

**ANÁLISIS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA
EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DESDE UN
CONTEXTO INTERNACIONAL Y SU APLICACIÓN EN COLOMBIA**

LAURA MARGARITA ROMERO FUENTES

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016**

**ANÁLISIS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA
EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DESDE UN
CONTEXTO INTERNACIONAL Y SU APLICACIÓN EN COLOMBIA**

LAURA MARGARITA ROMERO FUENTES

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Orientador
JIMMY ALVAREZ
Biólogo**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá, D.C., Octubre de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gerencia de la Calidad

Dr. Francisco Archer Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino y permitirme cumplir cada meta que me he propuesto a lo largo de mi vida.

A mis padres, por darme la vida, el amor y la educación que me han convertido en la mujer que soy; por siempre brindarme las herramientas y los medios para cumplir mis sueños personales y mis metas profesionales.

A mis hermanas, por ser mi apoyo incondicional y por hacer de su vida un ejemplo para la mía.

A mi compañero de vida, amigo y novio por estar a mi lado animándome siempre a dar lo mejor de mí para alcanzar cada uno de los objetivos que me he fijado.

A mi mejor amiga, por convertirse en mi hermana y mi cómplice, por compartir mis sueños y ser partícipe de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis papás por ser mi más grande motivación e inspiración para seguir creciendo profesionalmente.

Un agradecimiento especial al profesor Jimmy Álvarez, por su asesoría, tiempo y dedicación durante la elaboración de esta monografía.

Gracias a los profesores que durante la especialización me brindaron su apoyo y me enseñaron a sentir más pasión por la Gestión Ambiental.

Agradezco al Doctor Francisco Archer, por hacer un gran papel como Director de la Especialización, por su dedicación y estar siempre pendiente de cada uno de sus pupilos.

Finalmente, agradezco especialmente a Camilo Romero, Lina Gaitán y Camilo Gómez, por ser grandes personas y amigos, por recorrer junto a mí este camino y hacer más fácil el alcance de este nuevo peldaño profesional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	15
OBJETIVOS	16
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES	17
1.1.1 Yacimientos de Petróleo	18
1.1.2 Yacimientos de Gas	18
1.2 RIESGOS AMBIENTALES	22
2. RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES	25
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES	25
2.1.1 Componente Suelo	25
2.1.2 Componente Agua	27
2.1.3 Componente Aire	31
2.1.4 Componente socio-económico	32
2.2 DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES EN EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO	33
3. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES	37
3.1 ANALISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS	37
3.1.1 Aproximación metodológica	37
3.1.2 Valoración cualitativa de los riesgos	39
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MITIGACIÓN	42
3.2.1 Definición de las alternativas de mitigación	42
3.2.2 Estrategias de contingencia ante derrames en agua y suelo	44
3.2.3 Plan de mitigación	46
3.2.3.1 Emisión de gases efecto invernadero	46
3.2.3.2 Agotamiento de los recursos naturales	47
3.2.4 Afectación socioeconómica	49
4. REGLAMENTACIÓN Y APLICABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES	51
4.1 ENFOQUE NORMATIVO PARA LOS YNC EN COLOMBIA	51
4.2 NORMATIVA VIGENTE	52
5. CONCLUSIONES	54
6. RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	58
ANEXOS	61

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Resumen: Riesgos Ambientales	34
Cuadro 2. Plan de mitigación de emisiones de efecto invernadero	46
Cuadro 3. Plan de mitigación para el agotamiento de los recursos naturales	47
Cuadro 4. Plan de mitigación para la afectación socioeconómica	49

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Distribución de riesgos según componente afectado	36
Gráfica 2. Resultados de la valoración cualitativa de los riesgos	41
Gráfica 3. Distribución de la valoración de riesgos	41

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Técnicas de perforación	20
Imagen 2. Esquema del fracking	21
Imagen 3. Terminología relacionada con riesgo	24

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Cantidades de agua requerida para fracturamiento hidráulico en diferentes formaciones	28
Tabla 2. Medición cualitativa de la posibilidad	38
Tabla 3. Mediciones cualitativas del impacto	38
Tabla 4. Matriz de interacción entre las posibilidades y los impactos: Nivel de riesgo	38
Tabla 5. Valoración cualitativa de los riesgos	39
Tabla 6. Escenarios de amenaza identificados	42
Tabla 7. Estrategias ante derrames en suelo y/o agua	44

RESUMEN

La presente monografía tuvo como objetivo general el análisis de los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales desde un contexto internacional y su aplicación en Colombia. Para lograr el propósito de la misma se procedió a realizar una investigación documental sobre estudios de caso que permitieron la identificación de los principales riesgos ambientales asociados al fracturamiento hidráulico.

El análisis y la valoración de estos riesgos permitieron identificar tres escenarios de riesgo que mostraron un nivel de amenaza alto, los cuales presentan una posibilidad de ocurrencia moderada o frecuente junto con una intensidad de impacto crítica o catastrófica. Estos escenarios identificados fueron: 1) contaminación de los recursos naturales; 2) agotamiento de los recursos naturales y; 3) afectación socioeconómica. Para cada uno de estos escenarios se plantearon alternativas de mitigación con el fin de hacer un manejo y control adecuado de ellos. Durante la evaluación de los riesgos y sus alternativas de mitigación se tuvo en cuenta la normatividad que regula la explotación de yacimientos no convencionales en Colombia. En este proceso se encontró que no hay un desarrollo completo de la normatividad en cuanto al manejo de los riesgos para minimizar la afectación al medio ambiente y a la comunidad del área de influencia directa de los futuros proyectos de explotación que se planean adjudicar en Colombia.

Finalmente, se plantea la necesidad que en Colombia se regule adecuadamente la explotación de yacimientos no convencionales por medio de la fracturación hidráulica, exigiendo planes de mitigación, estrategias de contingencia y demás alternativas de manejo y mitigación de riesgos que aseguren el cuidado y la conservación de la calidad del medio ambiente y de la comunidad.

Palabras claves: Colombia. Fracturamiento hidráulico. Fracking. Impactos ambientales. Riesgos ambientales. Yacimientos no convencionales

GLOSARIO

FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO: también denominado fracking o hidrofractura y/o estimulación hidráulica, es una técnica por la cual la roca madre (lutita) es fracturada mediante la inyección de fluidos a altas presiones con una mezcla de agua, productos químicos y arena, con la finalidad de generar fisuras artificiales en la roca y hacer fluir el petróleo al pozo a través de las fracturas artificialmente generadas; las fracturas permanecen abiertas gracias a la colocación o apuntalamiento de arena u otro material granular.

LUTITA –Shale-: roca sedimentaria de grano fino compuesta principalmente por arcilla o lodo consolidado. Principales formaciones de yacimientos no convencionales, conforman la fuente más importante de gas natural atrapado en rocas de baja permeabilidad.

PERMEABILIDAD: capacidad que tiene una roca de permitir el flujo de fluidos a través de sus poros interconectados. Se mide normalmente en Darcies o Milidarcies.

POROSIDAD: medida de los espacios vacíos de un material, resulta ser una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos de una roca. Se define como la fracción (expresada en porcentaje) del volumen total de la roca que corresponde a los espacios capaces de alojar fluidos.

ROCA GENERADORA/MADRE: una roca rica en contenido de materia orgánica que, si recibe calor en grado suficiente, generará petróleo o gas. Las rocas generadoras típicas, normalmente lutitas o calizas, contienen aproximadamente un 1% de materia orgánica y al menos 0,5% de carbono orgánico total (COT), si bien una roca generadora rica podría contener hasta 10% de materia orgánica.

ROCA SELLO: capa relativamente impermeable que impide que los fluidos sigan migrando una vez constituye el yacimiento.

YACIMIENTOS CONVENCIONALES: yacimiento asociado a cuerpos rocosos arenosos, que por sus características habitualmente permiten que el petróleo o el gas natural fluyan con facilidad hacia el interior de los pozos. Generalmente este tipo de yacimientos no requieren de tratamientos mayores de estimulación lo que permite que sean producidos a tasas económicas de flujo.

YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES: yacimiento asociado a cuerpos geológicos lutíticos de baja permeabilidad, lo que hace de su extracción un proceso difícil que requiere de nuevos métodos para su explotación. Entre estos tipos de yacimientos se encuentra el Oil Shale y Gas Shale.

INTRODUCCION

Los yacimientos no convencionales son formaciones que contienen hidrocarburos en unas condiciones geológicas que no permiten el movimiento del fluido, por encontrarse depositados en rocas poco permeables o por tratarse de petróleos de muy alta viscosidad. El desarrollo de este tipo de yacimientos se hace por medio de una técnica conocida como fracking o fracturamiento hidráulico, la cual ha despertado gran controversia a nivel mundial en comunidades y grupos ambientales debido a los riesgos asociados a la actividad.

