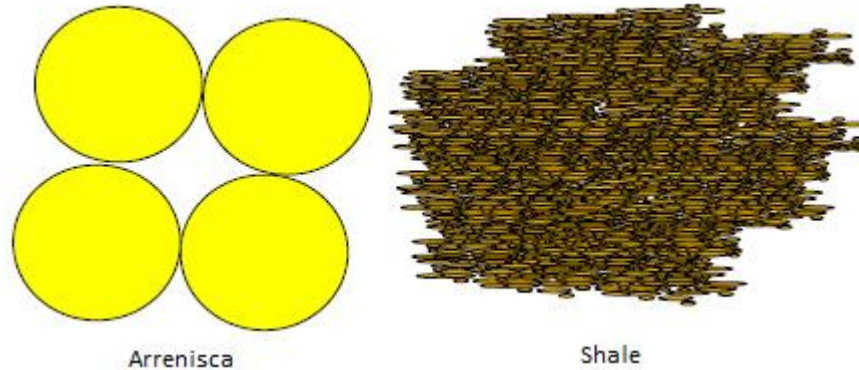
Sin embargo para que dicho material orgánico pueda transformarse en petróleo o gas hace falta que el ambiente proporcione bajas concentraciones de oxígeno que eviten la degradación del carbón orgánico, y en este tipo de rocas dichas condiciones anaeróbicas ocurren principalmente por dos motivos. En primer lugar porque los ambientes de depositación se presentan en zonas profundas y de bajas corrientes como son los fondos de ríos, lagos y océanos donde hay menores concentraciones de oxígeno. También hay que resaltar que los minerales arcillosos al ser tan finos y compactos evitan un flujo adecuado de oxígeno hacia el interior del sistema lo que ha hecho que a la *shale* se le denomine geológicamente como la roca generadora de hidrocarburos por excelencia⁵.

No obstante, aquella característica de la arcilla de ser tan fina que permite aislar al sistema de fuentes de oxígeno es también la característica que le da al *shale gas* su rótulo de No Convencional. ¿Y por qué ocurre esto? Bien, la arcilla al ser de carácter fino y delgado provee a la roca de una permeabilidad tan baja que evita que el gas pueda fluir y salir a través de esta, lo que dificulta su extracción por los medios convencionales, a diferencia de otras rocas como las areniscas de gran permeabilidad que almacenan a los hidrocarburos convencionales (ver Figura 4).

⁴ GIL ROMERO, Lina María. “Estudio de Factibilidad para el Desarrollo del Gas Shale como Fuente de Hidrocarburos No Convencionales en Colombia”. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013.

⁵ STEPHENSON, Michael. “Shale gas and Fracking”. Estados Unidos, 2015.

Figura 4. La estructura interna simplificada de una Shale versus una Arenisca muestra el porqué de la diferencia de permeabilidades.



Fuente: Tomado y editado de STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

De esta manera cuando el hidrocarburo no puede ser liberado por medios naturales (fallas o fracturas naturales) y migrar hacia una arenisca, el hidrocarburo queda atrapado y debe ser extraído por otros medios.

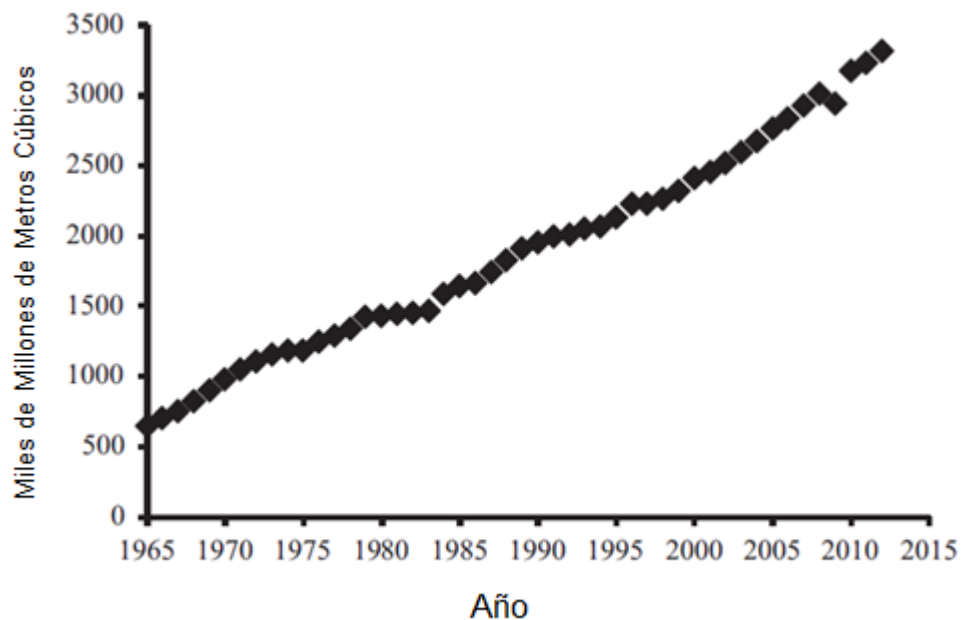
1.3 ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL *SHALE GAS*

A diferencia de lo que pueda creerse, el *shale gas* ha sido una fuente de hidrocarburo no convencional bien conocida desde los inicios de la industria petrolera la cual, debido a la gran cantidad de yacimientos de hidrocarburos convencionales, había sido relegada debido a su dificultad y altos costos de extracción. Hoy día sin embargo el panorama mundial hacia el gas de *shales* ha cambiado totalmente llegando a plantearse muchas veces como la solución a la problemática de abastecimiento energético mundial. Los hechos y procesos energéticos se han acelerado, en gran parte como resultado de innovaciones y avances tecnológicos que permiten lo que hace varios años era imposible: extraer el *shale gas* bajo métodos eficaces y relativamente económicos. El efecto es tal

que países de América del Norte (Estados Unidos principalmente) podrían pasar de un déficit estructural a una probable autosuficiencia cambiando de esta manera drásticamente el panorama de la política petrolera mundial.

El gas natural representa hoy una alternativa en el mercado energético global mucho más fuerte que décadas atrás, en donde se solía depender en grandes proporciones del petróleo líquido. El gas natural al ser un combustible versátil en generación de electricidad, calefacción y transporte, y su reconocimiento como una energía “más limpia” han ido equiparando la balanza con respecto al uso de combustibles fósiles, como puede observarse en la Figura 5.

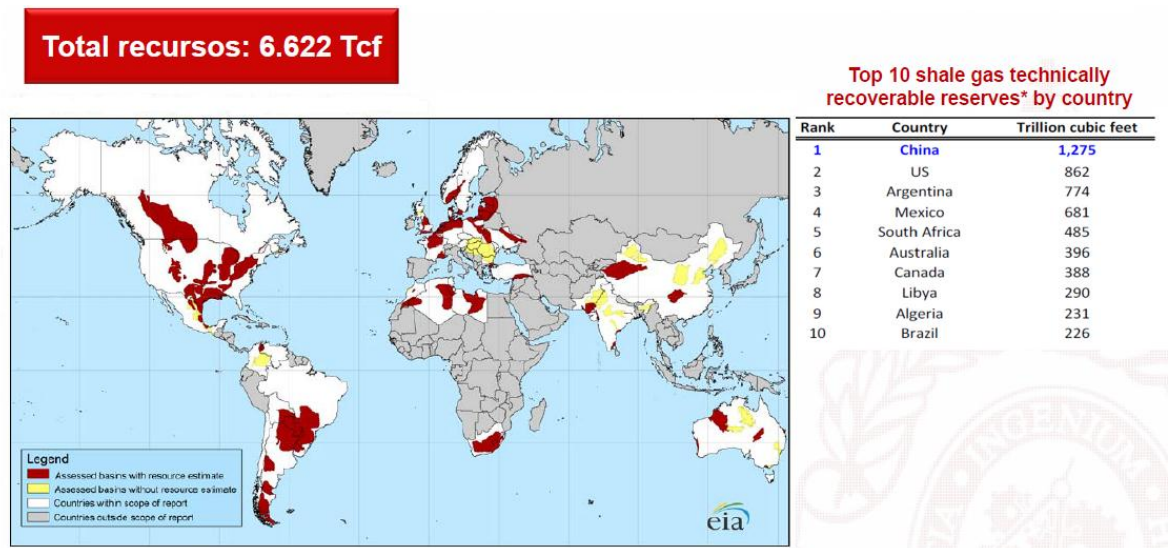
Figura 5. Consumo global de gas natural en miles de millones de metros cúbicos



Fuente: Tomado y editado de MELIKOGLU, Mehmet. “Shale Gas: Analysis of its Role in the Global Energy Market. Gebze Institute of Technology. Gebze, Trukey, 2014.

De esta manera el *shale gas* toma repentinamente un papel importante en el marco energético mundial, pues existen en la actualidad gran cantidad de cuencas sin explotar. El Energy Information Administration (EIA), evaluó 48 cuencas de *shale gas* en 32 países que contenían alrededor de 70 formaciones de *shale* como se observa en la Figura 6. Los recursos posiblemente disponibles de *shale gas* en las cuencas de estos países se estimaron en 6.622 Tcf (Terapiés cúbicos). Por otro lado, los estimados actuales de recursos técnicamente recuperables de gas natural convencional total en el mundo son aproximadamente 16.000 Tcf. Así las cosas, es correcto afirmar que las reservas mundiales de gas natural (convencional más *shale gas*) alcanzarían una cifra aproximada de 22.000 Tcf, lo que implica un aumento en el volumen correspondiente a un 40% adicional de reservas de gas natural en el mundo⁶.

Figura 6. Mapa de 48 principales cuencas de *shale gas* en 32 países.



Fuente: Tomado de EIA, World Shale Gas Resources: Technically Recoverable Reserves. Estados Unidos. Abril 5, 2011

⁶ GIL ROMERO, Lina María. “Estudio de Factibilidad para el Desarrollo del Gas Shale como Fuente de Hidrocarburos No Convencionales en Colombia”. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013.

De esta manera los dos grupos de países que encontrarían gran atractivo el desarrollo de la industria de los hidrocarburos no convencionales, son⁶:

- Los países que dependen ampliamente de las importaciones de gas natural pero que poseen recursos significativos de *shale gas* que podrían ayudar a suplir dicha demanda: Francia, Polonia, Turquía, Ucrania, Sudáfrica, Marruecos y Chile.
- Los países que ya producen montos sustanciales de gas natural y que, además poseen grandes recursos de *shale gas*: Estados Unidos, China, Canadá, Argentina, Sudáfrica, Australia, México y Brasil.

La siguiente tabla muestra en mejor medida lo descrito anteriormente;

Tabla 1. Estimación de recursos de *shale gas* posiblemente recuperables.

	PRODUCCIÓN	CONSUMO	IMPOR/EXPOR	GAS NATURAL RESERV PROB TPC	RECURSOS SHALE GAS TECNICAMENTE RECUPERABLES
EUROPA	10.75	14.62	(14.46)	186.21	639.00
FRANCIA	0.03	1.73	98%	0.20	180
ALEMANIA	0.51	3.27	84%	6.20	8
PAISES B	2.76	1.72	-62%	49.00	17
NORUEGA	3.65	0.16	-2156%	72.00	83
UK	2.09	3.11	33%	9.00	20
DINAMARCA	0.30	0.16	91%	2.10	23
SUECIA		0.04	100%		41
POLONIA	0.21	0.58	64%	5.80	187
TURQUIA	0.00	1.24	98%	0.20	15
UCRANIA	0.72	1.56	54%	39.00	42
LITUANIA		0.1	100%		4
OTROS	0.48	0.95	50%	2.71	19
NORTE AMERICA	28.00	27.96	-59%	346.50	1,931.00
USA	20.60	22.8	10%	272.50	862
CANADA	5.63	3.01	-87%	62.00	388
MEXICO	1.77	2.15	18%	12.00	681
ASIA	5.72	6.31	29%	174.60	1,389.00
CHINA	2.93	3.08	5%	107.00	1275
INDIA	1.43	1.87	24%	37.90	63
PAKISTAN	1.36	1.36		29.70	51
AUSTRALIA	1.67	1.09	-52%	110.00	396
AFRICA	3.64	1.61	-169%	217.10	1,042.00
SUR AFRICA	0.07	0.19	63%		485
LIBIA	0.56	0.21	-165%	54.70	290
TUNISIA	0.13	0.17	26%	2.30	18
ALGERIA	2.88	1.02	-183%	159.00	231
MARUECOS	-	0.02	90%	0.10	11
SAHARA					7
MAURITANIA				1.00	0
SUR AMERICA	3.34	3.4	-157%	239.20	1225
VENEZUELA	0.65	0.71	9%	178.90	11
COLOMBIA	0.37	0.31	-21%	4.00	19
ARGENTINA	1.46	1.52	4%	13.40	774
BRASIL	0.36	0.66	45%	12.90	226
CHILE	0.05	0.1	52%	3.50	64
URUGUAY		0	100%		21
PARAGUAY					62
BOLIVIA	0.45	0.1	-346%	26.50	48
TOTAL	53.12	54.99	-3%	1,273.61	6,622.00
TOTAL WORLD	106.50	106.70	0%	6.609	

Fuente: EIA worldshalegas [en línea] disponible en: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

1.3.1 En Europa Europa contiene aproximadamente el 5% de las reservas de gas natural convencional, según la última publicación de la International Energy Agency (IEA) en 2014. El IEA también predice una disminución anual promedio del 1% del gas natural en Europa entre 2012 y 2040, haciendo que aumente la dependencia de los recursos importados. Esta tendencia proyectada es soportada por estadísticas de producción recientemente publicadas por compañías de

petróleo y gas en el viejo continente⁷. Sumado esto a la creciente demanda de consumo energético, hace que crezca la preocupación por la capacidad de suministro. Debido a esto el interés por los recursos energéticos no convencionales, especialmente el *shale gas*, ha crecido en los últimos años.