La necesidad que tiene Colombia de adicionar reservas hidrocarburíferas ha llevado a que se considere inminente el aprovechamiento de los recursos provenientes de yacimientos no convencionales, que según estudios geológicos realizados por la ANH tienen un alto potencial de producción. Razón por la cual en la Ronda 2012 se ofrecieron y adjudicaron bloques con prospectividad de yacimientos no convencionales con el objetivo de que las empresas operadoras lleven a cabo procesos de exploración para determinar el verdadero potencial con que cuenta el país y la posterior explotación de éste.

De lo anterior nace el propósito de este trabajo, con el cual se busca realizar la identificación de los riesgos ambientales que puedan presentarse durante la explotación de yacimientos no convencionales partiendo de casos de estudio internacionales, para así mismo diseñar alternativas de mitigación para los riesgos que presentan un nivel de amenaza alta tanto para el ambiente como para la población en general. La finalidad de lo anterior es poder comparar los resultados obtenidos con la normatividad que Colombia ha implementado para el desarrollo de este tipo de yacimientos y así poder evaluar la aplicabilidad de las experiencias internacionales al ámbito nacional.

El estudio de los riesgos ambientales y sus posibles actividades de mitigación comparado con lo que se ha reglamentado en Colombia, evidencia la falta de profundidad e importancia que se ha dado a los riesgos ambientales y sociales asociados a la exploración de yacimientos no convencionales en el país, al centrarse netamente en los procedimientos técnicos y operacionales de dicha actividad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales desde un contexto internacional y su aplicación en Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales en el contexto internacional.
- Asociar los riesgos de la explotación de yacimientos no convencionales con sus posibles actividades de mitigación desde un análisis de estudios de caso internacionales.
- Comparar el plan de mitigación de riesgos obtenido del análisis de estudios de caso internacionales con la reglamentación vigente en Colombia sobre el tema.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

Según Sánchez¹, en la actualidad sigue siendo el petróleo, el carbón y el gas natural las principales fuentes para la producción de energía. Teniendo en cuenta la importancia que tiene la industria energética en el crecimiento y desarrollo socio-económico de los países, ha surgido la necesidad de asegurar la suficiente producción de estas fuentes que permitan cubrir la demanda de energía que a nivel mundial está creciendo exponencialmente.

Como lo expone la Asociación Colombiana de Petróleos (ACP), en el artículo “Yacimientos no convencionales: el nuevo boom” publicado en la Revista ACP Hidrocarburos², “ante las predicciones sobre la posible escasez de los hidrocarburos convencionales en menos de 40 años, los reservorios no convencionales han empezado a cobrar mayor importancia en el mercado energético a nivel mundial”. En la misma publicación mencionan que para la National Intelligence Council los hidrocarburos de yacimientos no convencionales se presentan como un factor clave para mantener y aumentar las reservas de hidrocarburos del mundo y preservar el mercado energético.

Carrillo³, ingeniero de yacimientos de la China National Petroleum Corp, define las reservas como aquellas cantidades de hidrocarburos que pueden ser recuperadas comercialmente de acumulaciones conocidas a una fecha dada, constituyendo tan sólo la parte recuperable y explotable de los recursos de hidrocarburos en un tiempo determinado. Algunas de las partes no recuperables del volumen original de hidrocarburos pueden ser consideradas como reservas, dependiendo de las condiciones económicas, tecnológicas, o de otra índole, que lleguen a convertirlas en volúmenes recuperables.

Según la ACP⁴, en los últimos años han sido pocos los nuevos descubrimientos incorporados a las reservas de hidrocarburos en Colombia, por esto el Gobierno estima que las reservas del país son suficientes solamente para 6,6 años.

¹ SÁNCHEZ CANO, Julieta Evangelina. La revolución energética del siglo xxi: fracturación hidráulica versus energía renovable. En: Perfiles de las ciencias sociales. Julio - Diciembre. vol. 3, p. 129-139

² ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Yacimientos no convencionales: el nuevo boom. En: ACP Hidrocarburos. Junio de 2012. vol. 3, Junio-Agosto, p. 36-43

³ CARRILLO BARANDIARÁN, Lucio. Esquistos bituminosos “Oil shale”. Lima: 2011. p. 3-13

⁴ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Posición de la industria petrolera de Colombia frente al desarrollo de los yacimientos no convencionales. Bogotá: 2012. p. 2-4

Como Etherington⁵ lo menciona, “un reservorio no convencional es aquel que no puede ser producido a tasas económicas sin ayuda de tratamientos de estimulación masiva o de procesos especiales de recuperación”. Definido de forma más amplia, los recursos no convencionales son aquellos que están contenidos en reservorios de baja permeabilidad o que poseen petróleo pesado o de alta viscosidad, y que requieren tecnologías avanzadas de perforación o estimulación, a fin de lograr la producción a tasas de flujo comerciales.

Según Carrillo⁶, los recursos no convencionales se pueden clasificar así:

1.1.1 Yacimientos de Petróleo

- *Yacimientos de Petróleo Pesado*: resultado de la oxidación bacterial de los petróleos convencionales dentro de la roca reservorio. Estos tienen diferentes propiedades físicas y químicas, que son generalmente degradadas, como son: alta viscosidad, alto contenido de metales y mayor contenido de azufre y nitrógeno que el petróleo convencional.
- *Yacimientos Oil Shale*: reservorios en los que los niveles de la roca productora, la roca madre, son ricos en materia orgánica, esa materia orgánica sufrió los procesos físico-químicos para convertirse en hidrocarburos, pero no llegó a darse ningún tipo de migración.
- *Yacimientos Oil Sand*: granos de arena o rocas porosas de carbonato que están íntimamente mezcladas con un crudo muy pesado, tipo asfalto llamado bitumen.

1.1.2 Yacimientos de Gas

- *Yacimientos Tight Gas*: formaciones de areniscas o carbonatos de baja permeabilidad que impiden que el gas fluya naturalmente.
- *Yacimientos Shale Gas*: formaciones de lutita de grano fino con permeabilidad baja, el gas ha sido fijado por absorción a las partículas de arcilla o está atrapado dentro de pequeños poros y micro fracturas.
- *Yacimientos Gas Hydrate*: combinación cristalina de gas natural y agua, formada a bajas temperaturas y alta presión. El gas de este tipo proviene de la descomposición microbiana de materia orgánica.

⁵ ETHERINGTON (2005), citado por CARRILLO BARANDIARÁN, Lucio. Esquistos bituminosos “Oil shale”. Lima: 2011. p. 3-13

⁶ CARRILLO BARANDIARÁN, Lucio. Esquistos bituminosos “Oil shale”. Lima: 2011. p. 3-13

- *Yacimientos Coalbed Methane (CBM)*: se conoce como metano en capas de carbón, al gas con alto contenido en metano que procede de yacimientos subterráneos de carbón.

Según el artículo “Yacimientos no convencionales: el nuevo boom”⁷, aunque a nivel mundial los hidrocarburos de yacimientos no convencionales no son novedad, hasta hace algunos años no se habían podido explotar porque la tecnología requerida para su extracción era muy costosa, lo que no hacía rentable la operación.

Como lo mencionan Urresti y Marcellesi⁸, la industria ha venido desarrollando diferentes métodos de perforación que ayudan a mejorar las propiedades de la formación y así poder producir los recursos no convencionales de forma tal que se hagan rentables.

La forma de mejorar estas propiedades de roca ha sido a partir del aumento del número y tamaño de sus poros y uno de los métodos utilizados para lograrlo es la inyección de agua a alta presión para provocar la fractura de la formación, esta técnica es conocida como fracturación hidráulica o *fracking*. Valdés⁹ expone que el *fracking* se lleva a cabo con el objetivo de extraer el gas o el petróleo que está atrapado en las rocas madre, los cuales se encuentran a una profundidad aproximada de dos kilómetros.

Según Boudet¹⁰, desde inicios de los años 2000 las empresas de perforación empezaron a combinar la perforación horizontal con la fractura hidráulica para la extracción de los recursos no convencionales. Este proceso implica la perforación horizontal a través de una capa de roca y la inyección de una mezcla presurizada de agua, arena y otros productos químicos en las fracturas de la roca y así facilitar el flujo del petróleo y el gas hacia el pozo principal.