Como se mencionó anteriormente, la producción de *shale gas* en los Estados Unidos creció de manera significativa en los últimos años, ocupando este recurso alrededor del 30% de las reservas totales de gas natural del país, por lo que se ha convertido en un elemento de vital importancia para el abastecimiento energético de la nación. Dicho esto, y aunque en Europa no haya ningún país entre los 10 con mayores recursos de *shale gas* posiblemente recuperables en el mundo, este recurso puede de todas maneras jugar un rol importante en el abastecimiento de la demanda de gas natural, y aunque en algunos países se ha tratado de replicar el éxito económico del *shale* en los Estados Unidos, la situación en Europa es algo más complicada. Actualmente el fracturamiento hidráulico ha sido prohibido en Francia, Bulgaria y República Checa debido a grandes preocupaciones por los impactos ambientales asociados. Además de esto países como Alemania, Holanda, Dinamarca y algunos estados de Suiza han establecido moratorias de facto para la implementación del *fracking* como tecnología de extracción por el *shale gas*.

Como los recursos de Francia, Escandinavia y otros países del oeste de Europa se encuentran cerca de zonas pobladas, han impartido leyes ambientales en busca de disminuir los efectos ocasionados por las técnicas de fracturamiento. Desde el año 2011, Francia fue el primer país europeo en prohibir a nivel nacional el fracturamiento hidráulico, incluyendo su uso para fines investigativos. En enero de 2012, Bulgaria también promulgó una prohibición nacional sobre la práctica, y en el proceso revocó un acuerdo con Chevron que habría permitido la exploración de

⁷ BARANZELLI, Claudia. VANDECASTEELE, Ine, et al. "Scenarios for Shale Gas Development and Their Related Land Use Impacts in the Baltic Basin, Northern Poland". Bruselas, Bélgica, 2015.

gas de *shale* en el país. A continuación se presenta el resumen de los principales países europeos que de alguna u otra manera rechazan el uso del fracturamiento hidráulico para extracción de *shale gas*.

Tabla 2. Tabla de países europeos que rechazan el uso del *fracking*.

País	Descripción	Motivo de la Prohibición	Año
Francia	Prohibición total del uso del <i>fracking</i> en el territorio nacional	Parlamento Francés argumenta que hoy día no existe la certeza de poder usar el <i>fracking</i> bajo condiciones ambientalmente sostenibles ^{8 9}	2011
Bulgaria	Prohibición/Moratoria de Facto	Bulgaria está en vigor de una moratoria de facto hacia el uso de <i>fracking</i> , por lo que únicamente se ha perforado un pozo de exploración de <i>shale gas</i> la fecha ¹⁰ .	2012
República Checa	Moratoria de Facto	A lo largo del 2012 se aprobaron moratorias de facto al uso del <i>fracking</i> , hasta que los impactos se hayan estudiado en profundidad y se evalúen los riesgos	2012
Alemania	Moratoria de Facto	Alemania mantiene actualmente una moratoria de facto al uso del <i>fracking</i> como tecnología para extracción de <i>Shale Gas</i> la cual se encuentra aún en revisión. La Agencia Federal del Medio Ambiente del País declara que mientras los riesgos críticos asociados al <i>fracking</i> no puedan ser predichos y controlados, la	2013

⁸ FINKEL, M.L. HAYS, J. "The Implications of Unconventional Drilling for Natural Gas: A Global Public Health Concern. Public Health Journey. New York, USA. 2012

⁹ Consejo Superior de Colegios de Ingeniera de Minas. "Gas No Convencional en España, Una Oportunidad de Futuro". Facultad de Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Hidrogeología, Geología del Petróleo y Estratigrafía, Universidad de Oviedo. España, 2014

¹⁰ ABELLÁN, Antonio Jódar. "Recursos No Convencionales Susceptibles de ser Explotados Mediante Fracking". Trabajo de grado, Universidad de Murcia. España, 2014

País	Descripción	Motivo de la Prohibición	Año
Holanda		extracción de <i>shale gas</i> no debe ser permitida ^{11 12}	
	Moratoria de Facto	En 2013 una moratoria de facto fue establecida y se encuentra pendiente de investigaciones futuras ¹³	2013
Dinamarca	Moratoria de Facto	Dinamarca implementó una moratoria de facto ¹⁰ que actualmente (2015) está siendo revaluada y es posible que se levante.	2012

Por otro lado, la exploración en Reino Unido de *shale gas* realizada en el acuífero de Blackpool en Lancashire fue suspendido debido a la preocupación por el posible aumento de la actividad sísmica, aún, cuando la “revolución de *shale gas*” permitiría autosuficiencia al país y la notable reducción de la dependencia del gas natural importado. Esto, según un informe publicado en 2011 por el *Global Energy Institute (KPMG)* sobre la perspectiva global de *shale gas*¹⁴.

No obstante, la Comisión Europea está trabajando para realizar un marco legislativo comunitario pero estas mencionan recomendaciones sobre la extracción de gas esquisto. Son los países de la Unión Europea junto con el Parlamento Europeo los que tienen la tarea de decidir si en sus territorios permiten la extracción de gas no convencional por medio del *fracking*.

- **Europa del Este:** el desarrollo potencial de *shale gas* en esta zona de Europa se presenta principalmente en Polonia, mientras que Turquía y Ucrania tienen

¹¹ HAYS, Jake. FINKEL, Madelon. DEPLEDGE, Michael et al. “Considerations for the Development of Shale Gas in the United Kingdom”. Reino Unido, 2015

¹² HOLAHAN, Robert. “An Institutional Theory of Hydraulic Fracturing Policy”. *Economical Economics Journey*. USA, 2013.

¹³ BARANZELLI, Claudia. VANDECASTEELE, Ine, et al. “Scenarios for Shale Gas Development and Their Related Land Use Impacts in the Baltic Basin, Northern Poland”. Bruselas, Bélgica, 2015.

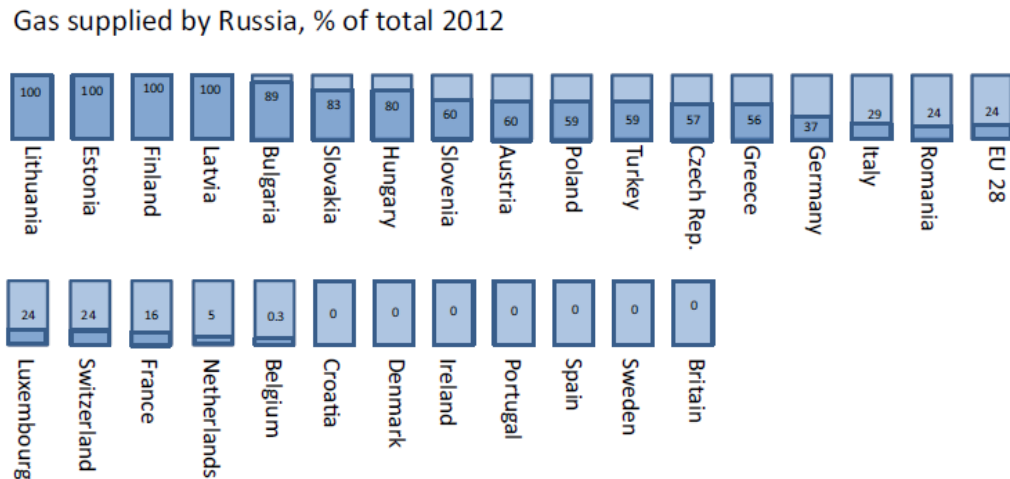
¹⁴ KPMG International. *Shale Gas – A Global Perspective*. Diciembre de 2011.

cierto potencial. Por otro lado, Rusia quien ha sido el país dominante en la explotación de gas convencional, actualmente presenta grandes obstáculos a partir extracción de gas por medio de *fracking* liderada por USA. A continuación se amplía la información de los países cuyos recursos y actividad de extracción de *shale gas* son las más notorias en Europa del Este.

RUSIA

Rusia ha sido tradicionalmente el mayor productor de gas natural convencional del mundo, y uno de los países con mayor cantidad en reservas del mismo, tanto así que Europa obtiene el 24% de su gas natural exportado desde allí como se muestra en la **Figura 7**.

Figura 7. Dependencia europea del gas proveniente de Rusia



Fuente: Eurogas and the Economist.

No obstante, a partir del 2009 los Estados Unidos han conseguido superar a Rusia en la primacía de dicho recurso, debido al gran incremento que ha supuesto en Norteamérica la producción de gas no convencional por medio del fracking. De hecho, importantes compañías de gas en Rusia han sido seriamente damnificadas por la disminución del precio del gas natural producto de la copiosa

implementación del *fracking* en Norteamérica¹⁵. De la misma manera los recientes descubrimientos de recursos de *shale gas* en países europeos amenazan con terminar la histórica dependencia hacia el gas de Rusia. Casos como el de Francia (con 150, 37 Tcf de recursos de *shale gas*), Polonia (159,91 Tcf) y Ucrania (128,007 Tcf) que debido a sus nuevos descubrimientos de *shale gas*, y bajo una explotación adecuada, podrían inclinar la balanza hacia un nuevo escenario energético europeo (ver Tabla 3).

Tabla 3. Ranking de países según cantidad de recursos en hidrocarburo no convencional (*shale gas* y *shale oil*), expresados en Tcf. Las cifras presentadas corresponden a la media aritmética de al menos tres fuentes de información en cada caso.

PAIS	RECURSO S (Tcf)	PAIS	RECURSO S (Tcf)	PAIS	RECURSO S (Tcf)
1° China	1.091,88	9° Rusia	284,39	17° Rumania	50,21
2° EEUU	827,76	10° Brasil	244,26	18° Dinamarca	31,9
3° Argentina	798,86	11° Venezuela	167,07	19° Reino Unido	25,36
4° Argelia	702,91	12° Polonia	159,91	20° Holanda	25,35
5° México	588,74	13° Francia	150,37	21° España	17,054
6° Canadá	568,9	14° Ucrania	128,007	22° Bulgaria	16,97
7° Australia	433,89	15° Paraguay	75	23° Alemania	16,97
8° Sudáfrica	387,35	16° Colombia	55	24° Suecia	10,29

Fuente: Tomado de ABELLÁN, Antonio Jódar. "Recursos No Convencionales Susceptibles de ser Explotados Mediante Fracking". Trabajo de grado, Universidad de Murcia. España, 2014

¹⁵ ABELLÁN, Antonio Jódar. "Recursos No Convencionales Susceptibles de ser Explotados Mediante Fracking". Trabajo de grado, Universidad de Murcia. España, 2014

Lo anterior ha impulsado al país a buscar un incremento en sus reservas de gas actual. Se ha evaluado la cuenca de Bazhenov en Siberia Occidental, la que se cree es la cuenca más grande del mundo con más de 2'000.000 km²⁸. Por último, Rusia también contempla la posibilidad de explorar nuevos campos ubicados en zonas remotas como la Península de Yamal o incluso zonas offshore (mar adentro) del Ártico.

POLONIA

Polonia es después de Rusia el país europeo con mayor cantidad de recursos posiblemente recuperables de gas de *shale*. Posee actualmente el 29% de los recursos no convencionales en toda Europa, y a su vez es uno de los países con mayor interés en el desarrollo de la industria del *shale gas* en el continente. La gran cantidad de gas de importación que requiere, y la cuantiosa magnitud del 70% del gas importado desde Rusia, han contribuido a que Polonia vea con buenos ojos el desarrollo a futuro de la industria del gas de esquisto como alternativa energética.

Los recursos estimados de este hidrocarburo en el país se sitúan alrededor de los 159,91 tcf y los principales reservorios que contribuyen a la estimación de este número se dividen en cuatro grandes cuencas: La Cuenca del Báltico al norte, la cual se considera la región más prospectiva, Las Cuencas Podlasie y Lublin y por último la Cuenca Monoclinal y Horizontal Sudetic, que posee grandes recursos de *shale gas* terrestres¹⁶.

Sin embargo es necesario señalar que las incursiones hacia este tipo de recurso al interior del país no han sido del todo optimistas. Por ejemplo, Exxon Mobil abandonó la explotación en las cuencas Lublin y Podlasie al presentar resultados

¹⁶ ABELLÁN, Antonio Jódar. "Recursos No Convencionales Susceptibles de ser Explotados Mediante Fracking". Trabajo de grado, Universidad de Murcia. España, 2014

negativos en dos pilotos verticales. Marathon y Talisman abandonaron la cuenca del Báltico debido a la baja producción y a los resultados obtenidos¹². Sin embargo otros estudios revelan que proyectos a gran escala en el país podrían producir mejores resultados, como en el caso de ciertos proyectos en los Estados Unidos que requieren alrededor de 100 pozos para obtener producciones adecuadas razón por la cual en la actualidad se siguen explorando gran cantidad de pozos alrededor del país.

- **En otros países de Europa:** el panorama en el resto Europa con respecto a la extracción del gas no convencional por medio del *fracking* no está abiertamente aceptado y prefieren no asumir los riesgos ambientales que esta actividad provoca. No obstante, países como España, se encuentran en fases muy tempranas de exploración. A continuación se amplía información acerca de Holanda, Francia, Reino Unido y España.

HOLANDA

El proyecto conjunto entre Royal Dutch Shell y ExxonMobil, conocido como NAM, perforó un pozo exploratorio de gas en *Slochteren*, en la provincia de *Groningen* en 1959 (Ver figura 8). Desde ese momento y hasta la actualidad dicha cuenca gasífera es una de las más grandes del mundo y con una creciente producción que inició desde 1963. Las reservas de *Groningen* han representado un elemento clave en la economía holandesa y como proveedor de energía doméstica del país.

En 2012, NAM producía un total de 59600 millones de metros cúbicos de gas, el equivalente al 76% de la producción total de gas en Holanda, con un 88% proveniente de *Groningen* (alrededor de 52400 millones m³)¹⁷. El yacimiento posee un área total aproximada de 900 km² y sus reservas (al momento de su

¹⁷ Ministry of Economic Affairs. "Gas Production in the Netherlands: Importance and Policy": http://www.sodm.nl/sites/default/files/redactie/gas_letter_eng.pdf. Holanda, 2008.

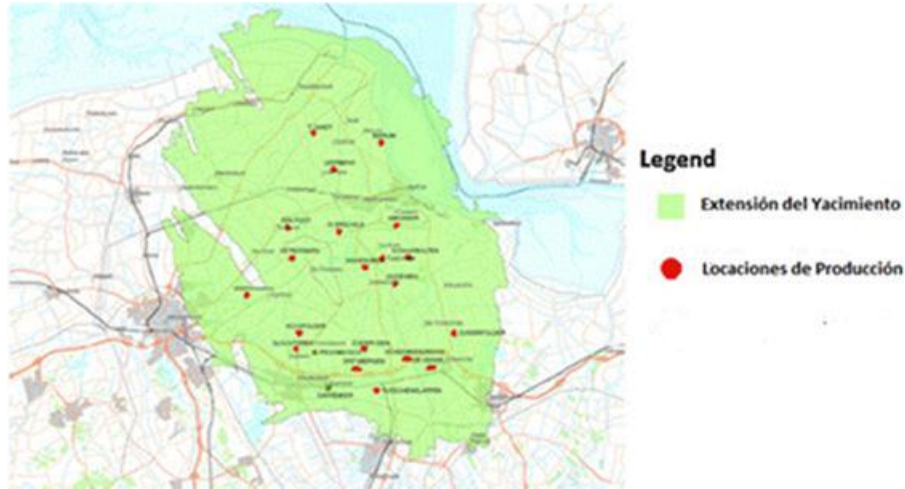
primera perforación) eran de 2,8 billones de m³. Al final de 2012, y con 780000 millones m³ remanentes, se estiman 50 años más de producción activa¹⁸.

Holanda uno de los mayores productores y exportadores europeos desde el descubrimiento de las reservas en *Groningen* en los años 60, además de ser el centro europeo de almacenamiento y transporte de carburantes fósiles. La amenaza de perder esta postura predominante en el escenario energético es el principal argumento que se utiliza para impulsar la aprobación de más licencias en busca de *shale gas*. El interés por la extracción de este gas es un tema de tintes políticos es tan serio que la mayoría de los grupos parlamentarios se inclinan por la aprobación del *fracking* a pesar de las controversias que dicha tecnología presenta. Sin embargo en 2013 el *fracking* fue declarado en moratoria de facto hasta realizar nuevos estudios que permitan la viabilidad de su uso respecto a los impactos ambientales asociados¹⁹.

¹⁸ VAN DER VOORT, Nick. VANCLAY, Frank. "Social Impacts of Earthquakes Caused by Gas Extraction in the Province of Groningen, The Netherlands". Departamento de Geografía Cultural, Universidad de Groningen. Groningen, Holanda, 2014.

¹⁹ BARANZELLI, Claudia. VANDECASTEELE, Ine, et al. "Scenarios for Shale Gas Development and Their Related Land Use Impacts in the Baltic Basin, Northern Poland". Bruselas, Bélgica, 2015.

Figura 8. Extensión del yacimiento y sus puntos de producción.



Fuente: Tomado y editado de VAN DER VOORT, Nick. VANCLAY, Frank. "Social Impacts of Earthquakes Caused by Gas Extraction in the Province of Groningen, The Netherlands". Departamento de Geografía Cultural, Universidad de Groningen. Groningen, Holanda, 2014. Fuente original: NAMPlatform 2012.

FRANCIA

Francia posee alrededor de 150,37 Terapias cúbicas (Tcf) de recursos posiblemente disponibles de gas de esquisto o *shale gas* ocupando el ranking 13 del escalafón mundial en cantidad del recurso, el tercer puesto a nivel europeo y el segundo puesto, después de Polonia, a nivel de Estados de la Unión Europea. Con la presencia de cuencas como la de París con una extensión de 168.350 km² y la cuenca de Aquitania o la cuenca del Sur-Este francés, se estima que Francia posee el 28% de los recursos no convencionales europeos, y la gran dependencia actual del gas de importación hacen pensar a Francia como uno de los países con mayor futuro en temas de *shale gas*.

A pesar de esto, el fracturamiento hidráulico o *fracking* está totalmente prohibido a lo largo del territorio nacional, debido a las grandes controversias acerca de los impactos ambientales asociados a esta tecnología. El parlamento francés decidió

implementar esta prohibición el 30 de Junio de 2011, argumentando que hoy día no existe la certeza de poder usar el *fracking* bajo condiciones ambientalmente sostenibles²⁰. Con esta prohibición, Francia junto con Bulgaria y Republica Checa son los únicos países europeos en prohibir abiertamente el uso de esta tecnología.

Francia, con una política históricamente en armonía con el medio ambiente y los recursos humanos, busca mediante esto proteger y asegurar un ambiente sano y sostenible para su población.

REINO UNIDO

Aunque al interior del Reino Unido se estima una cantidad de 25,35 tcf de gas de esquisto, este recurso no ha sido aun ampliamente explotado al interior del país. El tema no deja de ser llamativo para el gobierno inglés puesto que actualmente el Reino Unido presenta un declive en sus reservas de gas convencional, razón por la cual en los últimos años se ha venido incentivando el desarrollo de proyectos de exploración a lo largo del país. Exploraciones que abarcan descubrimientos como la cuenca de Pennine al noroeste del país, la sub-cuenca Bowland al extremo oeste, y las cuencas Wessex y Weald al sur¹².

A pesar de esto dichos proyectos se encuentran aún en fases tempranas y salvo unas pocas perforaciones con resultados variados, la mayoría de formaciones de *shale gas* permanecen aún sin explotar en el país, esto debido en parte a su compleja geología caliza que presenta numerosas fallas que dificultan en control geológico de los proyectos (de lo que se hablará más adelante) y de los altos costes de perforación en comparación con los Estados Unidos.

²⁰ Tyndall Centre for Climate Change Research. "Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts". November 2011

Cabe destacar que la empresa UK-based Cuadrilla perforó en el 2011 varios pozos cercanos a la localidad de Blackpool que estimularon fallas activas cercanas debido al uso del *fracking* produciendo sismos que generaron alarma e inquietud al interior del país conduciendo a la reevaluación del proyecto. Dicho caso se tomará con énfasis en posteriores capítulos

ESPAÑA

La exploración de cuencas de hidrocarburos no convencionales como el *shale gas* en España se encuentra aún en fases muy tempranas y los estudios que permitan estimar el número de recursos disponibles son escasos, España a su vez no posee grandes potenciales de este recurso en comparación a otros países europeos como Rusia, Polonia o Francia, y los costes de explotación resultan ser significativamente superiores en comparación a países con industria desarrollada como los Estados Unidos, debido a técnicas y tecnologías menos desarrolladas. A pesar de esto, y debido a que el país importa alrededor del 90% del gas natural, el gobierno español ha promovido desde el 2011 gran cantidad de permisos de investigación de hidrocarburos, conocidos como P.I., con el fin de esclarecer el panorama energético del país. De esta manera, estos P.I. solicitados se localizan en la cuenca Vasco-Cantábrica con una extensión de entre 17.145 y 22.000 km² al noroeste de España, y en la cuenca del Ebro al sureste del país¹².

A pesar de esto la comunidad al interior del país se encuentra en división puesto que existen grupos científicos y periodísticos que se oponen al impulso del gobierno que busca promover el desarrollo de la industria del *shale gas*, utilizando como bandera las consecuencias ambientales que el uso del *fracking* puede traer al interior del país, pues se sabe que en las zonas habilitadas para exploración como lo son la cuenca Vasco-Cantábrica (que abarca al país Vasco, Asturias,

Cantabria, Castilla, entre otros) poseen escasez de agua que se vería ampliamente agudizada por la implementación del fracturamiento hidráulico²¹.

²¹ El País [en línea] disponible en. http://www.eldiario.es/sociedad/fracking-gasto-agua_0_231327466.html. Febrero, 2014.

2. FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

Procedimiento conocido popularmente como *fracking*, el fracturamiento hidráulico es el mecanismo principal para producción de gases provenientes de rocas arcillosas o *shales*. Su finalidad principal es la de aumentar la permeabilidad efectiva de aquellas rocas de baja permeabilidad mediante la creación de fracturas artificiales generando así canales para que el hidrocarburo pueda fluir hacia la cara de pozo. Existen registros que datan de los años 40 de operaciones de fracturamiento hidráulico en el condado de Grant, Kansas de los Estados Unidos. Desde ese entonces el *fracking* ha estado presente como una alternativa para estimular la productividad de pozos de gas y petróleo.

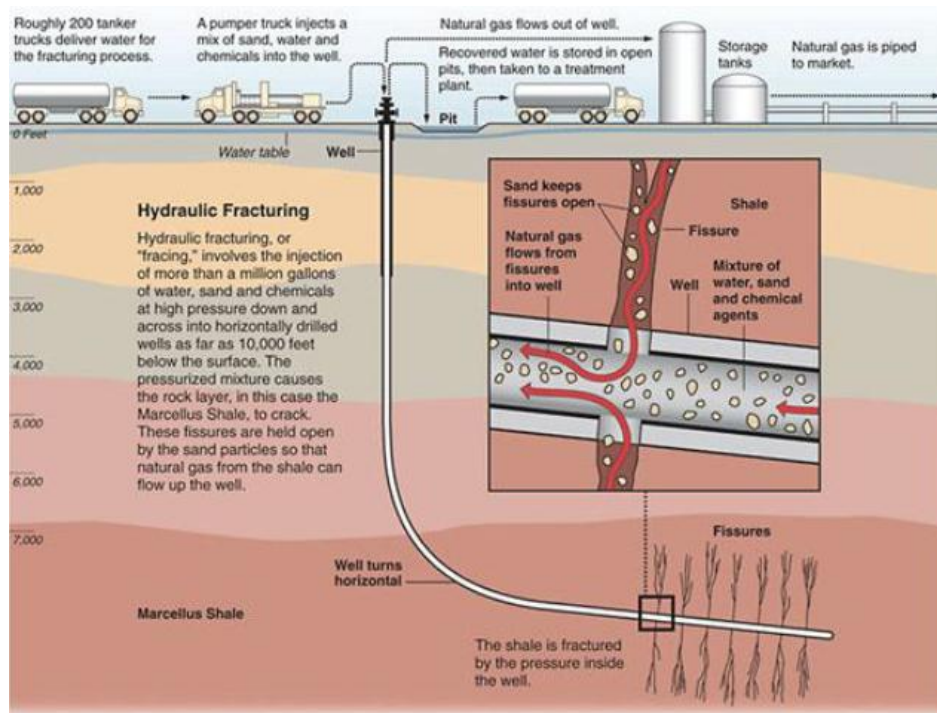
Las fracturas se producen mediante la inyección de un fluido hidráulico a grandes presiones que rompen la formación permitiendo así la fluencia y recuperación del hidrocarburo. La técnica es generalmente utilizada en pozos horizontales o desviados que permiten maximizar el contacto entre el área rocosa que, una vez fracturada, deja fluir el hidrocarburo por diferencia de presión como se ilustra en la Figura 9.

El uso de ambas técnicas (el *fracking* y la perforación horizontal) genera diferencia de espaciamiento, cantidad y distribución de pozos sobre la locación respecto a los yacimientos convencionales. Una de las distribuciones más comunes consiste en la construcción de una plataforma de pozos horizontales perforados secuencialmente en hileras paralelas con el fin de contactar de mejor manera la zona de interés²².

²² GIL ROMERO, Lina María. “Estudio de Factibilidad para el Desarrollo del Gas Shale como Fuente de Hidrocarburos No Convencionales en Colombia”. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.

La operación inicia con el bombeo de un fluido de fracturamiento desde la superficie a grandes presiones de tal manera que se contacten las zonas productivas y se generen una serie de fracturas las cuales se extiendan por si solas.

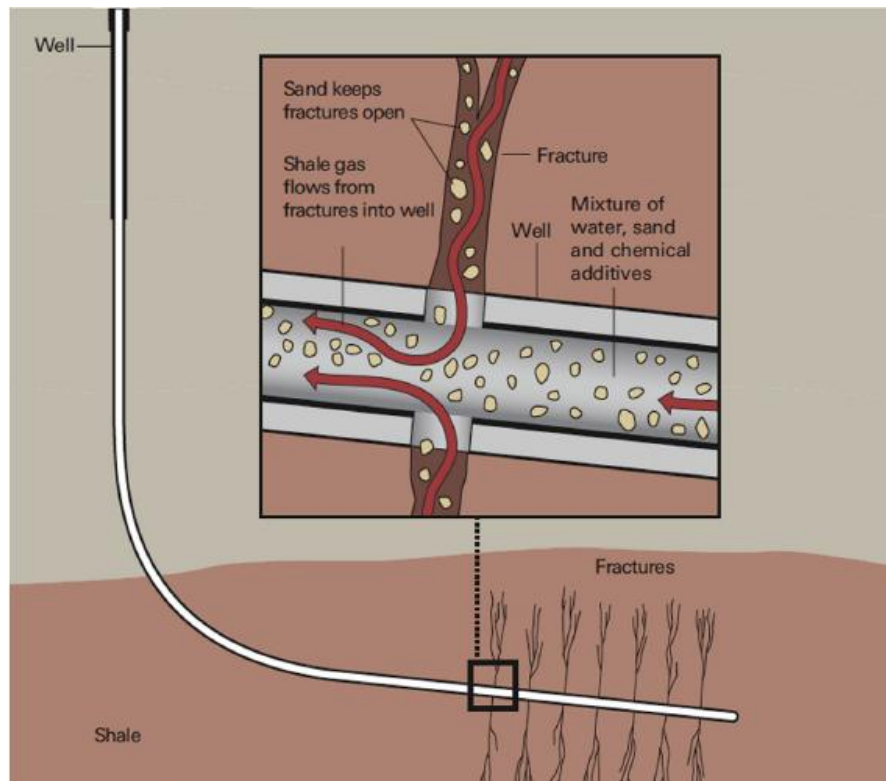
Figura 9. Producción de un pozo de *Shale gas* por las fracturas hechas por el *fracking*.



Fuente: STATEIMPACT fracking [en línea] disponible en: <http://stateimpact.npr.org/texas/tag/fracking/>

Seguidamente se bombea una nueva carga mayor que la anterior de una lechada de fluido de fractura, mezclado con un material de soporte o propante cuya función es mantener abierta la fractura una vez que el bombeo se detenga y la presión de sobrecarga (presión de las formaciones superiores) tienda a cerrar la fractura. El material propante se ubica entre los espacios de la fractura y evita que esta se cierre permitiendo que el hidrocarburo pueda fluir. La Figura 10 ilustra el proceso anterior

Figura 10. La fractura se mantiene abierta gracias al efecto del material propante.