⁷ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Yacimientos no convencionales: el nuevo boom. En: ACP Hidrocarburos. Junio de 2012. vol. 3, Junio-Agosto, p. 36-43

⁸ URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: una fractura que pasará factura. En: Ecología política, España. 2012. vol. 15, p. 23-28

⁹ VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucía. “El Fracking: impactos ambientales y socioeconómicos”. Madrid, España: p. 1-9

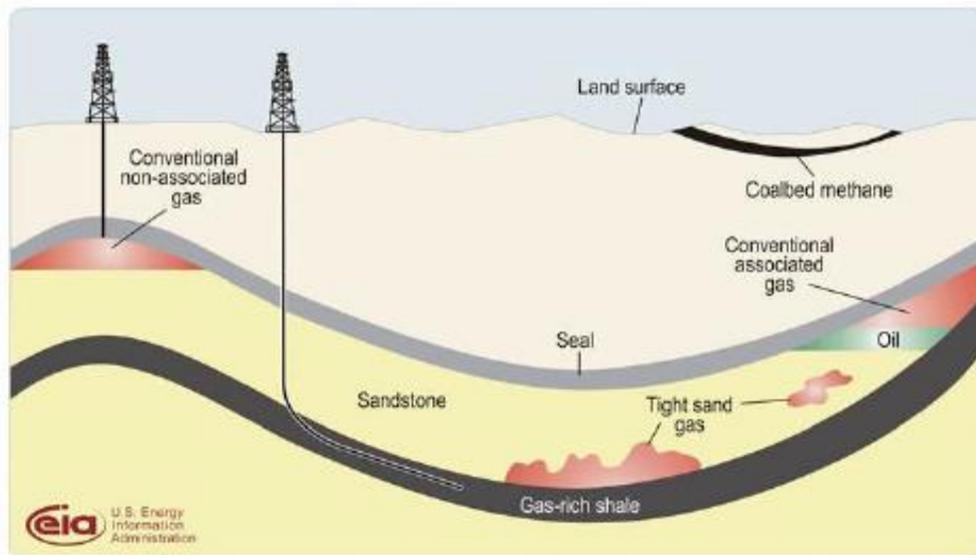
¹⁰ BOUDET, H., et al., “Fracking” controversy and communication: Using national survey data to understand public perceptions of hydraulic fracturing. Energy Policy (2013), citado por VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucía. “El fracking: impactos ambientales y socioeconómicos”. Madrid, España: p. 1-9

El proceso de la fracturación enunciado por Valdés¹¹ consta de los seis pasos enunciados a continuación:

- Plataforma de perforación
- Proceso de perforación vertical.
- Perforación horizontal del yacimiento.
- Fase de terminación.
- Liberación de los recursos no convencionales (petróleo y gas).
- Producción del recurso

Descrito de manera más detallada por Urresti y Marcellesi¹², a diferencia de los yacimientos convencionales, en donde los pozos son perforados verticalmente, en los yacimientos no convencionales se inicia la perforación de los pozos de manera vertical, pero al alcanzar la capa que contiene el recurso se desvía la trayectoria de perforación para penetrar a lo largo de la formación toda la longitud posible. En la Imagen 1 se presenta un ejemplo de las técnicas de perforación para la extracción de gas de un yacimiento convencional y un yacimiento no convencional, respectivamente.

Imagen 1. Técnicas de perforación



Fuente: Energy Information Administration (EIA)

Al término de la perforación horizontal, se aíslan tramos del pozo desviado y se envían cargas explosivas para perforar la tubería y luego poder inyectar el agua a alta presión junto con los aditivos y químicos. El objetivo de esta fracturación es

¹¹ VALDÉS AGUIRRE, Op., Cit., p. 2.

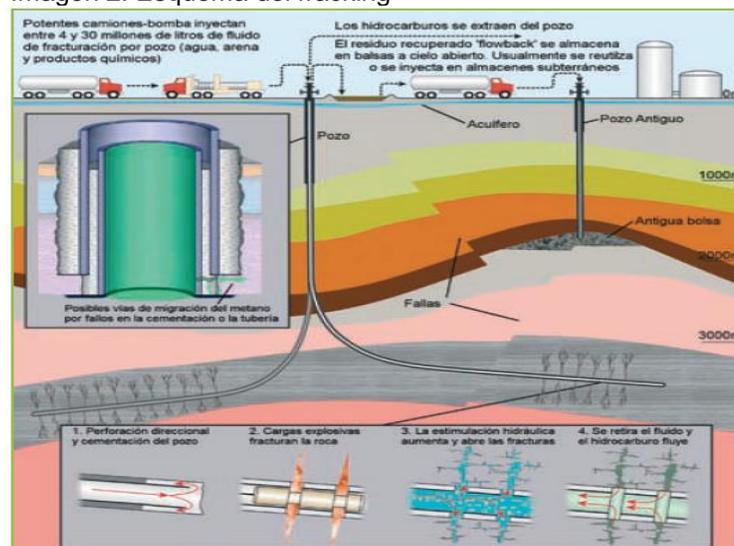
¹² URRESTI y MARCELLESI, Op., Cit., p. 25.

generar nuevas fracturas en la formación y ampliar las existentes. Este proceso se puede llegar a realizar hasta 15 veces por cada uno de los tramos para lograr los objetivos trazados en cada uno de ellos. Uno de los aditivos comúnmente utilizados es la arena, la cual queda atrapada en las grietas de la formación, apuntalándolas e impidiendo que se cierren una vez retirada la presión ejercida.

Como lo mencionan Urresti y Marcellesi¹³, al subsuelo son bombeadas hasta 500 sustancias, entre las cuales 17 son tóxicas para organismos acuáticos, 38 son tóxicos agudos, 8 son cancerígenos probados, 7 son elementos mutagénicos. Entre otros destaca la presencia de ácidos, antioxidantes, biocidas, bencenos, xilenos, disulfuros de carbono y compuestos de piridina. Por lo anterior, se considera que la composición exacta del fluido utilizado en el fracking es desconocida y está exenta de políticas medioambientales en muchos países al ser parte del secreto empresarial de las empresas encargadas de esta operación.

Por otro lado, en cada perforación realizada, son necesarios alrededor de 200.000 m³ de agua para llevar a cabo la fracturación hidráulica y sabiendo que, aproximadamente, los aditivos equivalen al 2% del agua bombeada, se están inyectando cerca de 4.000 toneladas de productos químicos altamente contaminantes. Gran parte de este fluido inyectado retorna posteriormente a superficie, así como también, el fluido que no retorne, se puede quedar en el subsuelo y migrar hacia un acuífero o fuente hídrica superficial. En la Imagen 2 se muestra el esquema generalizado del proceso del fracking.

Imagen 2. Esquema del fracking



Fuente: GÓMEZ JIMÉNEZ, David; SANZ OLIVA, Jorge y PORTERO LARRAGUETA, Jaime. Hidrocarburos no convencionales en EEUU y sus implicaciones.

¹³ URRESTI y MARCELLESI, Op., Cit., p. 25.

“Una práctica habitual es la perforación de varios pozos a pocos metros de distancia entre sí, que se conectan en superficie para que produzcan de manera simultánea. A cada uno de estos conjuntos de pozos se le denomina plataforma. A pesar de que con esta técnica de perforación se consigue mejorar la cantidad de gas a extraer por cada pozo, la mejora sigue sin ser suficiente, con lo que es necesario realizar una gran cantidad de perforaciones en superficie”¹⁴. Por lo tanto, esta técnica tiene una alta tasa de ocupación del suelo, pues cada una de las plataformas suele abarcar alrededor de dos hectáreas.

Finalmente, cabe mencionar que la vida útil de este tipo de pozos es de 5 a 6 años, periodo muy corto a comparación de los pozos utilizados para la producción de recursos convencionales. Una vez finalizada la vida útil de cada pozo es necesario llevar a cabo su abandono sellándolo con tapones de cemento.

1.2 RIESGOS AMBIENTALES

Sarlingo¹⁵ expone que los recursos no convencionales tienen un menor riesgo prospectivo frente a los convencionales. Sin embargo, esta disminución en la incertidumbre exploratoria va acompañada de mayores riesgos técnicos y ambientales asociados a la explotación de campos productores. Razón por la cual, a nivel mundial, la explotación de este tipo de yacimientos ha generado gran controversia debido a las diferentes opiniones que suscita el tema en términos sociales, económicos y ambientales. De hecho, en países como Francia, Bulgaria e Irlanda del Norte se ha llegado a la prohibición de éstas prácticas al considerar que traen consigo efectos adversos para el medio ambiente e incluso para el bienestar de las personas que viven cerca de las regiones donde se llevan a cabo dichas prácticas.

De la Cruz¹⁶ define desde las ciencias ambientales un **riesgo ambiental**, como la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe al medio ambiente debido a un fenómeno natural o una acción humana. Es por esto que los riesgos ambientales se pueden clasificar en:

- *Riesgos naturales*: los cuales son producidos por fenómenos netamente relacionados con la naturaleza.

¹⁴ *Ibíd.*, p. 25.

¹⁵ SARLINGO, Marcelo. Impactos socioambientales del fracking. Opacidad, política ambiental y explotación de hidrocarburos no convencionales. En: Atek Na [En la tierra]. 2013. vol. 3, p. 237-269

¹⁶ DE LA CRUZ SÁNCHEZ, Alba. Identificación de los riesgos ambientales y sanitarios de la producción de gas mediante fracturación hidráulica y bases para una propuesta metodológica de vulnerabilidad de las aguas subterráneas. España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, 2013. p. 5-123

- *Riesgos antropogénicos*: que son aquellos producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales puedan condicionar su gravedad.

Para nuestro país, según la Guía Técnica Colombiana GTC 104¹⁷, el *riesgo* se define como la posibilidad de que suceda algo que tendrá un impacto y es medido en términos de consecuencias y su posibilidad de ocurrencia. Cuando se estudia el riesgo en un contexto ambiental, se debe considerar las consecuencias ambientales de una gravedad determinada y la posibilidad de que se presente esa consecuencia particular.

Relacionados con el riesgo, existen otros términos clave que deben ser definidos antes de realizar el estudio y la gestión del riesgo; en la Imagen 3 se presenta de manera gráfica, mediante un ejemplo, la relación que tiene cada uno de los siguientes términos:

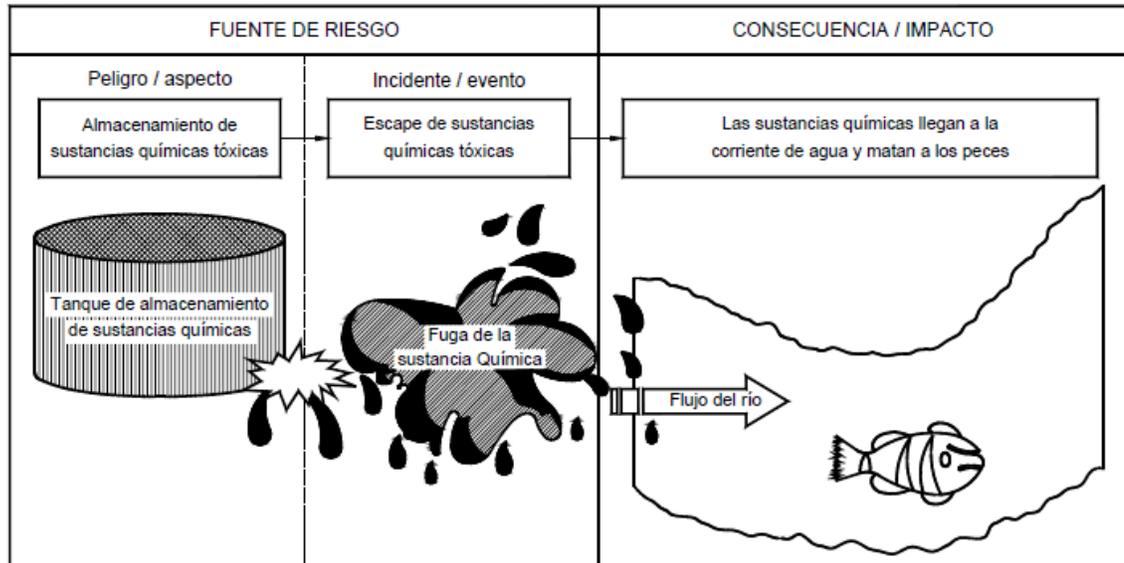
- *Fuente de riesgo*: se puede definir como una entidad física, química o biológica que induce una respuesta adversa e incluye todas las fuentes de peligro cuando existe una relación causa-efecto y abarca peligros y/o aspectos ambientales e incidentes y/o eventos.
- *Peligro*: es fuente de daño potencial o situación con el potencial de causar pérdida o impactos adversos; un peligro contiene un potencial intrínseco o energía susceptible a ser liberada.
- *Aspectos ambientales*: son los elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente.
- *Incidente*: es cualquier suceso que pueda tener uno o varios impactos adversos sobre el ambiente. El incidente libera el potencial intrínseco o energía del peligro.
- *Evento*: es definido como un suceso que puede ser corto, momentáneo o regular.
- *Consecuencias*: resultado o impacto de un evento. Se puede expresar cuantitativa o cualitativamente. Pueden existir varias consecuencias posibles asociadas a un solo evento.
- *Impacto*: es el resultado de un incidente que libera el potencial de la fuente de riesgo. Para este caso, un impacto ambiental se define como cualquier cambio

¹⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Guía Técnica Colombiana GTC 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2009. p. 1-86

en el ambiente, ya sea adverso o benéfico, que es el resultado total o parcial de las actividades, productos o servicios de una organización.

Un *impacto ambiental* se puede describir en términos de la gravedad de las consecuencias.

Imagen 3. Terminología relacionada con riesgo



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Guía Técnica Colombiana GTC 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2009. p. 1-869

La valoración del riesgo es un proceso de identificación, análisis y evaluación del riesgo y para esto se debe conocer la frecuencia, la probabilidad y la posibilidad de ocurrencia de éste.

- *Frecuencia*: es la tasa de ocurrencia de un efecto, se expresa como la cantidad de tales ocurrencias en un tiempo determinado.
- *Probabilidad*: es la posibilidad de un evento específico, medida por la relación de los eventos específicos y la cantidad total de eventos posibles. La probabilidad se expresa con un número entre 0 y 1, donde 0 indica un evento imposible y 1 indica un evento seguro. La probabilidad es una medida numérica y se puede usar en enfoques de riesgo cuantitativo.
- *Posibilidad*: es una descripción general de la probabilidad o de la frecuencia, es decir, se relaciona con la posibilidad de que algo suceda. La posibilidad se usa en los enfoques de análisis cualitativo de riesgos.

2. RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES

Para el presente caso de investigación, la identificación de los aspectos ambientales se basa en el procedimiento establecido para la evaluación de impactos ambientales en Colombia. Los cuales se identifican para relacionarlos con las actividades desarrolladas en cualquier proyecto, obra o infraestructura estudiada. Para cada uno de los aspectos ambientales identificados, inmediatamente se relaciona cada uno con las actividades de la operación del fracking encontradas y al mismo tiempo se establece la afectación que se hace sobre los mismos. Este es un primer paso para determinar los riesgos ambientales que se estudiarán posteriormente.

A continuación se presentan cada uno de los componentes ambientales evaluados en un Estudio de Impacto Ambiental (EIA):

2.1.1 Componente Suelo

Como lo menciona Avellaneda¹⁸, la actividad petrolera en sus diferentes etapas ocasiona contaminación y cambios en los usos del suelo, remoción de material para construcción de vías, instalaciones y pozos, modificaciones bióticas en los hábitats naturales, entre otros. A continuación se enumeran los riesgos ambientales propios del suelo e identificados en la explotación de yacimientos no convencionales.

2.1.1.1 Ocupación del terreno

“La producción de petróleo requiere múltiples actividades industriales en el sitio durante la vida del yacimiento”¹⁹ y, como ya se había mencionado anteriormente, para lograr una producción importante de recursos no convencionales es necesaria la perforación de gran número de pozos por lo cual la demanda de superficie es mayor, ya que se necesitan alrededor de 2 a 3 hectáreas de

¹⁸ AVELLANEDA, Alfonso. Petróleo e impacto ambiental en Colombia. p.2. citado por BAUTISTA, Nidia Judith; MEJÍA, Neyla Milena y ORTIZ, Yudith Fernanda. Análisis comparativo de los riesgos socioeconómicos y ambientales en la exploración de hidrocarburos con tecnología no convencional en los municipios de Puerto Wilches y Barrancabermeja Santander. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales, 2014. p. 16-92

¹⁹ BAUTISTA, Nidia Judith; MEJÍA, Neyla Milena y ORTIZ, Yudith Fernanda. Análisis comparativo de los riesgos socioeconómicos y ambientales en la exploración de hidrocarburos con tecnología no convencional en los municipios de Puerto Wilches y Barrancabermeja Santander. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales, 2014. p. 16-922

superficie, según el tipo de perforación y la fase, para el montaje de cada una de las plataformas.

Teniendo en cuenta que la vida útil de estos yacimientos es relativamente corta en comparación con los yacimientos convencionales, el impacto que se genera por el cambio del uso del suelo es más notable ya que los pocos años productivos del yacimiento impedirán que a estas áreas se les de otros usos al suelo, incluso después de terminada la vida útil de los yacimientos.

2.1.1.2 Movimiento en masa

Según la Corporación OSSO²⁰, los movimientos en masa abarcan un conjunto de fenómenos que incluyen flujos de rocas y partículas de suelo, deslizamientos, hundimientos del terreno, caída de rocas y avalanchas. Los movimientos en masa se rigen por la acción de la gravedad y se ven influidos por las propiedades del terreno, la cantidad de agua presente en la zona y las vibraciones a las que está expuesto el terreno.

Como se ha mencionado con anterioridad, durante el proceso de fracturamiento hidráulico, son enviadas al subsuelo cargas explosivas que son las encargadas de fracturar los cuerpos de roca en la formación de interés; ésta actividad genera que las condiciones de presión y, en general, las propiedades con que cuenta el terreno sean modificadas. Por consiguiente, como lo indica De la Cruz Sánchez²¹, la fracturación hidráulica ha sido considerada como una causa de los hundimientos de la superficie terrestre, teniendo en cuenta que los hundimientos del terreno por la producción de hidrocarburos y agua es un fenómeno ya conocido debido a los cambios tensionales que experimenta el subsuelo en estas actividades.

2.1.1.3 Fallas y fracturamiento

Según lo expuesto, se ha concluido que el principal objetivo del fracking es volver activas las fallas naturales de la formación, como también originar nuevas fracturas en la formación, ya que como lo señala Urresti y Marcellesi²², el suelo es presurizado más de 100 veces, es decir, es sometido a un sobreesfuerzo que

²⁰ CORPORACIÓN OSSO, Movimientos en masa. [en línea]. Colombia. [Citado Julio 21, 2016]. Disponible en http://www.osso.org.co/docu/proyectos/corpo/2009/atlas/web/chapters/desde_donde_se_desliza/index.html

²¹ DE LA CRUZ SÁNCHEZ, Op., Cit., p. 67.