Fuente: STATEIMPACT fracking [en línea] disponible en: <http://stateimpact.npr.org/texas/tag/fracking/>

2.1 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE FRACTURAMIENTO

El fluido principal y más económico que se usa para preparar el fluido de fracturamiento es el agua, sin embargo este simple ingrediente no es suficiente para lograr los objetivos del fracturamiento. Hay que tener en cuenta que fluido debe ser bombeado desde superficie, atravesar las líneas de bombeo hasta cabeza de pozo, atravesar grandes longitudes de tubería hasta llegar a fondo y además tener la presión suficiente para romper la formación y fracturarla. Todo este proceso genera grandes pérdidas de presión por lo que inyectar sólo agua aumentaría en gran medida las tasas de bombeo y el consumo energético. Por

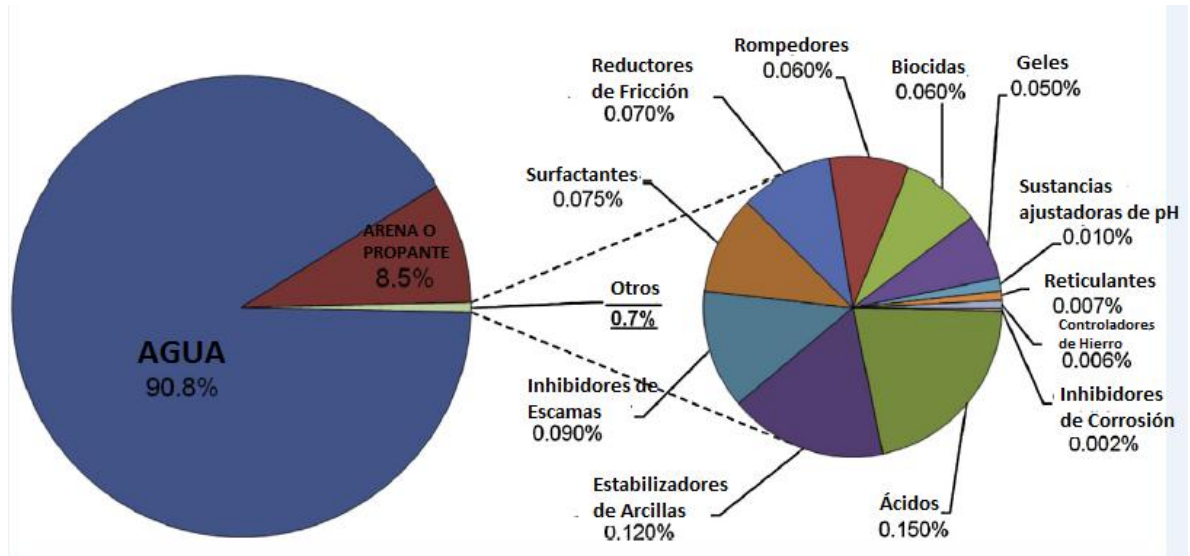
todo esto, al agua es necesario agregarle cierta cantidad de componentes que le den las propiedades óptimas que se requieren.

2.2.1 Aditivos usados para el fracking Uno de los objetivos principales es reducir las pérdidas por fricción al máximo para que el fluido pueda llegar con la presión suficiente al fondo de pozo, por lo que usualmente al agua se le agrega reductores de fricción para lograr esto. Por otro lado el fluido debe cargar con el material propante (arena u otros sólidos) por lo que debe tener la viscosidad suficiente para poder transportarlo hasta el fondo. Como puede verse, se quiere evitar al máximo las pérdidas de presión pero al mismo tiempo el fluido debe tener cierta viscosidad para cargar con la arena, pero no demasiada para no incrementar excesivamente las pérdidas por fricción, por lo que la concentración de los aditivos debe estar en concentraciones óptimas para lograr el equilibrio.

Adicionalmente, otro tipo de sustancias deben ser agregadas con el fin de evitar complicaciones durante el proceso, como inhibidores de escamas, estabilizadores, surfactantes, ácidos, inhibidores de corrosión e incluso biocidas. La lista es larga y dependen en gran medida de las condiciones específicas de cada pozo, más los componentes principales son generalmente los que se ilustran en la Figura 11. La cantidad total de elementos utilizados en la mezcla pocas veces es conocida debido a derechos de propiedad intelectual que las compañías afirman tener sobre estos fluidos de fracturamiento. Aunque en países como el Reino Unido y España, las compañías están obligadas a publicar la lista de aditivos químicos que utilizan, en países como Estados Unidos las leyes protegen la confidencialidad de estos componentes por lo que en algunos casos no se conoce la totalidad de éstos.

La función específica de cada componente se ilustra en la Tabla 4

Figura 11. Componentes principales de los fluidos de fracturamiento.



Fuente: Tomado de FERRER, Imma. THURMAN, Michael. "Chemical Constituents and Analytical Approaches for Hydraulic Fracturing Waters". Trends in Environmental Analytical Chemistry Journal. 2015

Tabla 4. Componentes principales utilizados en la preparación del fluido de fracturamiento y su función específica.

ADITIVO	COMPONENTE PRINCIPAL	FUNCION
Material Propante	Sílice – arena de cuarzo	Mantener abiertas las fracturas
Acido	Ácido clorhídrico	Iniciar grietas y disolver minerales
Reductor de fricción	Poliacrilamida – aceites minerales	Minimizan la fricción entre el fluido y la tubería.
Tensoactivos-surfactantes	Isopropanol	Aumento de viscosidad y reducción de tensión superficial.
Cloruro de Potasio	-	Crear un fluido portador de la salmuera
Gelificante	Hidroxietil celulosa-Goma Guar	Mantener la arena en suspensión
Anti-incrustante	Etilenglicol	Evitar la incrustaciones

ADITIVO	COMPONENTE PRINCIPAL	FUNCION
Agente buffer	Carbonato sódico o potásico	en la tuberías
		Mantener la efectividad de la mezcla.
Rompedores de polímeros	Persulfato de amonio	Reducir la viscosidad
Reticulantes	Sales Bóricas	Incrementar la viscosidad con el incremento de la Temperatura
Control de Hierro	Ácido Cítrico	Previene la precipitación de óxidos de hierro
Inhibidor de corrosión	N-n Dimetilformamida	Prevención de la corrosión en tuberías
Bactericida	Glutaraldehído	Eliminación de bacterias.

Fuente: Cruz Sánchez Alba ,2013.

3. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL USO DEL *FRACKING* EN EUROPA

A pesar de los bien conocidos beneficios de la explotación de este recurso conocido como *shale gas* y el papel que parece desempeñar en un futuro próximo como la solución a grandes problemas energéticos y de abastecimiento de diversos países alrededor del mundo, hay algo que parece encajar del todo. Como se indicó en los capítulos anteriores el gas proveniente de las *shales*, lutitas o esquisto se conoce desde inicios del siglo XX, y desde 1970 que se han desarrollado investigaciones y estudios con el fin de entender dichas formaciones. La tecnología conocida como *fracking* o fracturamiento hidráulico, gran aliada del crecimiento al interés del *shale gas* alrededor del mundo, se utilizó desde 1943 y a partir de la última década se consolidó como una herramienta técnica y económicamente eficiente para estimulación de cuencas de hidrocarburos no convencionales. Entonces, ¿por qué hasta ahora tan sólo países como Estados Unidos o Canadá son los únicos territorios con una industria desarrollada y estable relacionada a este recurso?

Pues bien, a medida que una tecnología se desarrolla y se implementa, del mismo modo los estudios relacionados a ésta no tardan en aparecer y este caso no fue la excepción. El número de estudios que relacionan las actividades del *fracking* con diversos impactos ambientales creció significativamente en los últimos años, y de cierta forma ha dividido a la comunidad internacional.

Si bien es cierto no se deberían pasar por alto los efectos ambientales que el uso de esta herramienta pueda ocasionar, el desarrollo del *shale gas* representa realmente una alternativa y todo un cambio en el panorama geopolítico de los países que puedan desarrollar este recurso, como se explicó en el capítulo 1. Países como Estados Unidos logró a través del gas de esquisto revertir su

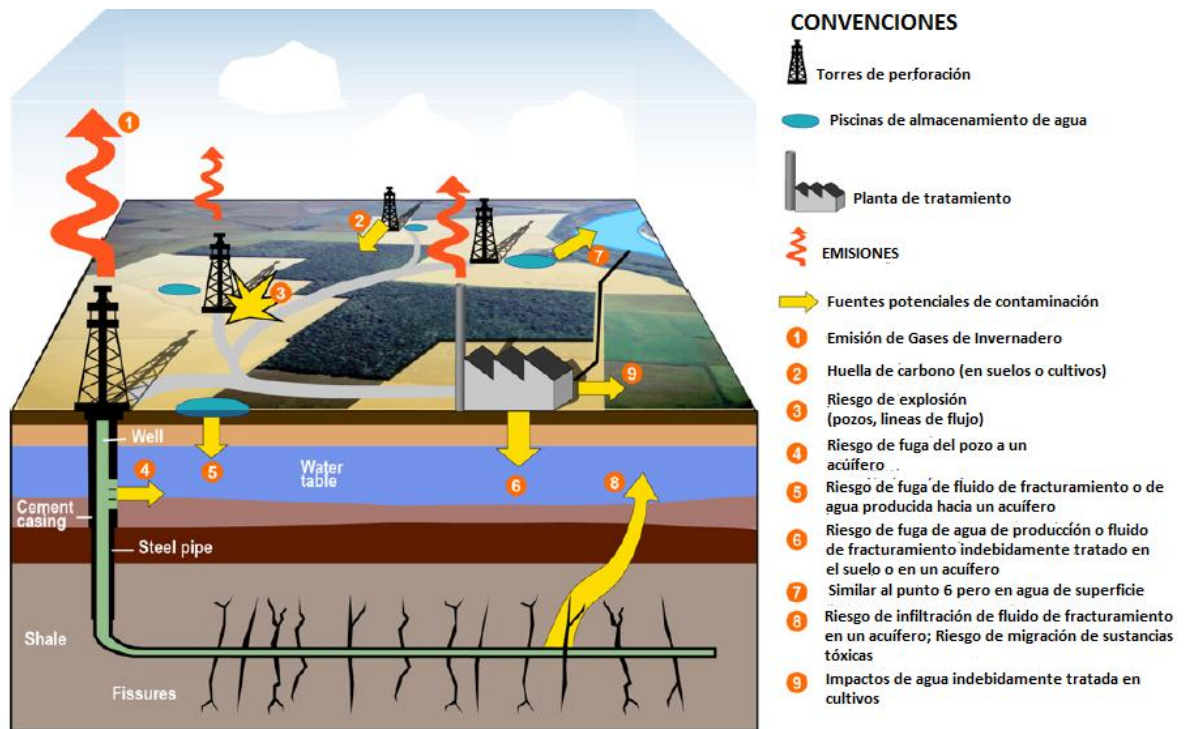
tendencia histórica de importador al punto de en un par de años lograr una relativa autosuficiencia energética. Por el otro lado, países como Francia, República Checa y Bulgaria han decidido priorizar la salud y bienestar de los recursos naturales al prohibir actividades relacionadas con el *fracking* a pesar de que algunos de ellos, Francia principalmente, son unos de los países con mayores recursos de *shale gas* a nivel europeo. Diversas organizaciones gubernamentales e independientes han venido recopilando y documentando gran cantidad de información e investigaciones que apuntan hacia el *fracking* como una tecnología en conflicto con el equilibrio del medio ambiente, sin embargo al ser éste un tema tan delicado, es de esperarse que se tiña de matices políticos. La comunidad internacional se encuentra dividida. Mientras agencias reguladoras en los Estados Unidos han mantenido una postura reacia hacia las evidencias sobre los impactos ambientales del *fracking*, la Unión Europea parece tomar una postura más flexible en cuanto a la formulación de legislaciones ambientales y políticas específicas para la extracción del gas de *shale*. Por este motivo en septiembre de 2012, la Comisión Europea publicó tres reportes acerca de los impactos del *shale gas* en el mercado, el medio ambiente y el clima respectivamente. El reporte que abarca los impactos ambientales estableció que la extracción de *shale gas* usualmente produce mayores huellas de carbono que la extracción de gas natural convencional, y define ciertos puntos cruciales de estudio como son la contaminación al aire, contaminación de aguas de superficie y subterráneas, recursos de agua, impactos a la biodiversidad, impacto visual y sismicidad²³.

El presente capítulo hace un recorrido por los principales impactos ambientales que han sido atribuidos al uso del *fracking* y a la explotación industrializada de *shale gas* en tres ángulos cruciales: Afectación del agua, Afectación al suelo y Afectación al aire (un esquema de todos estos impactos puede verse en la Figura 12). De la misma manera se intenta describir la posición de los principales países

²³ JOHNSON, Corey. BOERSMA, Tim. "Energy (in) Security in Poland the case of shale gas". 2012.

Europeos acerca de esta temática, las consecuencias que estos han sufrido y las posibles investigaciones que allí se hayan llevado a cabo.

Figura 12. Representación esquemática de infraestructuras e impactos potenciales



Fuente: Tomado y editado de United Nations Environment Programme (UNEP), Global Environmental Alert Service (GEAS). 2013.

3.1 AFECTACIÓN DEL AGUA

El agua es la piedra angular de la vida en el planeta tierra, el sustento y recurso vital para el nacimiento y desarrollo de los diversos ecosistemas que coexisten alrededor del mundo. También es el recurso más sensible por lo que cualquier cambio o alteración en éste puede perturbar drásticamente el equilibrio de cualquier entorno natural. Cuando se habla de afectación de recursos hídricos por el uso del *fracking*, se hace mención a uno de los puntos más críticos y delicados

del tema en cuestión. Es sobre este punto sobre el que recae la mayor cantidad de críticas y acusaciones a esta tecnología.

Diversas organizaciones tanto gubernamentales como independientes han recopilado y documentado gran cantidad de información e investigaciones que señalan al *fracking* como posible agente contaminador de aguas a nivel subterráneo y de superficie. Debido a esto, abordar este tema resulta tan complejo como delicado.

Hay que decir antes de todo, que una operación de fracturamiento es un proceso que de por sí consume grandes cantidades de agua. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (EPA por sus siglas en inglés) el agua que se necesita para fracturar un pozo horizontal perforado para *shale gas*, puede estar alrededor de 4 a 6 millones de galones por pozo, dependiendo por supuesto, de la profundidad, distancia horizontal y número de veces que el pozo es fracturado²⁴. Ésta agua deja de ser usada para consumo humano o actividades agrícolas y en muchos casos es escasa incluso antes de iniciar las respectivas operaciones, por lo que muchas veces es necesario tener buena administración de estos recursos para evitar de esta manera afectaciones a la comunidad.