²² URRESTI y MARCELLESI, Op., Cit., p.27.

puede ocasionar deslizamiento de fallas subterráneas, lo que en superficie se presentan como sismos inducidos.

De acuerdo con Segura²³, la sismicidad inducida ocurre cuando se inyectan fluidos al subsuelo causando la reactivación de una falla latente y la sismicidad anticipada hace referencia a que esta inyección de fluidos va a adelantar y concentrar en el tiempo terremotos que si bien no son causados por este proceso artificial, serán detonados por el mismo.

2.1.1.4 Contaminación

Como lo menciona Wiseman, Jacobs y Gradijan²⁴, el suelo puede ser contaminado con productos químicos durante el transporte, almacenamiento o disposición de éstos, además de la contaminación que se da por las filtraciones de fluido durante la perforación y el bombeo a subsuelo de la mezcla.

Como se ha mencionado, los productos químicos son diluidos al 2% en agua, por lo tanto como lo indican Urresti y Marcellesi²⁵, el nivel de toxicidad de éstos se reduciría notablemente. Sin embargo, los químicos llegan a plataforma en su estado puro, por lo cual un derrame de producto sin diluir generaría un gran impacto y a pesar que puede considerarse como bajo el riesgo de dicho accidente, el número de operaciones realizadas en plataforma lo categorizan como un riesgo de gran importancia.

2.1.2 Componente Agua

El recurso hídrico es utilizado durante todas las actividades del fracking, por eso es importante el manejo que se le da antes, durante y después de la operación. A continuación se enumeran los riesgos ambientales identificados en cada una de éstas etapas.

2.1.2.1 Captación y uso

En la primer fase del proceso de la fracturación hidráulica se identifica la captación de agua como un riesgo ambiental ya que según el Instituto de Petróleo

²³ SEGURA PALAU, Paula. Análisis de posibles riesgos ambientales en el subsuelo del maestrazgo vinculados a proyectos de extracción de gas no convencional mediante fracturación hidráulica. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2015. p. 2-23

²⁴ WISEMAN, HANNAH JACOBS, and FRANCIS GRADIJAN. "Regulation of shale gas development, including hydraulic fracturing." University of Tulsa legal studies research paper, 2011 citado por VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucía. "El Fracking: impactos ambientales y socioeconómicos". Madrid, España: p. 1-9

²⁵ URRESTI y MARCELLESI, Op., Cit., p. 26.

Americano (API por sus siglas en inglés)²⁶, el uso de agua estimado para los procesos de explotación de recursos no convencionales oscila entre 7,5 y 15 millones de litros (2 a 4 millones de galones) por pozo.

De acuerdo con lo presentado por la EPA (United States Environmental Protection Agency)²⁷ en un estudio que buscaba identificar los impactos potenciales de la fracturación hidráulica en el recurso hídrico para consumo humano, encontraron que la cantidad de agua necesaria en el proceso de fracturación hidráulica dependió en gran medida del tipo de formación y de las operaciones que se realizaban; en la Tabla 1 se muestra como la cantidad de agua requerida varía según la porosidad y la profundidad de la formación, tomando como referencia formaciones productoras de hidrocarburos en Estados Unidos.

Tabla 1. Cantidades de agua requerida para fracturamiento hidráulico en diferentes formaciones

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD DE LA FORMACIÓN (FT)	POROSIDAD (%)	CONTENIDO ORGÁNICO (%)	PROFUNDIDAD DE ACUÍFEROS (FT)	AGUA NECESARIA PARA FRACTURAR (GALONES/POZO)
Barnett	6.500 - 8.000	4 - 5	4,5	1.200	2.300.000
Fayetteville	1.000 - 7.000	2 - 8	4- 10	500	2.900.000
Haynesville	10.500 - 13.500	8 - 9	0,5 - 4	400	2.700.000
Marcellus	4.000 - 8.500	10	3 - 12	850	3.800.000

Fuente: Adaptado de ROGERS, Bryan E. Draft plan to study the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources. En: Indiana Lawyer. vol. 26, no. 8, p. 9-122

Según determinó el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas²⁸, cada etapa de estimulación por fracturación hidráulica, requiere entre 1.000 y 2.000 m³ de agua, por lo cual, en una estimulación media/alta de 10 etapas por pozo se llegan a consumir entre 10.000 y 20.000 m³. Finalmente, como menciona Arnedo y

²⁶ INSTITUTO DEL PETRÓLEO AMERICANO, API, 2010: 5 citado por MANZANARES RIVERA, José Luis. Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México. Retos de regulación ambiental. En: Estudios sociales: Revista de investigación científica. jul. vol. 22, no. 44, p. 171-197

²⁷ ROGERS, Bryan E. Draft plan to study the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources. En: Indiana Lawyer. 06/17. vol. 26, no. 8, p. 9-122

²⁸ CONSEJO SUPERIOR DE COLEGIOS DE INGENIEROS DE MINAS, 2013 citado por SEGURA PALAU, Paula. Análisis de posibles riesgos ambientales en el subsuelo del maestrazgo vinculados a proyectos de extracción de gas no convencional mediante fracturación hidráulica. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2015. p. 2-23

Yunes²⁹, la alta demanda del recurso hídrico en las operaciones de la industria puede ocasionar que este proceso afecte y entre en conflicto con el suministro de agua para la demanda local de las poblaciones y sus necesidades.

2.1.2.2 Disposición de residuos líquidos

Englert³⁰ afirma que las aguas residuales de las operaciones de fracturamiento hidráulico constituyen el mayor volumen de todos los residuos generados durante la operación en un pozo acondicionado para producir recursos no convencionales. Manzanares³¹ menciona además que una proporción del 10% al 70% del agua inyectada retornan a superficie a través del pozo, como contraflujo, durante los siguientes 30 días, lo que equivale a un volumen entre 1,5 y 10,5 millones de litros de agua contaminada no solo con los químicos adicionados, sino también con concentraciones considerables de sustancias disueltas de la formación, como sales, metales y materiales reactivos naturales.

Colborn³² expone que el fluido residual que regresa a superficie contiene otras sustancias conocidas como componentes orgánicos volátiles (VOC), entre las cuales destacan el queroseno, benceno y tolueno, los cuales tienen efectos negativos sobre el sistema nervioso.

Como lo explica Manzanares³³, en esta fase de disposición y tratamiento de los residuos líquidos se pueden identificar principalmente tres escenarios de riesgos:

- El primero tiene lugar durante el procedimiento de *reinyección* del agua con el cual se busca depositar estos residuos en pozos a profundidades tales que sean contenidos pero se pueden presentar casos de filtración hacia superficie a través de fisuras subterráneas debido a la presión del flujo natural.

²⁹ ARNEDO, Ana Ercilia y YUNES, Karla María. Fracking: Extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. Ingenierías, 2015. p. 3-26

³⁰ ENGLERT, J. P. managing environmental risk in shale gas plays. *The RMA Journal*, 43-49,11 citado por ALDANA JIMÉNEZ, Héctor Fabián. Consideraciones para la identificación de riesgos asociados a la exploración de crudos no convencionales en los Llanos Orientales-Colombia. Universidad Militar Nueva Granada, 2014. p. 2-16

³¹ MANZANARES RIVERA, José Luis. Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México. Retos de regulación ambiental. Estudios sociales, Revista de investigación científica, 2014. p. 171-197

³² COLBORN *et al.*, 2011: 1041 citado por MANZANARES RIVERA, José Luis. Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México. Retos de regulación ambiental. En: Estudios sociales: Revista de investigación científica. jul. vol. 22, no. 44, p. 171-197

³³ MANZANARES RIVERA, Op., Cit., p. 183.

- El segundo, escenario de riesgo se da cuando estos residuos son enviados a plantas de *tratamiento* ya que luego de esto, son descargados a cuerpos de agua de los cuales, comúnmente, se abastece la población para su consumo.
- Finalmente, el tercer escenario identificado es cuando dichos residuos son *dispuestos* temporalmente en pozos de evaporación buscando que mediante el calor solar se realice la evaporación de este fluido; esta práctica representa un riesgo para la fauna, la flora y la población al entrar en contacto con los vapores desprendidos de estos pozos.

2.1.2.3 Fuentes subterráneas

Como lo menciona De la Cruz³⁴, una preocupación recurrente relacionada con las actividades del fracking es el riesgo de contaminación de los acuíferos con fluido inyectado, metano y otros contaminantes de origen natural y procedente de la formación, que pueden migrar por medio de las fracturas creadas o las existentes previamente en los cuerpos rocosos.

A pesar de que es poco probable que este riesgo se materialice, Osborn³⁵ estudió un caso de migración de metano a los acuíferos en la cuenca Marcellus y Utica, localizadas en los estados de Pennsylvania y Nueva York, respectivamente. En este estudio, encontró que la concentración de metano presente en los acuíferos cercanos a las zonas de perforación de pozos para producción de recursos no convencionales, era en promedio, 17 veces mayor a las concentraciones registradas en sitios alejados de zonas donde se realizaran actividades de fracturamiento hidráulico.

2.1.2.4 Caudal ecológico

La necesidad de respetar unos caudales ambientales mínimos en Colombia se explica en el Artículo 21 del abolido proyecto de Ley del Agua 365, que definió el caudal ecológico como “los caudales mínimos que, de acuerdo con los regímenes hidrológicos, deberán mantener las corrientes superficiales en sus diferentes tramos, a fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos y de los ecosistemas asociados”³⁶. Para propósitos de este trabajo, se seguirá el índice de escasez para aguas superficiales (IES) desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y adoptado mediante la Resolución

³⁴ DE LA CRUZ SÁNCHEZ, Op., Cit., p. 56.

³⁵ OSBORN *et al.* (2011) citado por MANZANARES RIVERA, José Luis. Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México. Retos de regulación ambiental. En: Estudios sociales: Revista de investigación científica. jul. vol. 22, no. 44, p. 171-197

³⁶ CONGRESO DE COLOMBIA. Proyecto de ley número 365, Artículo 21. 2006

865 de 2004³⁷, el cual representa la demanda de agua que ejercen en su conjunto las actividades económicas y sociales para su uso y aprovechamiento frente a la oferta hídrica disponible neta. El Estudio Nacional del Agua 2004³⁸ plantea que el caudal ecológico mínimo corresponde al 25% de los volúmenes anuales en condiciones de oferta media establecidos con el IES.

2.1.3 Componente Aire

Muchos de los aditivos químicos utilizados durante la perforación y la fracturación son compuestos volátiles (véase anexo A) que durante el proceso son liberados a la atmósfera, al igual, que una parte del gas que es producido mientras es acondicionado en superficie. A continuación se enumeran los riesgos ambientales identificados que impactan la calidad del aire de las zonas donde se explotan yacimientos no convencionales.

2.1.3.1 Huella de carbono y metano

Según lo menciona Valdés³⁹, las Universidades de Wyoming y Pensilvania en colaboración con el Instituto Manhattan establecieron que las emisiones de gases de efecto invernadero afectan la calidad del aire en diferentes aspectos, por ejemplo el metano es un potente gas de efecto invernadero que se escapa fácilmente de las cisternas de contención y de los pozos. Las actividades de perforación, de procesamiento y de transporte del gas a los consumidores, consumen combustibles que también van a producir emisiones atmosféricas.

Como lo explica Sáenz y Gutiérrez⁴⁰, la quema de carbón en las facilidades de producción trae consigo gran número de problemas medioambientales, como la lluvia ácida y el aumento del efecto invernadero. También resalta la producción de residuos radioactivos ya que se ha visto que las personas que viven cerca de centrales de carbón reciben el triple de radiación que las que viven cerca de centrales nucleares. Asimismo, el nivel de contaminación radioactiva en los cultivos destinados para consumo humano se encuentra entre el 50% y el 200% por encima en las áreas cercanas donde se consume carbón.

³⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 865 de 2004, p. 1

³⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), Estudio nacional del agua 2014. Bogotá, D. C., 2015., p. 29-496

³⁹ VALDÉS AGUIRRE, Op., Cit., p. 4.

⁴⁰ SÁENZ DE SANTA MARÍA BENEDET, J.A y GUTIERREZ CLAVERO, L. M. Valoración de la técnica de fracturación hidráulica y su aplicación a la extracción de gas no convencional en las cuencas carbonífera y jurásica de Asturias. En: Trabajos de geología. 12. vol. 33, p. 201-229

2.1.3.2 Emisión de contaminantes

De acuerdo con Arnedo y Yunes⁴¹, las emisiones atmosféricas debidas al fracking son las siguientes:

- Metano: liberado por equipos de procesamiento y dispositivos neumáticos.
- Óxidos de Nitrógeno (NOx)
- Compuestos orgánicos volátiles (VOC): sustancias que contiene carbono fácilmente evaporable.
- Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX): compuestos tóxicos emitidos en bajas cantidades.
- Monóxido de carbono: producido durante la combustión de los hidrocarburos.
- Dióxido de azufre (SO₂): formados por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre.
- Partículas de polvo y suelo restantes de la construcción, el tráfico por las vías de acceso y los escapes de los vehículos y los motores diesel.
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S): existente en las formaciones de gas y aceite.

Finalmente, es importante resaltar que la liberación de estos compuestos a la atmósfera afectan la fauna, flora y la población ya que la presencia de estas sustancias en el ambiente puede generar disminución en la calidad de los ecosistemas y la salud de los humanos.

2.1.3.3 Contaminación acústica

Como lo exponen Urresti y Marcellesi⁴², las fuentes de ruido más comunes en las explotaciones de yacimientos no convencionales provienen de la gran cantidad de vehículos que tienen que transitar por la zona para transportar herramientas, químicos y demás sustancias y elementos necesarios para la operación. También por el incremento de la actividad de perforación, ya que como se ha mencionado la densidad de pozos necesarios es mayor, razón por la cual, el número de operaciones con taladro también son mayores y se realizan durante más tiempo.

2.1.4 Componente socio-económico

Partiendo de lo consignado en los Términos de Referencia para el Sector Hidrocarburos⁴³, en el diseño de los proyectos desarrollados por las diferentes empresas del sector, se deben dimensionar los impactos que se puedan ocasionar

⁴¹ ARNEADO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Op., Cit., p. 16.

⁴² URRESTI y MARCELLESI, Op., Cit., p. 26.

⁴³ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL y DIRECCIÓN DE LICENCIAS PERMISOS Y TRÁMITES AMBIENTALES. Términos de referencia sector hidrocarburos. Bogotá, D.C: 2010. p. 6-44

en las dinámicas sociales, económicas y culturales. A continuación se presentan las perturbaciones que pueden llegar a tener lugar en las áreas de explotación de yacimientos no convencionales en relación a cada uno de los aspectos del ámbito socio-económico.

2.1.4.1 Riesgos Laborales

En todo estudio ambiental se deben contemplar las amenazas o siniestros de posible ocurrencia relacionadas con el número y clase de víctimas, así como también el tipo y gravedad de las lesiones laborales ante cualquier ocurrencia de emergencias.

2.1.4.2 Dimensión demográfica

Contempla todas las dinámicas de poblamiento de un sitio, que señala la población total asentada, la composición por edad y sexo, la tendencia de crecimiento poblacional, la población económicamente activa, los patrones de asentamiento y las condiciones de vida de la población.

2.1.4.3 Dimensión espacial

Conlleva el análisis de la cobertura y la calidad de los servicios públicos, de los servicios sociales, los medios de comunicación y la infraestructura de transporte.

2.1.4.4 Dimensión económica

Determina las relaciones económicas, la estructura, dimensión y distribución de producción y las dinámicas económicas locales, para lo cual se estudian por separado la tenencia del suelo, los procesos productivos y las características del mercado local.

2.1.4.5 Dimensión cultural

Refiere todo aquel patrimonio cultural vivo (prácticas sociales, tradiciones estéticas, sistemas de creencias y modos de conocimiento) o arquitectónico o cultural (sitios sagrados, espacios de tránsito y desplazamiento, espacios de recreación y esparcimiento).

2.2 DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES EN EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

Para la determinación de los riesgos ambientales, en primer lugar se seguirá el marco teórico asumido en este trabajo para su definición. El riesgo ambiental se mide en términos de consecuencias, ocurrencias y posibles manifestaciones en forma de impactos ambientales. En este sentido, el riesgo asume una posición intermedia entre las actividades del fracturamiento hidráulico y los aspectos

ambientales que puedan ser impactados, y su manifestación se traduce en un impacto ambiental al que se le realizará un plan de mitigación según sea su grado de amenaza.

En segundo lugar, se resumirán todos los hallazgos encontrados a partir de la revisión de aquellas fuentes bibliográficas que mostraban los riesgos ambientales para determinadas actividades relacionadas con el fracturamiento hidráulico (Cuadro 1).

Los riesgos ambientales se identificaron a partir de la relación entre los componentes naturales (agua, suelo, aire y socioeconómico) y los aspectos ambientales que son afectados por las actividades del fracturamiento hidráulico. Estos riesgos ambientales fueron en su mayoría de carácter antropogénico, es decir, son originados por las actividades humanas y su gravedad se puede magnificar por las condiciones naturales del medio donde se desarrollen.