También es sabido que el agua utilizada durante las operaciones de *fracking* debe ser mezclada con ciertos aditivos que le otorguen las propiedades necesarias para llevar a cabo el fracturamiento a la formación en las condiciones adecuadas, para esto se emplean enormes cantidades de productos que a su vez poseen innumerables componentes químicos los cuales después de realizada la mezcla se inyectan al interior de la formación generando fracturas que provean canales de flujo para el paso del hidrocarburo²⁵. Ante esta situación existen dos enormes

²⁴ JOHNSON, Corey. BOERSMA, Tim. "Energy (in)security in Poland the case of shale gas". 2012.

²⁵ NAVARRO, Angel. RAMIREZ, Jaime. "El gas de Lutitas (Shale Gas) en México. Recursos, explotación, usos impactos" Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México, 2013.

preocupaciones. En primer lugar las fracturas con estos compuestos al interior del subsuelo podrían conectar zonas con presencia de acuíferos no sólo generando grandes contaminaciones sino permitiendo un canal directo para la contaminación de esta agua con hidrocarburos.

El agua residual de este proceso, que luego es extraída, debe ser tratada de manera cuidadosa con el fin de evitar la presencia de sustancias químicas remanentes que puedan afectar el medio ambiente y la salud pública. A pesar de esto, existe la preocupación que malas prácticas en el proceso de tratamiento puedan ser causal de contaminación en superficie.

3.1.1 Escenarios de contaminación Como se enunció en el numeral anterior existen varias maneras de abordar el tema de la contaminación al agua por las actividades del fracturamiento hidráulico, pues son muchos los escenarios en los que esto puede ocurrir. Se hablará primero de aquellos relacionados como consecuencia directa de operaciones de *fracking*, es decir, como producto de la mecánica misma de la tecnología, dejando para el final aquellas afectaciones indirectas.

Dicho esto, es necesario recordar cómo se lleva a cabo la fractura de la roca. Para que esto pueda ocurrir debidamente, se bombean fluidos que contienen agua, arena, y sustancias químicas a presiones suficientemente altas para romper la formación a fin de incrementar la permeabilidad de ésta, generando fracturas artificiales que permitan el paso del gas hacia la cara del pozo²⁶. Si bien con los datos de ingeniería e información de presiones de inyección, presión de fractura y otros datos específicos, se puede generar una idea del comportamiento en fondo, generalmente es demasiado difícil predecir la longitud y propagación de dichas fracturas haciendo complicado saber hasta qué zonas del reservorio puede llegar

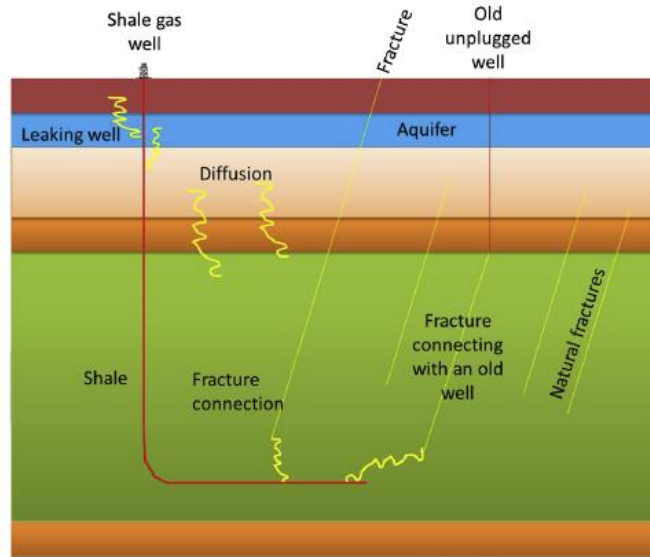
²⁶ GIL ROMERO, Lina María. “Estudio de Factibilidad para el Desarrollo del Gas Shale como Fuente de Hidrocarburos No Convencionales en Colombia”. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.

y qué otros estratos puede conectar. Esta incertidumbre más el hecho de que en muchas ocasiones se tiene pobre conocimiento sobre la geología más allá de la zona de interés y el hecho de que cada yacimiento alrededor del mundo posee su propia y única distribución geológica difícil de conocer, hace que se enciendan dos focos de alarma bastante importantes. El primero es que al generar dichas fracturas, éstas podrían conectarse con algún estrato que posea un acuífero y el gas hidrocarburo pueda mezclarse con el agua y contaminarla, o bien, que el fluido de fracturamiento compuesto por gran cantidad de aditivos químicos y sustancias peligrosas puedan migrar al acuífero contaminando seriamente el agua de la formación, o bien que ocurran las dos cosas.

La segunda situación de alarma corresponde a que una fractura artificial pueda conectarse a una falla natural presente en el subsuelo, afectando incluso formaciones de agua a grandes distancias de la operación de *fracking* las cuales se crean perfectamente fuera de peligro²⁷. Estas dos posibles escenarios se ilustran de mejor manera en la Figura 13.

²⁷ STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

Figura 13. Escenarios de posible contaminación a mantos de agua por operaciones de fracturamiento hidráulico



Fuente: Tomado de STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015

El otro escenario establecido es el de una posible conexión a algún pozo abandonado que contribuya accidentalmente a filtrar dichos contaminantes hacia un manto hídrico cercano, en este escenario bastante más improbable, el resultado es el mismo.

La contaminación producida ya sea por el metano o por componentes químicos representa una situación bastante crítica y grave, pues en muchos países estos acuíferos son utilizados para consumo humano generando un riesgo crítico para la salud pública²⁸. Las consecuencias de esto serán estudiadas más adelante.

Con todo lo anterior expresado surge ahora la incógnita de si realmente una fractura generada por una operación de *fracking* puede propagarse lo suficientemente lejos para conectarse a un estrato de agua o a una falla natural.

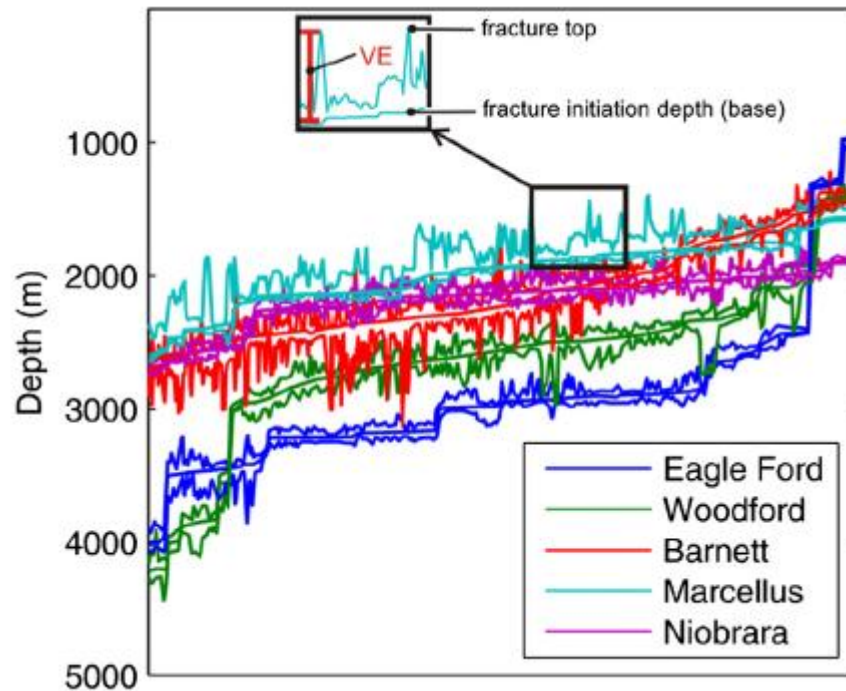
²⁸ MCDERMOTT, Ruth. KAKTINS, Nina. SATTLE, Barbara. "Fracking, the Environment, and Health". American Journal of Nursing. Junio, 2013.

Alrededor de esta pregunta el geólogo Richard Davies de la Universidad de Durham en el Reino Unido, desarrolló un artículo científico denominado “*Hydraulic fractures: how far can they go?*” publicado en la revista científica *Marine and Petroleum Geology*.

En este artículo, el autor compiló información de una serie de operaciones de *fracking* mediante el uso de un monitoreo microsísmico que le permitiera tener información en tiempo real de la distribución de las fracturas generadas en diversos pozos en los Estados Unidos. Tal vez la gráfica más interesante de todo el estudio es la que se muestra en la Figura 14.

La gráfica muestra en primer lugar la profundidad de inicio del fracturamiento de cada pozo evaluado (cada uno con su propio color) la cual se representa por la línea base. De la misma manera los picos que se observan en cada registro representan la distancia vertical alcanzada por cada fractura y su distancia en metros se obtiene midiendo la longitud desde la línea base hasta el pico.

Figura 14. Compilación de información de diversos estudios microsísmicos que indican la separación vertical de las fracturas en varios pozos horizontales de *shale* en los Estados Unidos.



Fuente: Tomado de DAVIES, Richard. MATHIAS, Simon, et al. "Hydraulic fractures: How far can they go?" *Marine and Petroleum Geology*. 2012.

El artículo establece que la máxima longitud alcanzada por una fractura artificial dentro de los pozos estudiados fue de 588 metros en la cuenca de *Barnett*. Del mismo modo una dispersión estadística arrojó que la probabilidad de que una fractura se extendiera a una altura mayor a 350 metros era del 1%²⁹

De esta manera el valor de 588 metros fue propuesto como la mínima distancia recomendada entre el tope de una zona de fracturamiento y la base de un estrato de agua.

²⁹ DAVIES, Richard. MATHIAS, Simon, et al. "Hydraulic fractures: How far can they go?" *Marine and Petroleum Geology*. 2012.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que a pesar de ser un estudio europeo éste fue realizado tomando datos en pozos de los Estados Unidos con la geología propia de la región, por lo no podría saberse a ciencia cierta si los resultados obtenidos puedan ser extrapolados a las condiciones geológicas de otros países. En adición, Stephenson en su obra *Shale gas and Fracking*, publicada en los Estados Unidos en 2015, afirma que al momento en que se produce la fractura, el gradiente de presión generado entre la formación y la cara de pozo es tan grande que por más que la fractura haya crecido considerablemente al punto de conectarse con un acuífero, y por más que ésta esté completamente llena de gas y contaminantes, el hidrocarburo fluirá siempre hacia el pozo en vez de migrar hacia el acuífero. No obstante esto ocurre sólo mientras el pozo se encuentra en etapa de producción, pues en etapas estáticas el fluido puede perfectamente migrar hacia otros destinos.

Por otro lado, estudios realizados por la Facultad de Ingeniería Química y Combustibles de la Universidad Politécnica de Madrid y la Facultad de Hidrogeología, Geología del Petróleo y Estratigrafía de la Universidad de Oviedo en España afirman que es más probable que estas contaminaciones por químicos o por metano ocurran debido a deficiencias en el estado mecánico del pozo que por canales de flujo hechos por fracturas artificiales³⁰. Hecho que es favorecido por dos propiedades físicas del gas:

- La baja viscosidad del metano, dos órdenes de magnitud inferior a la del agua lo que facilita su movilidad hacia el acuífero,
- y su baja densidad lo que facilita su ascenso hacia zonas de menor presión.

En adición a esto estudios realizados por científicos independientes en el Reino Unido, así como otros investigadores de la industria del petróleo y gas, establecen

³⁰ Consejo Superior de Colegios de Ingeniera de Minas. “Gas No Convencional en España, Una Oportunidad de Futuro”. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Hidrogeología, Geología del Petróleo y Estratigrafía, Universidad de Oviedo. España, 2014.

que entre el 67% y el 75% de los pozos en el país experimentan aislamiento zonal o fallas de integridad estructural y que los pozos desviados utilizados para el desarrollo del *shale gas* tienden a fallar en mayor tasa que los pozos verticales para gas convencional³¹.

Estudios realizados en Canadá en el año 2009 afirman que un alto porcentaje de las fugas de metano y otros contaminantes en pozos de *shale gas* se relacionaría con *casings* insuficientemente cementados, confirmando de alguna manera lo anteriormente descrito. A medida que transcurre el tiempo, el metal de las estructuras se corroe, el cemento de los *casings* se degrada, se agrieta o simplemente se separa del metal y la roca generando canales que sirven para que el gas o los fluidos de fracturamiento migren hacia formaciones aumentando el riesgo de contaminación. Generalmente este tipo de fallas no son detectadas y el pozo puede seguir filtrando contaminantes durante muchos años.

3.1.2 Consecuencias de la contaminación Una de las preocupaciones principales sobre la contaminación del agua respecto al uso del *fracking* corresponde a aquella relacionada con los fluidos de fracturamiento. Como fue explicado en el capítulo 2, el fluido hidráulico requiere una mezcla de diversos componentes como reductores de fricción, surfactantes, ácidos e incluso biocidas que le permita tener las condiciones adecuadas en fondo de pozo. La mezcla resultante es un coctel químico altamente nocivo para la salud humana y para la biósfera terrestre.

El uso de estas sustancias pone directamente en riesgo la vida humana y algunas con consecuencias extremadamente tóxicas para el ser humano, como el metanol, el etilenglicol, y el ácido clorhídrico. Otras resultan tener efectos de carácter lento y degenerativo como el ácido bórico o las poliacrilamidas con propiedades

³¹ HAYS, Jake. FINKEL, Madelon. DEPLEDGE, Michael et al. "Considerations for the Development of Shale Gas in the United Kingdom". Reino Unido, 2015.

cancerígenas y con afectaciones a la reproducción y al sistema nervioso, o como ciertos químicos que bloquean actividades endocrinas (EDCs) extremadamente nocivos para el desarrollo hormonal y con consecuencias que pueden tardar décadas en aparecer. La Figura 15 muestra detalladamente los impactos a la salud de algunas de las sustancias utilizadas en el fluido de fracturamiento.