Cuadro 1. Resumen: Riesgos Ambientales

ACTIVIDAD	COMPONENTE	ASPECTO	RIESGO
Etapas de instalación, producción y post-abandono	Suelo	Ocupación del terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio del uso del suelo • Afectación paisajística
Fracturamiento Hidráulico		Estabilidad del terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos en masa • Activación de fallas geológicas • Sismicidad
Transporte, almacenamiento o disposición de productos químicos		Calidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación por derrames y filtraciones de fluidos
Sistema de circulación del fluido	Agua	Uso excesivo del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento y cambio en la demanda – oferta anual del recurso (caudal ecológico mínimo)
Manejo de residuos líquidos		Disposición de vertimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas en reinyección, tratamiento o en la disposición parcial
Inyección y reinyección de fluidos		Fuentes subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación por migración de fluidos
Fracturamiento Hidráulico		Fuentes superficiales	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación por disminución del caudal (cambio en los patrones de drenaje) • Contaminación (cambio en características físicas, químicas y microbiológicas)

Cuadro 1. (Continuación)

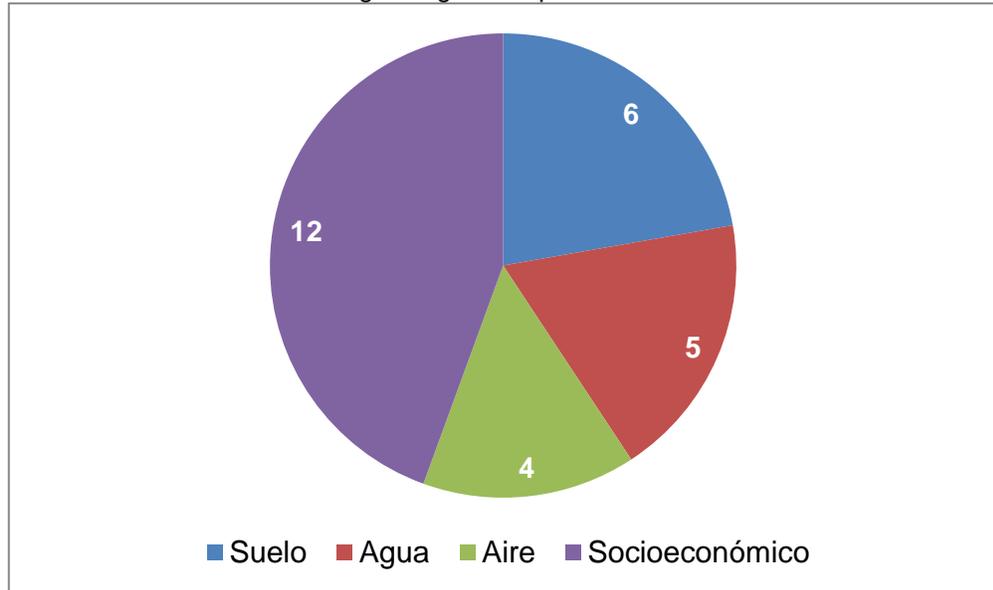
Perforación, procesamiento y de transporte	Aire	Huella de carbono y metano	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases efecto invernadero
Fracturamiento hidráulico		Emisión de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la calidad de los ecosistemas • Detrimiento de la salud de las personas
Etapas de instalación, producción y post-abandono		Ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación acústica (deterioro de la calidad de vida y salud de las personas)
Etapas de instalación, producción y post-abandono	Socio-Económico	Riesgos Laborales	<ul style="list-style-type: none"> • Explosiones • Reventones • Incendios • Accidentes
Etapas de instalación, producción y post-abandono		Dimensión demográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento de población activa y ocupada • Afectación del nivel de empleo
Etapas de instalación, producción y post-abandono		Dimensión espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación al acceso de los servicios públicos
Etapas de instalación, producción y post-abandono		Dimensión económica	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en las formas de tenencia de la tierra • Encarecimiento del costo de vida • Falta de mano de obra.
Etapas de instalación		Dimensión cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación a patrimonio arqueológico • Modificaciones culturales

Fuente: El autor

Como se muestra en el Cuadro 1, se identificaron 27 riesgos ambientales divididos entre los componentes naturales así (Gráfica 1):

- Suelo: seis (6) riesgos equivalentes al 22%.
- Agua: cinco (5) riesgos equivalentes al 19%.
- Aire: cuatro (4) riesgos equivalentes al 15%.
- Socioeconómico: doce (12) riesgos equivalentes al 44%.

Gráfica 1. Distribución de riesgos según componente afectado



Fuente: El autor

Para el componente suelo, se definieron los riesgos en cuanto a la afectación de su calidad (contaminación) así como a la destinación de su uso. De igual forma, para el componente agua se encontró que los principales riesgos se traducen en la contaminación del recurso y su agotamiento.

Para el componente aire, también se encontró que la contaminación es uno de sus principales riesgos, seguido por la emisión de gases de efecto invernadero. Finalmente, para el componente socioeconómico, se determinó que las mayores afectaciones se dan a nivel poblacional y por la falta de acceso a los servicios públicos, todo esto acompañado del encarecimiento del costo de vida en las áreas donde desarrollan sus actividades económicas.

3. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

3.1 ANALISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

3.1.1 Aproximación metodológica

Una vez identificados los riesgos en el apartado 2.2, según lo establecido en la GTC 104⁴⁴, se procede a realizar el análisis y la evaluación de éstos. El análisis a realizar consiste en desarrollar el entendimiento del riesgo, lo cual facilita la toma de decisiones sobre si es necesario tratar los riesgos y cuáles serían las estrategias de tratamiento adecuadas y eficaces.

Siguiendo con lo expuesto en la GTC 104, los riesgos se analizan combinando sus posibles consecuencias y la posibilidad de su ocurrencia para determinar el grado de amenaza de cada riesgo. Los métodos para determinar los grados del riesgo, generalmente se clasifican en análisis de tipo cualitativo, semicuantitativo y cuantitativo; usualmente los estudios sobre riesgos ambientales son de carácter cualitativo.

El análisis cualitativo se utiliza cuando no se hace posible realizar un análisis cuantitativo completo y es útil para priorizar los riesgos con el fin de gestionarlos de la manera más conveniente y rentable. El análisis cualitativo usa una escala de palabras o descripciones para evaluar los impactos originados de cada evento y su posibilidad de ocurrencia.

Para el presente estudio, se hará el análisis de los riesgos a partir de la medición cualitativa de las posibilidades y las consecuencias. En la tabla 2 se presenta la escala de medida cualitativa con la cual se va a valorar la posibilidad de ocurrencia de cada uno de los riesgos. Esta tabla es una adaptación de la propuesta por la norma GTC 104 para la medición cualitativa de la probabilidad. En la tabla 3 se presenta la escala con que será valorado el grado de intensidad de cada uno de los riesgos; igualmente, esta escala fue adaptada de la propuesta por la misma norma.

⁴⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Guía Técnica Colombiana GTC 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2009. p. 1-86

Tabla 2. Medición cualitativa de la posibilidad

Grado	Descriptor	Descripción
Muy Alto	Frecuente	Alta posibilidad de ocurrencia
Alto	Moderado	Ocurre varias veces
Medio	Ocasional	Ocurre pocas veces
Bajo	Improbable a remoto	Muy baja posibilidad a limitada posibilidad de ocurrencia
Muy bajo	Imposible	Muy difícil que ocurra

Fuente: El Autor

Tabla 3. Mediciones cualitativas del impacto

Intensidad	Descriptor	Descripción
IV	Catastrófico	Contaminación de áreas locales afectando a toda la comunidad, muerte, eliminación total de los servicios públicos, cierre abrupto de las operaciones.
III	Crítico	Contaminación de áreas locales, salud y vida de las personas con afectaciones graves, interrupción definitiva de un servicio público, interrupción operativa definitiva.
II	Marginal	Contaminación de áreas puntuales, salud y vida de las personas con afectaciones importante, interrupción diaria o mensual de los servicios públicos, interrupción operativa prolongada.
I	Insignificante	No hay contaminación significativa, salud y vida de las personas se afectan levemente, interrupción momentánea de servicios públicos, interrupción operativa momentánea.

Fuente: El Autor

Una vez definidas las dos escalas con que se medirán los riesgos, se procede a establecer la matriz de interacción entre la posibilidad y los riesgos generados por las actividades de la fracturación hidráulica, como la que se muestra en la Tabla 4. De acuerdo con la interacción se definen tres niveles de riesgo: Alto, Medio y Bajo, según sea el grado y la intensidad con que se presenten dichos riesgos; por ejemplo, para un riesgo que se presente de manera frecuente y cuya intensidad sea catastrófica, entonces su nivel de amenaza será Alto y así sucesivamente.

Tabla 4. Matriz de interacción entre las posibilidades y los impactos: Nivel de riesgo

Posibilidad	Impacto			
	Catastrófico	Crítico	Marginal	Insignificante
Frecuente	Alto	Alto	Alto	Medio
Moderado	Alto	Alto	Medio	Medio
Ocasional	Alto	Medio	Medio	Bajo
Improbable	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Imposible	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Modificado de INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Guía Técnica Colombiana GTC 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. 1 ed. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2009. p. 1-86

3.1.2 Valoración cualitativa de los riesgos

La evaluación de los riesgos dio como resultado que de los 27 riesgos identificados, 18 de ellos correspondieron a niveles de amenaza entre bajos y medios y los 9 restantes fueron altos (Tabla 5). Este resultado muestra que las dos terceras partes de las afectaciones a los componentes ambientales y sociales son básicamente bajas y medias, mientras que la tercera parte restante correspondieron con afectaciones altas a los componentes; ya que la posibilidad de los eventos es frecuente o moderada y la manifestación del riesgo está entre catastrófico y crítico. Los escenarios en los cuales los riesgos se comportan con las anteriores características se presentan durante el desarrollo de la operación debido a la técnica utilizada, que provoca contaminación debido al alto uso de sustancias químicas que merecen una atención especial para su tratamiento.