Varios estudios han encontrado aguas contaminadas en zonas cercanas a actividades de fracturamiento hidráulico, afectando de manera directa la calidad de vida de la población cercana. Estudios en Colorado encontraron que varias muestras tomadas de agua en superficie y subterráneas en áreas con gran actividad de producción de *shale gas* y poseían concentraciones sustancias nocivas relacionadas al *fracking*, en mucha mayor medida que en zonas cercanas a pozos de gas convencional³². Más precisamente han habido casos de personas seriamente afectadas por estos componentes en el norte de Pennsylvania, sin embargo los estudios pertinentes fallaron al relacionar estos casos con actividades de *fracking*³³, debido en gran parte a que la comunidad y organismos de salud tienen acceso limitado a la información de estas sustancias, avalado en varias oportunidades por estatutos de estado como el Acto 13 de 2012 que establece que las compañías NO están obligadas a compartir información acerca de componentes o concentraciones de las sustancias utilizadas al ser algunas propiedad intelectual de las mismas^{24 34}. Aunque hay que aclarar que en casos de emergencia esta información debe ser revelada, estas políticas tan sólo entorpecen la investigación de los impactos ambientales al interior de los Estados Unidos.

³² HAYS, Jake. FINKEL, Madelon. DEPLEDGE, Michael et al. "Considerations for the Development of Shale Gas in the United Kingdom". Reino Unido, 2015.

³³ MCDERMOTT, Ruth. KAKTINS, Nina. SATTTLER, Barbara. "Fracking, the Environment, and Health". American Journal of Nursing. Junio, 2013.

³⁴ NAVARRO, Angel. RAMIREZ, Jaime. "El gas de Lutitas (Shale Gas) en México. Recursos, explotación, usos impactos" Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México, 2013.

Figura 15. Lista parcial de sustancias químicas utilizadas en los fluidos de fracturamiento hidráulico

Tipo de Aditivo	Componentes de Ejemplo	Información Toxicológica para Componentes Puros	Información Ecológica
Agente Gelificante	Goma de Guar Ácido Fumárico	<ul style="list-style-type: none"> • Puede causar desorden en la piel. • Irritación de ojos, respiratoria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lentamente biodegradable
Reticulante	Ácido Bórico Etilenglicol Monoetanolamina	<ul style="list-style-type: none"> • Cancerígeno; daño al corazón, hígado. • Defectos de nacimiento. • Irritación respiratoria, ojos, piel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parcialmente Biodegradable. • Toxicidad baja hacia peces.
Fluido Rompedor	Persulfato de Amonio Peroxidisulfato de Diamonio	<ul style="list-style-type: none"> • Puede causar enrojecimiento, dolor y tos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No determinada
Surfactante	Etanol Alcohol Isopropílico 2-Butoxietanol	<ul style="list-style-type: none"> • Cancerígeno (Puede impactar al hígado y los riñones). • Puede causar nauseas, dolor de cabeza. • Irritación respiratoria, ojos, piel. 	<ul style="list-style-type: none"> • No determinada
Biocida	Glutaraldehido, 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida, Dimetil Oxazolidina	<ul style="list-style-type: none"> • Irritante, puede causar enrojecimiento, dermatitis. 	<ul style="list-style-type: none"> • No determinada
Inhibidor de Corrosión	Metanol, Alcohol Propargilo, Isopropanol	<ul style="list-style-type: none"> • Cancerígeno (Puede impactar al hígado y los riñones). • Irritación respiratoria, ojos, piel. 	<ul style="list-style-type: none"> • No determinada
Reductor de Fricción	Poliacrilamida, Destilados del petróleo	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación respiratoria, ojos, piel. • Cancerígeno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lentamente Biodegradable

Tipo de Aditivo	Componentes de Ejemplo	Información Toxicológica para Componentes Puros	Información Ecológica
Inhibidor de Escamas	Etilenglicol	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser tóxico para los riñones, hígado y sistema nervioso central. • Irritación respiratoria, ojos, piel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradable

Fuente: Tomado de BRANTLEY, Susan. YOXTHEIMER, Dave. ARJMAND, Sina. "Water Resource Impacts during Unconventional Shale Gas Development: The Pennsylvania Experience". Universidad del estado de Pennsylvania. Pennsylvania, Estados Unidos, 2013.

A diferencia de las posturas tomadas en Norteamérica, hay que destacar que los países europeos han tomado una postura bastante más analítica respecto a estos delicados temas. En 2011 el *Tyndall Centre for Climate Change Research* del Reino Unido, expresó públicamente sus preocupaciones por la contaminación del agua de superficie y subterráneas: “La profundidad de los estratos de *shale gas* requieren compromisos mayores para identificar de manera categórica las posibles vías de contaminación de acuíferos debido a los químicos utilizados durante el proceso de *fracking*³⁵”. Ese mismo año Francia implantó una prohibición a nivel nacional de explotación de recursos de *shale gas* por medio de fracturamiento hidráulico hasta que no se esclarezca el panorama al respecto.

De la misma manera diversos estudios llevados a cabo en Polonia recomiendan la inclusión de normas más estrictas con el fin de proteger zonas críticas como parques naturales, pozos de agua para consumo humano y zonas habitadas. Se habló de establecer una distancia mínima estándar para evitar al máximo la contaminación pues en este estudio se encontró que más del 28% de los pilotos de *shale gas* en el territorio nacional se encontraban a un kilómetro de distancia o menos de zonas habitadas y/o pozos de agua para consumo humano³⁶.

Estas posturas divergentes entre Norteamérica y Europa muestran claramente el orden de prioridad que cada país decide darle al crecimiento energético versus el impacto ambiental asociado.

³⁵ Tyndall Centre for Climate Change Research. *Shale Gas: An Updated Assessment for Environmental and Climate Change Impacts*. Noviembre, 2011.

³⁶ BARANZELLI, Claudia. VANDECASTEELE, Ine, et al. “Scenarios for Shale Gas Development and Their Related Land Use Impacts in the Baltic Basin, Northern Poland”. Bruselas, Bélgica, 2015

3.2 AFECTACIÓN DEL AIRE Y RIESGOS A LA SALUD ASOCIADOS

Como lo indicado al inicio del capítulo, las operaciones de producción de *shale gas* y el uso de tecnologías como el *fracking* han sido relacionadas, entre otras cosas, al incremento de la contaminación del aire por diversos factores afectando de manera negativa el medio ambiente y generando riesgos de salud pública. Varios estudios han asociado el aumento de emisión de Gases de Invernadero (GEI) debido a las altas emisiones de metano proveniente de las cuencas de *shale gas*, generando gran controversia alrededor de uno de los los tópicos de mayor alerta ambiental del siglo XXI, el Calentamiento Global.

Adicionalmente se ha expuesto que durante las operaciones de perforación y fracturamiento pueden generarse emisiones de componentes orgánicos volátiles (VOC), provenientes del gas natural durante procesos de separación de condensados, además de contaminantes como ácidos sulfhídricos (H₂S) y Dióxido de Carbono (CO₂) presente en los gases agrios. Presencia de componentes como benceno, ampliamente conocido por sus efectos cancerígenos, han sido igualmente atribuidos a operaciones de producción en pozos de *shale gas* en el Reino Unido³⁷.

Emisión de estos componentes orgánicos volátiles (VOC), y su interacción con compuestos nitrogenados (NO_x), ambos presentes en actividades de *fracking*, pueden dar origen a ozono troposférico, ampliamente perjudicial para la salud humana y vegetal, con consecuencias como alteraciones en el sistema respiratorio, asma y enfisemas³⁸

³⁷ HAYS, Jake. FINKEL, Madelon. DEPLEDGE, Michael et al. "Considerations for the Development of Shale Gas in the United Kingdom". Reino Unido, 2015.

³⁸ MCDERMOTT, Ruth. KAKTINS, Nina. SATTTLER, Barbara. "Fracking, the Environment, and Health". American Journal of Nursing. Junio, 2013.

Todos estos elementos juntos que ponen en riesgo la integridad del medio ambiente y la salud humana, deberían ser tratados con un detenimiento especial, y aunque varias compañías afirman su compromiso y responsabilidad en la reducción de la emisión de estos componentes a la atmósfera, muchas veces estas afirmaciones carecen de transparencia y los resultados entregados a entes reguladores en algunos casos se ven alterados especialmente con el fin de mantener la rentabilidad del negocio, pues en varios países europeos existe una pobre legislación que controle las actividades que dichas compañías realizan.

3.2.1 El *Shale Gas* y las emisiones de Gases de Invernadero Como se enunció con anterioridad, las emisiones de Gases de Invernadero durante las operaciones de producción de shale gas representan una alarma ambiental significativa para la comunidad internacional. Se ha encontrado que estas emisiones ocurren desde las operaciones de exploración hasta las etapas finales de producción y de transporte. Aunque hay que aclarar que en parte las emisiones de estos Gases de Invernadero se deben a la misma condición del gas natural, las actividades de *fracking* contribuyen a aumentar en gran medida el volumen de emisión.

SHALE GAS Y LA EMISIÓN DE CO₂

Ciertos sectores defensores han afirmado que el *shale gas* en su condición de gas natural, y al ser un combustible naturalmente bajo en carbono, su combustión, utilizada principalmente en la generación de energía eléctrica y otros procesos, produce significativamente menos dióxido de carbono que cualquier otro combustible fósil utilizado en la industria, lo cual es cierto.

Sin embargo esta afirmación debería ser examinada detenidamente. Para determinar el volumen de emisión de CO₂ en un combustible es necesario comparar la cantidad de dióxido de carbono que éste emite por unidad de energía liberada, con el fin de tener un punto estándar de comparación. Usualmente dicha

relación se denota en Libras emitidas por BTU (Lb/BTU), lo que significa que cierto combustible específico emite cierta cantidad de CO₂ para producir una unidad de BTU. Dicho esto, la tabla 5 muestra el rendimiento en la emisión de CO₂ en una cierta lista de combustibles fósiles.

Tabla 5. Emisiones de CO₂ en diferentes combustibles.

COMBUSTIBLE	Libras de CO ₂ emitidas por millón de BTU
Carbón (Antracita)	228,6
Carbón (Bituminoso)	205,7
Carbón (Lignita)	215,4
Carbón (Subbituminoso)	214,3
Diesel	161,3
Gasolina	157,2
Propano	139
Gas Natural	117

Fuente: Tomado y modificado de STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

Ahora, esto no es argumento suficiente para establecer al *shale gas* como energía limpia y ambientalmente segura, puesto que este indicador tan sólo representa el desempeño en la combustión del gas natural frente a otros combustibles. La cosa no es tan simple. También es necesario pensar en todo el proceso que conlleva la extracción del recurso y el proceso que implica implementar la tecnología del fracturamiento hidráulico. El CO₂ asociado al *shale gas* se encuentra presente desde etapas de exploración hasta las etapas finales de producción.

La huella de carbono, que se define como la cantidad total de gases de invernadero, en este caso CO₂, emitidos durante el ciclo de vida de un proceso, de un pozo de *shale gas* es muy superior a la de un pozo típico de gas natural, es decir, todo el proceso que implica la exploración, perforación, completamiento, fracturamiento, producción y tratamiento de un pozo de *shale*, genera emisiones mayores que cualquier proceso convencional de explotación de gas natural. Esto se debe principalmente a que todo el proceso de *fracking* requiere mayores consumos de energía asociados a las bombas del *fracking* (*frack pumps*), a la cantidad de combustibles fósiles requeridos, la cantidad de energía necesaria para empujar el fluido de fracturamiento a través del estado mecánico y con las condiciones de presión adecuadas para el rompimiento de la formación, etc.³⁹.

Se asume que la emisión de CO₂ debido a la combustión del gas natural es la misma tanto para el *shale gas* como para el gas natural convencional, también se asume que los métodos de distribución son los mismos en ambos casos, por lo que podría decirse que ambos procesos presentan las mismas pérdidas en la distribución. Entonces finalmente la gran diferencia entre la emisión de CO₂ de ambos hidrocarburos radica en el proceso de producción de estos, esto es⁴⁰:

- La perforación horizontal y el proceso de *fracking*, que necesitan mayores equipos y consumo de energía, como en el caso de las bombas para el fluido de fracturamiento.
- El transporte del agua y químicos hacia el pozo durante el proceso de *fracking*.
- Finalmente, los procesos de extracción del fluido de fracturamiento luego del *fracking*.

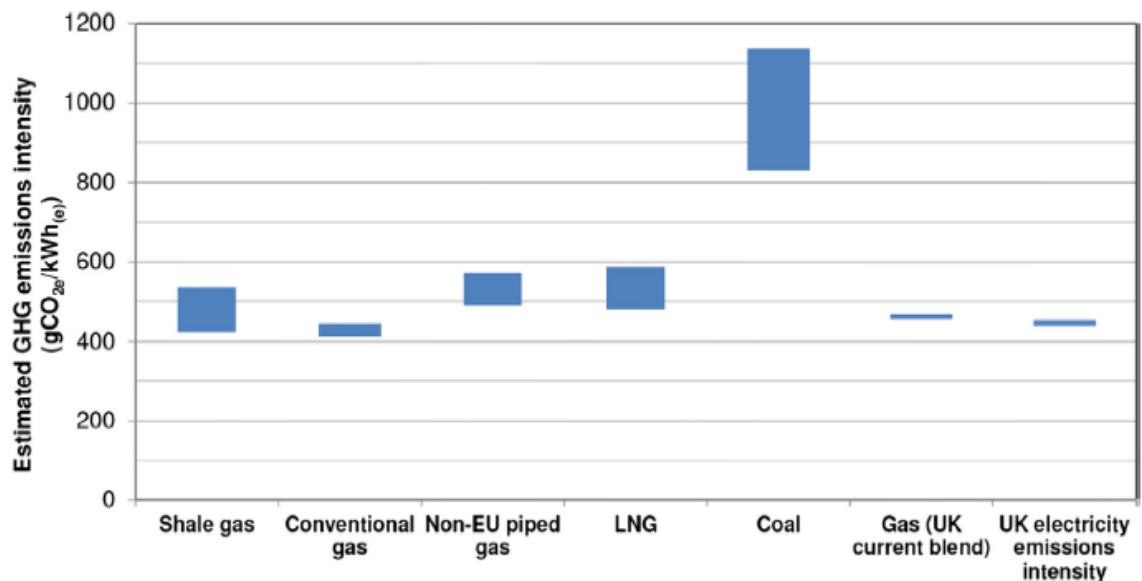
Todo esto se traduce en un aumento total de la cantidad de emisiones de CO₂ respecto a los hidrocarburos convencionales. Un reporte hecho por el *British*

³⁹ STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

⁴⁰ Tyndall Centre for Climate Change Research, Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts, November 2011

Government by McKay and Stone realiza la comparación de la huella de carbono en diferentes combustibles para generación de electricidad. Hay que aclarar sin embargo que la determinación de una huella de carbono en un ciclo de vida de un proceso no es un cálculo exacto por lo que los resultados obtenidos fueron presentados en un rango de valores en términos de gramos de CO₂ por Kilowatt-hora (gCO₂/KWh), en otras palabras, cantidad de CO₂ por unidad de energía eléctrica. Los resultados se muestran en la Figura 16.

Figura 16. Huella de Carbono de diversos combustibles usados para producir energía eléctrica.



Fuente: Tomado de MacKay and Stone (2013)

Hay que hacer hincapié en que en relación a la huella de carbono calculada para el *shale gas* de aquella investigación, los datos se tomaron de pozos estadounidenses pues, hasta la fecha, El Reino Unido no ha producido un solo Kilowatt-hora de electricidad proveniente del *shale gas* aún²⁹.

Sin embargo, bajo la perspectiva actual del Reino Unido, cuya principal fuente de energía eléctrica es el carbón, el uso de *shale gas* como alternativa para

generación de electricidad no deja de ser un negocio atractivo y rentable, pues como se puede observar la huella de carbono del carbón para generación de electricidad presenta valores significativamente más altos que los del gas de *shale*. Sin embargo las opiniones acerca de este tema a lo largo de la nación son más bien variadas.

El antiguo director del *Tyndall Center for Climate Change Research* en Reino Unido, el profesor Kevin Anderson, establece que la actual y momentánea fascinación mundial por el *shale gas* es tan solo una pantalla que desvía la atención de las alternativas reales en cara al panorama energético del futuro, como lo son la energía nuclear y otras energías renovables sentenciando que “desde una perspectiva del cambio climático estas cosas (*el shale gas*) simplemente deben quedarse en el subsuelo⁴¹”.

En junio de 2013, el ministro de energía de Inglaterra, Michael Fallon, comentó que un estudio de recomendaciones para mitigar los impactos de la exploración, producción y uso de *shale gas* había sido solicitado por la Secretaría de Estado, haciendo alusión a que estas emisiones podrían reducirse a límites despreciables si se tomaran medidas adecuadas, teniendo en cuenta que la explotación de *shale gas* presenta una huella de carbono apenas ligeramente superior al gas natural convencional, menor que el GNL y, para el caso de generación de energía, significativamente menor que el uso del carbón.

SHALE GAS Y LA EMISIÓN DE METANO (CH₄)

Como es sabido el gas natural es un hidrocarburo compuesto principalmente por metano (CH₄). También es sabido que el metano es uno de los principales gases de efecto invernadero del planeta. Por este motivo, la simple manipulación de gas

⁴¹ WHITE, Edward. FELL, Mike, et al. "Shale Gas and Fracking". Reino Unido, 2015.

natural representa un peligro de tipo medioambiental si éste no se maneja cuidadosamente.

Ahora, seguramente de primera mano podría pensarse que la emisión de metano como producto de la explotación de shale gas sería algo poco probable si se toman las medidas adecuadas, no obstante el peligro real resulta en que la emisión de este gas a la atmósfera puede ocurrir en cualquier etapa de la operación e incluso en etapas de distribución. Se sabe que durante la extracción de shale gas se presentan escapes de metano hasta de un 8% del depósito⁴², generalmente debido a malas prácticas durante el proceso de fracturamiento y el proceso de completamiento. En algunos casos incluso el fluido de fracturamiento recuperado luego de una operación de *fracking* puede regresar con trazas importantes de metano por lo que un mal almacenamiento (véase en la Figura 17 un fluido de fracturamiento de retorno al aire libre) puede contribuir a la emisión de este gas invernadero incluso durante días⁴³.

⁴² GIL ROMERO, Lina María. "Estudio de Factibilidad para el Desarrollo del Gas Shale como Fuente de Hidrocarburos No Convencionales en Colombia". Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.

⁴³ WHITE, Edward. FELL, Mike, et al. "Shale Gas and Fracking". Reino Unido, 2015.

Figura 17. Fluido de fracturamiento de retorno almacenado en una piscina de recolección puede generar escapes de metano a la atmósfera.



Tomado de: United Nations Environment Programme (UNEP), Global. 2013 Environmental Alert Service (GEAS). 2013.

Esta liberación accidental de metano es uno de los puntos más críticos en el tema de emisiones de gases de invernadero por operaciones de *shale gas*, pues el metano tiene un mayor impacto en el calentamiento global que el dióxido de carbono (alrededor de 21 veces más)³², pues este gas es mucho más eficiente atrapando el calor. El riesgo aumenta en muchos casos por el uso de instalaciones antiguas, líneas de flujo desgastadas y porque en algunos casos se tiene poco monitoreo sobre esta situación.

3.2.2 Otros contaminantes Otro gran contaminante producto de actividades relacionadas al *fracking* que genera gran preocupación es el polvo de sílice cristalina, generado durante la fabricación del material propante usado durante la operación de fracturamiento. Como se explicó en el capítulo anterior, el propante es el material utilizado que mantiene abiertas las fracturas generadas y usualmente es preparado con arena o compuestos derivados de la sílice.

El polvo de sílice puede ser generado durante la extracción y transporte de la arena así como en el proceso de preparación del fluido de fracturamiento, presentando un riesgo a la salud especialmente para el personal involucrado. Este material particulado, dentro del rango de tamaño respirable ($< 4 \mu\text{m}$), se considera un contaminante peligroso para la salud respiratoria e incluso un agente cancerígeno. Además de aumentar del riesgo de cáncer de pulmón, la exposición a sílice cristalina puede conducir a una enfermedad crónica pulmonar conocida como silicosis⁴⁴.

Se encontró también que específicamente en operaciones relacionadas a fracturamiento hidráulico, los trabajadores pueden estar expuestos peligrosamente a altas cantidades de sílice y que alrededor del 79% de los pozos en operaciones de *fracking* exceden los estándares mínimos aceptables de polvo de sílice según el Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud de los Estados Unidos²⁹.

Adicionalmente, durante operaciones de perforación de un pozo de *shale* es posible encontrar rocas que contengan materiales radiactivos naturales (NORM por sus siglas en inglés), como el radón, torio y uranio⁴⁵. En el capítulo 1 se explicó que gracias a los ambientes de depositación generados para la formación de *shales* es común encontrar minerales de diversos tipos, en algunos casos con componentes radiactivos. El Radio-226, por ejemplo, ha sido encontrado en varias formaciones de *shale* durante actividades de perforación en el Reino Unido⁴⁶.

Los recortes de roca que se obtienen en la perforación suelen ser enterrados en lugares cercanos a la locación o llevados a un vertedero. Sin embargo, el peligro ocurre cuando estos ripios son traídos a superficie mezclados con los fluidos de

⁴⁴ SPEIGHT, James, PhD. "Shale Gas Production Processes". Oxford, Estados Unidos, 2013.

⁴⁵ MCDERMOTT, Ruth. KAKTINS, Nina. SATTTLER, Barbara. "Fracking, the Environment, and Health". American Journal of Nursing. Junio, 2013.

⁴⁶ HAYS, Jake. FINKEL, Madelon. DEPLEDGE, Michael et al. "Considerations for the Development of Shale Gas in the United Kingdom". Reino Unido, 2015.

retorno los cuales son posteriormente depositados en piscinas abiertas o en tanques de almacenamiento de residuos. De este modo, a la espera de una correcta disposición, los materiales radiactivos se concentran, produciendo "materiales radiactivos tecnológicamente mejorados" (TENORM). Por lo que la exposición a la radiación puede ocurrir durante toda la operación e incluso en las actividades de transporte y desecho, y aunque muchos de estos componentes usualmente contienen niveles bajos de radiación, los trabajadores y las comunidades de zonas aledañas potencialmente podrían recibir niveles perjudiciales.

3.3 AFECTACIÓN AL SUELO

En los últimos años diversos estudios han venido señalando cierta relación entre el incremento de actividades tectónicas y el uso del *fracking* como herramienta para la explotación de *shale plays* alrededor del mundo. Podría decirse igualmente que diversos países europeos han encontrado veracidad en dicho fenómeno al encontrar cómo sus actividades sísmicas han ido incrementando conforme han ido accediendo al uso del *fracking* como tecnología para explotación de sus recursos de *shale gas*.

Dicho esto, en abril del 2011 se reportó un sismo en la localidad de Blackpool al noroeste de Inglaterra alrededor de 10 horas después de haber realizado una operación de *fracking* experimental en el pozo *Preese Hall* perforado por Cuadrilla Resources LTD a las afueras de la ciudad. Históricamente la zona geográfica del Reino Unido es un área con baja actividad sísmica, y Blackpool particularmente presenta uno de los índices más bajos. Conociendo que el último sismo de similar

magnitud había ocurrido en 1970 en aquella localidad, era poco probable que su ocurrencia fuera atribuida por causas naturales⁴⁷.

Posterior a esto y unos meses más tarde otro sismo ocurrió en aquel mismo lugar bajo las mismas condiciones (después de otra operación de *fracking* en el mismo pozo), situación que causó inquietud a nivel local y nacional, reflejados varios medios nacionales e internacionales^{48 49}.

Estudios realizados por la *British Geological Survey* (BGS) demostraron la relación entre las actividades de *fracking* a las afueras de la ciudad y los sismos ocurridos, específicamente aclarando que éstos fueron inducidos directamente por las operaciones de fracturamiento hidráulico realizados al pozo Preese Hall 1 (PH1)⁵⁰, como se muestra en la Figura 18.

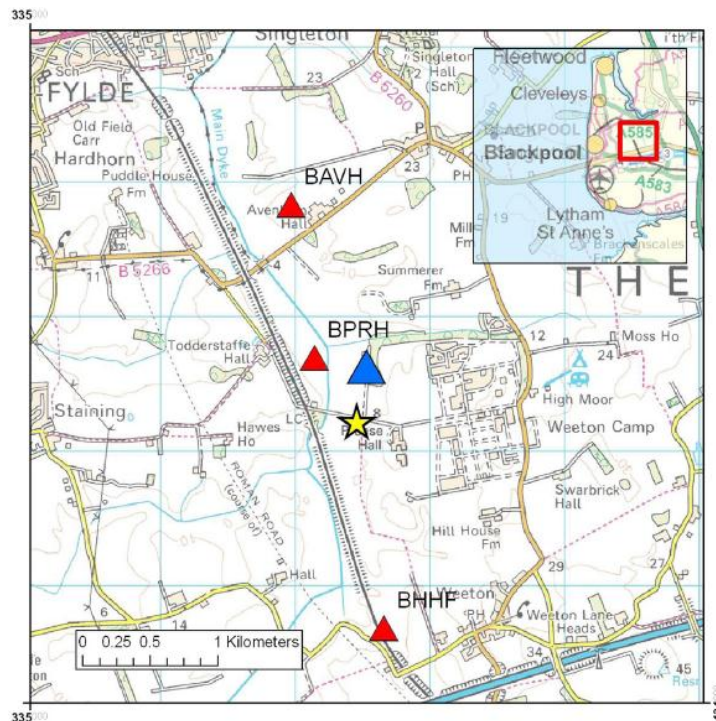
⁴⁷ STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

⁴⁸ BBC News. <http://www.bbc.com/news/uk-england-lancashire-25415187>. Diciembre, 2013.

⁴⁹ Vice News: <https://news.vice.com/article/the-only-fracked-site-in-the-united-kingdom-suffered-structural-failure>. Diciembre, 2014.

⁵⁰ British Geological Survey © NERC. http://earthquakes.bgs.ac.uk/research/earthquake_hazard_shale_gas.html. Reino Unido, 2014.

Figura 18. Localidad de Blackpool, epicentro del sismo y relación con las actividades de *fracking* cercanas.



Fuente: EARTHQUAKES British Geological Survey © NERC. [en línea+ disponible en: http://earthquakes.bgs.ac.uk/research/earthquake_hazard_shale_gas.html. Reino Unido, 2014.

La estrella amarilla representa el epicentro de la actividad sísmica y el pozo Preese Hall es representado por el triángulo azul. Los dos triángulos rojos indican la posición de dos sismómetros temporales instalados por la BGS. Como puede observarse existe una clara relación entre dicha actividad de *fracking* y los sismos presentados en la localidad.

Aunque en aquella ocasión los dos sismos presentados en *Blackpool* fueron de magnitud baja (1,5 y 2,3 grados en la escala de Richter respectivamente), su ocurrencia fue motivo de alarma e inquietud al punto de haber sido causal de suspensión de las actividades de la operadora¹¹. Si bien usualmente magnitudes menores a 3 M_L (Magnitud Local o escala de Richter) rara vez son sentidas en superficie, esto realmente es algo relativo pues depende altamente de la

profundidad a la que se presenta la actividad sísmica, por lo que no deja de ser un riesgo tanto para los estados mecánicos de la operación como para las localidades cercanas.

Si bien se pudo ver que las operaciones de *fracking* están directamente relacionadas a la presencia de actividad sísmica, aún es menester explicar la manera en que esto ocurre. Por este motivo es necesario aclarar que durante el inicio de una operación de *fracking* se generan una serie de sismos controlados, llamados microsismos, los cuales ocurren al momento de la inyección del fluido de fracturamiento el cual se inyecta a grandes presiones, mayores a los esfuerzos mínimos de la formación, con el fin de generar una serie de fracturas que generen canales de flujo para el paso de hidrocarburos. Contrario a lo que se pueda creer a un primer análisis, no son estos pequeños sismos los causantes de la problemática anteriormente descrita pues dicha perturbación comúnmente presenta valores menores a 0 M_L (usualmente alrededor de -1,5 M_L) prácticamente indetectables⁵¹. La información de dichas presiones es utilizada para evaluar la integridad y longitud de las fracturas inducidas⁵².

La verdadera razón de aquella actividad sísmica no deseada relatada anteriormente ocurre debido a que la operación de *fracking* de cierta manera contribuye a acelerar un proceso natural.

Las fallas naturales son algo de lo más común en la geología del planeta tierra. Son grandes cortes o fracturas que se generan en una roca debido a grandes esfuerzos de tensión o compresión. Un terremoto o sismo ocurre cuando los lados de una falla rozan uno con otro generando movimiento tectónico en la superficie

⁵¹ STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

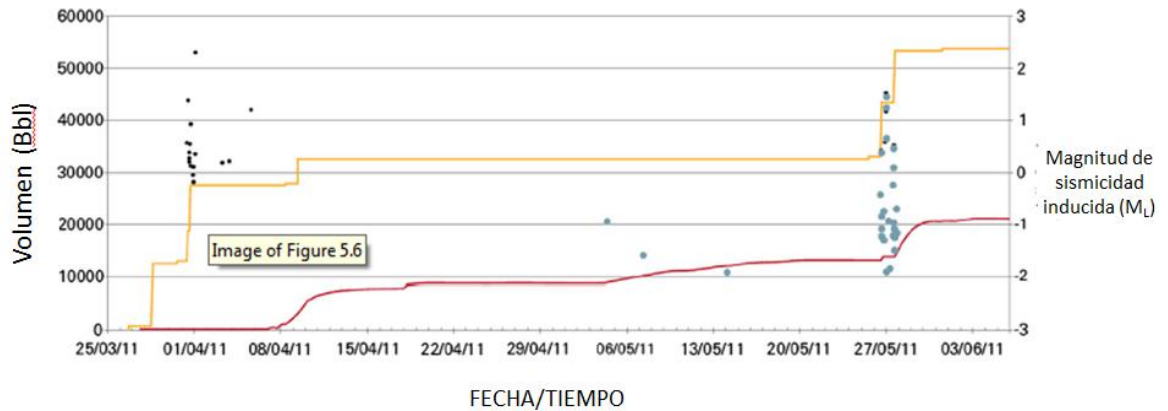
⁵² CABALLERO, Steven. CARRILLO, Beatriz. "Selección del Material Propante en Procesos de Fracturamiento Hidráulico en un Pozo Petrolero". Proyecto de grado, Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2012.

terrestre, algo poco común debido a las grandes fuerzas de fricción al interior de la fractura. Cuando esto ocurre generalmente está asociado a grandes esfuerzos como el movimiento de placas tectónicas o procesos de orogénesis que superan las fuerzas de fricción y obligan a la falla a ceder.

Cuando una operación de *fracking* se realiza en una zona con alguna falla cercana, y si ésta posee energía acumulada, el fluido inyectado puede entrar al interior de ésta y de cierta forma “lubricarla”, facilitando la liberación de energía y por tanto la generación de movimientos tectónicos. Esto ocurre principalmente porque no todo el fluido que ingresa al inicio de la operación puede ser recuperado hacia superficie, dejando dentro del subsuelo una cierta cantidad de fluido remanente que fácilmente podría migrar hacia una falla cercana si las condiciones geológicas lo permiten.

Volviendo al caso de la localidad de *Blackpool*, un estudio realizado por la *Royal Society and Royal Academy of Engineering* en el año 2012, encontró una relación directa entre la inyección de fluido de fracturamiento y la generación de actividad sísmica en el pozo de *Preese Hall* (ver Figura 19).

Figura 19. Relación entre volúmenes de fluido de fracturamiento inyectado y magnitud de sismicidad inducida para el pozo Preese Hall en la localidad de Blackpool.



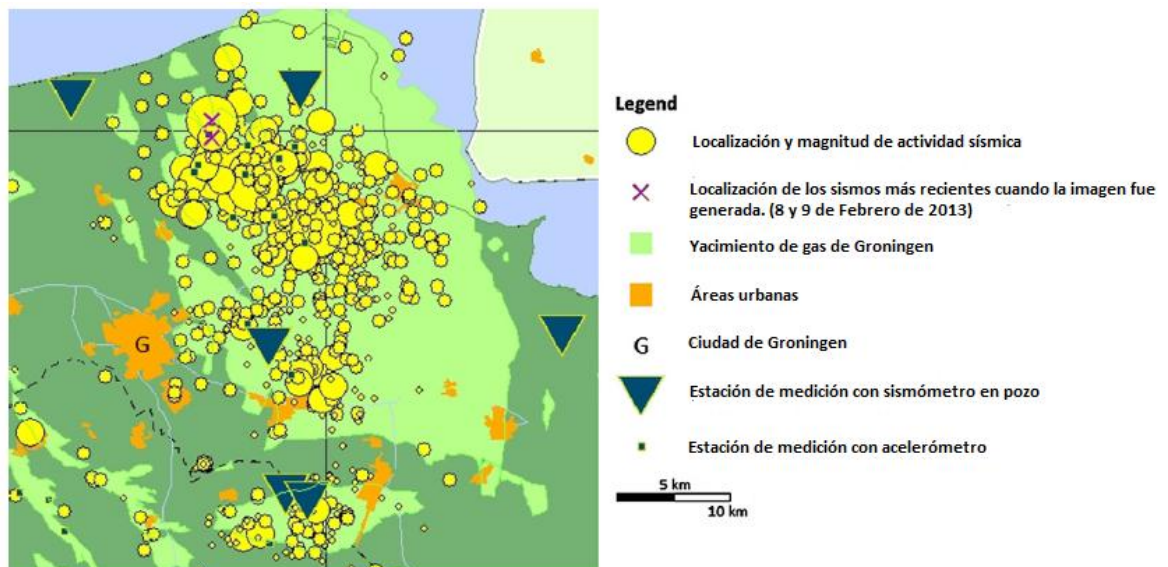
Fuente: Tomado de Royal Society and Royal Academy of Engineering. "Shale Gas Extraction in the UK: A Review of Hydraulic Fracturing. Reino Unido, 2012.

En la figura anterior se muestra la cantidad de fluido inyectado y el volumen recuperado después de la operación, adicionalmente muestra la magnitud de los sismos detectados, 1,5 y 2,3 M_L respectivamente. También se observa que adicionalmente a los dos sismos principales se presentaron varios otros movimientos tectónicos más pequeños, mostrando una clara relación entre la cantidad de fluido inyectado y la actividad sísmica generada en la zona. Posterior a dicha evidencia el gobierno británico exigió medidas preventivas para las actividades realizadas en la zona recomendando directamente el uso de "Preese Hall Shale Gas Fracturing: Review & Recommendations for Induced Seismic Mitigation"⁵³ el cual puede encontrarse actualmente en la página oficial de la gobernación mediante el siguiente enlace electrónico: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/15745/5075-preese-hall-shale-gas-fracturing-review.pdf.

⁵³ GREEN, Christopher. STYLES, Peter. BAPTIE, Brian. "Preese Hall Shale Gas Fracturing: Review & Recommendations for Induced Seismic Mitigation". Keele University, British Geological Survey and GFrac Technologies. 2012.

Por otro lado, la *Royal Netherlands Meteorological Institute* (KNMI), Instituto meteorológico Holandés, en el 2013 construyó un mapa que muestra la distribución de la actividad tectónica a lo largo de la región que rodea el campo gasífero de Groningen. Como se ve en la figura 20. Los círculos amarillos representan el lugar y la magnitud de la actividad sísmica y, como puede observarse la gran mayoría de sismos se concentran al interior de la zona que hace parte de la cuenca de gas. Alrededor de 60.000 personas habitan en estas zonas críticas de actividad.

Figura 20. Actividad sísmica registrada desde 1990 hasta el 2013 en el área de la ciudad de Groningen



Fuente: Tomado y modificado de Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). 2013.

4. CONCLUSIONES

- Los estudios realizados a lo largo de los últimos años determinan una clara relación entre operaciones de fracturamiento hidráulico y ciertos impactos ambientales y de salud pública. . En ciertos países de Europa esto ha sido causal de retraso en el avance de explotaciones de cuencas de *shale gas* debido a la alta preocupación que existe sobre el tema ambiental.
- Aún es necesario realizar investigaciones acerca de la explotación de hidrocarburos no convencionales de manera armónica con el medio ambiente, evaluando medidas de mitigación y control con el fin de poder desarrollar dichos recursos de una manera sostenible y segura de cara al futuro del panorama energético mundial.
- Los entes gubernamentales deben ser más estrictos, exigir un estudio ambiental en el que se pueda verificar todos los aspectos del proceso de exploración y extracción de *shale gas* ya que estas intervenciones deben tener un mejor control por parte de las multinacionales. Es una obligación cumplir con los requerimientos ambientales para velar por los recursos naturales y el mantenimiento sostenible de los mismos.
- La legislación en el tema ambiental juega un papel clave en el aseguramiento de buenas prácticas en procesos de fracturamiento hidráulico y explotación de pozos de *shale gas*, por lo que es necesario que los países europeos desarrollen una política integrada y común que permita el desarrollo de hidrocarburos no convencionales de una manera segura. De la misma manera es necesario fortalecer organismos de control y seguimiento con el fin de

asegurar el uso de buenas prácticas en los actuales proyectos de explotación de hidrocarburos no convencionales en el continente.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un enfoque más exhaustivo al panorama legislativo de los países europeos respecto a la posición que cada uno toma hacia el desarrollo del *shale gas* y el uso del *fracking* en el país.
- Realizar una recopilación bibliográfica de los impactos ambientales asociados al *fracking* que abarque no sólo a Europa sino a los principales productores de *shale gas* en el mundo pues son éstos quienes poseen mayor cantidad de investigaciones asociadas al tema.
- Realizar un análisis sociopolítico que permita determinar los diferentes factores que contribuyen que ciertos países se decidan por implementar tecnologías como *fracking* y otros a prohibir el uso del mismo para explotación de hidrocarburos no convencionales.
- Ampliar la recopilación bibliográfica a otro tipo de hidrocarburos no convencionales y a las consecuencias de su explotación en el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

ABELLÁN, Antonio Jódar. “Recursos No Convencionales Susceptibles de ser Explotados Mediante Fracking”. Trabajo de grado, Universidad de Murcia. España, 2014.

AGUILERA, Roberto. RIPPLE, Ronald D. “Link Between Endowments, Economics and Environment in Conventional and Unconventional Gas Reservoirs”. Estados Unidos, 2014.

BARANZELLI, Claudia. VANDECASTEELE, Ine, et al. “Scenarios for Shale Gas Development and Their Related Land Use Impacts in the Baltic Basin, Northern Poland”. Bruselas, Bélgica, 2015.

BBC News. uk-england-lancashire [en línea] disponible en: <http://www.bbc.com/news/uk-england-lancashire-25415187>. Diciembre, 2013.

British Geological Survey © NERC. [en línea] disponible en: http://earthquakes.bgs.ac.uk/research/earthquake_hazard_shale_gas.html. Reino Unido, 2014.

CABALLERO, Steven. CARRILLO, Beatriz. “Selección del Material Propante en Procesos de Fracturamiento Hidráulico en un Pozo Petrolero”. Proyecto de grado, Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2012.

Consejo Superior de Colegios de Ingeniera de Minas. “Gas No Convencional en España, Una Oportunidad de Futuro”. Facultad de Ingeniería Química, Universidad

Politécnica de Madrid. Facultad de Hidrogeología, Geología del Petróleo y Estratigrafía, Universidad de Oviedo. España, 2014.

DAVIES, Richard. MATHIAS, Simon, et al. "Hydraulic fractures: How far can they go?" Marine and Petroleum Geology. 2012.

EIA, Annual Energy Outlook 2011.

EIA, World Shale Gas Resources: Technically Recoverable Reserves. Estados Unidos. Abril 5, 2011.

El País. [en línea] disponible en: http://www.eldiario.es/sociedad/fracking-gasto-agua_0_231327466.html. Febrero, 2014.

GIL ROMERO, Lina María. "Estudio de Factibilidad para el Desarrollo del Gas Shale como Fuente de Hidrocarburos No Convencionales en Colombia". Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.

GREEN, Christopher. STYLES, Peter. BAPTIE, Brian. "Preese Hall Shale Gas Fracturing: Review & Recomendations for Induced Seismic Mitigation". Keele University, British Geological Survey and GFrac Technologies. 2012.

HAYS, Jake. FINKEL, Madelon. DEPLEDGE, Michael et al. "Considerations for the Development of Shale Gas in the United Kingdom". Reino Unido, 2015.

JASPAL, Rusi. NERLICH, Brigitte. LEMANCYZK, Szczepan. "Fracking in the Polish Press: Geopolitics and National Identity". Reino Unido, 7 de Septiembre, 2014.

JOHNSON, Corey. BOERSMA, Tim. "Energy (in) security in Poland the case of shale gas". 2012.

KPMG International. Shale Gas – A Global Perspective. Diciembre de 2011.

MCDERMOTT, Ruth. KAKTINS, Nina. SATTLER, Barbara. "Fracking, the Environment, and Health". American Journal of Nursing. Junio, 2013.

MELIKOGLU, Mehmet. "Shale Gas: Analysis of its Role in the Global Energy Market. Gebze Institute of Technology. Gebze, Turkey, 2014.

Ministry of Economic Affairs. "Gas Production in the Netherlands: Importance and Policy": [en línea] disponible en: http://www.sodm.nl/sites/default/files/redactie/gas_letter_eng.pdf. Holanda, 2008.

NAVARRO, Angel. RAMIREZ, Jaime. "El gas de Lutitas (Shale Gas) en México. Recursos, explotación, usos impactos" Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México, 2013.

Royal Society and Royal Academy of Engineering. "Shale Gas Extraction in the UK: A Review of Hydraulic Fracturing". Reino Unido, 2012.

SPEIGHT, J.G. "Natural Gas: A Basic Handbook". GPC Books, Gulf Publishing Company. Houston, Texas, 2007.

SPEIGHT, James. "Shale Gas Production Processes". Oxford, Estados Unidos, 2013.

STEPHENSON, Michael. "Shale gas and Fracking". Estados Unidos, 2015.

THORNTON, SI. "Encyclopedia of Toxicology, Volume 2: Fracking". Leawood, Estados Unidos, 2014.

Tyndall Centre for Climate Change Research. Shale Gas: An Updated Assessment for Environmental and Climate Change Impacts. Noviembre, 2011.

VAN DER VOORT, Nick. VANCLAY, Frank. "Social Impacts of Earthquakes Caused by Gas Extraction in the Province of Groningen, The Netherlands". Departamento de Geografía Cultural, Universidad de Groningen. Groningen, Holanda, 2014.

VICE NEWS: [en línea] disponible en: <https://news.vice.com/article/the-only-fracked-site-in-the-united-kingdom-suffered-structural-failure>. Diciembre, 2014.

WHITE, Edward. FELL, Mike, et al. "Shale Gas and Fracking". Reino Unido, 2015.