En general, la actividad de fracturamiento hidráulico aumenta la probabilidad de ocurrencia que se produzca una afectación a los recursos suelo, agua y aire por la contaminación que sufren a causa de dichas sustancias químicas utilizadas en la operación.

De igual forma, ya que las operaciones de fracturamiento hidráulico requieren gran cantidad de agua, eventualmente agotan las fuentes hídricas cercanas ocasionando una afectación ecológica y de abastecimiento del recurso para las poblaciones locales. Indirectamente provocando en los habitantes un detrimento en su calidad de vida, ya sea porque se ven obligados a desplazarse o porque se encarece su costo de vida.

Tabla 5. Valoración cualitativa de los riesgos

Riesgo	Posibilidad	Componente afectado	Intensidad del impacto	Nivel de Amenaza
Cambio del uso del suelo	Frecuente	Suelo	Insignificante	Medio
Afectación paisajística	Moderado		Marginal	Medio
Movimientos en masa	Ocasional		Crítico	Medio
Activación de fallas geológicas	Ocasional		Crítico	Medio
Sismicidad	Ocasional		Crítico	Medio
Contaminación de suelo por derrames y filtraciones de fluidos	Frecuente		Marginal	Alto
Agotamiento y cambio en la demanda – oferta anual del recurso (caudal ecológico mínimo)	Frecuente	Agua	Crítico	Alto
Fallas en reinyección, tratamiento o en la disposición parcial	Improbable		Marginal	Bajo
Contaminación por migración de fluidos	Ocasional		Crítico	Medio
Afectación por disminución del caudal (cambio en los patrones de drenaje)	Frecuente		Crítico	Alto

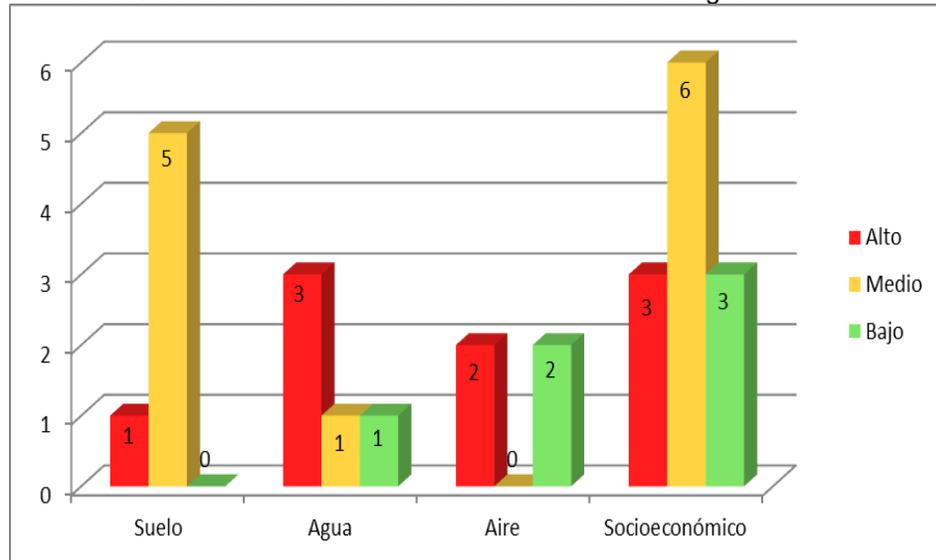
Tabla 5. (Continuación)

Contaminación (cambio en características físicas, químicas y microbiológicas)	Frecuente	Agua	Catastrófico	Alto
Emisión de gases efecto invernadero	Frecuente	Aire	Crítico	Alto
Disminución de la calidad de los ecosistemas	Frecuente		Crítico	Alto
Detrimento de la salud de las personas	Improbable		Insignificante	Bajo
Contaminación acústica (deterioro de la calidad de vida y salud de las personas)	Improbable		Insignificante	Bajo
Explosiones	Improbable	Socio-económico	Catastrófico	Medio
Reventones	Improbable		Marginal	Bajo
Incendios	Improbable		Crítico	Medio
Accidentes Laborales	Improbable		Marginal	Bajo
Desplazamiento de población activa y ocupada	Frecuente		Marginal	Alto
Afectación del nivel de empleo	Moderado		Marginal	Medio
Afectación al acceso de los servicios públicos	Moderado		Crítico	Alto
Cambios en las formas de tenencia de la tierra	Improbable		Marginal	Bajo
Encarecimiento del costo de vida	Frecuente		Marginal	Alto
Falta de mano de obra	Moderado		Marginal	Medio
Afectación a patrimonio arqueológico	Ocasional		Marginal	Medio
Modificaciones culturales	Ocasional		Marginal	Medio

Fuente: El Autor

En la Gráfica 2 se muestra de manera resumida el resultado de la valoración anteriormente realizada a los riesgos identificados. Allí se puede visualizar de forma rápida cuántos riesgos se identificaron para cada uno de los componentes en estudio y los niveles de amenaza con que fueron caracterizados.

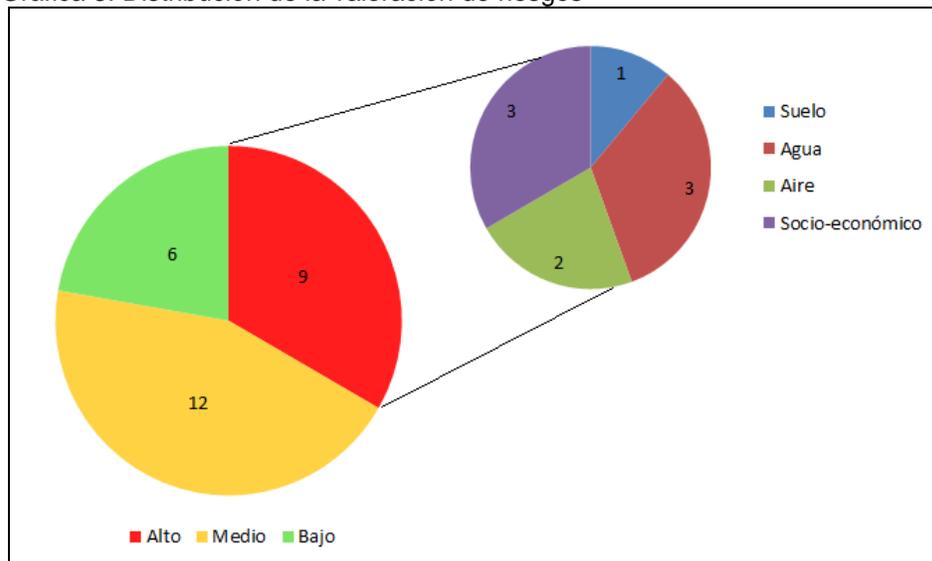
Gráfica 2. Resultados de la valoración cualitativa de los riesgos



Fuente: Autor

A los riesgos valorados con nivel de amenaza alta se les identificará posteriormente las medidas de mitigación. Por esto es importante presentar de manera clara la distribución de los nueve (9) riesgos con este nivel de amenaza (ver Gráfica 3): uno (1) afecta al componente suelo, tres (3) al componente agua, dos (2) al componente aire y los tres (3) restantes al componente socioeconómico.

Gráfica 3. Distribución de la valoración de riesgos



Fuente: Autor

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MITIGACIÓN

Posterior a la valoración de los riesgos, como lo sugiere la GTC 104, se debe realizar el tratamiento de los que han sido priorizados como altos, lo que implica la identificación de las opciones para tratar los riesgos, la valoración de estas opciones y la preparación e implementación de los planes de tratamiento. En primer lugar, se deben establecer los escenarios identificados como amenazas altas, los cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Escenarios de amenaza identificados

Escenario	Riesgo
Contaminación de recursos naturales	Contaminación de suelo por derrames y filtraciones de fluidos
	Contaminación del agua (cambio en características físicas, químicas y microbiológicas)
	Emisión de gases efecto invernadero
Agotamiento de los recursos naturales	Agotamiento y cambio en la demanda del recurso hídrico – oferta anual del recurso (caudal ecológico mínimo)
	Disminución de la calidad de los ecosistemas
	Afectación por disminución del caudal hídrico (cambio en los patrones de drenaje)
Afectación socioeconómica	Desplazamiento de población activa y ocupada
	Afectación al acceso de los servicios públicos
	Encarecimiento del costo de vida

Fuente: El Autor

3.2.1 Definición de las alternativas de mitigación

Para cada uno de los tres escenarios identificados anteriormente, se generarán unas alternativas de mitigación con el fin de tratar los riesgos ambientales identificados en la operación de fracturamiento hidráulico.

La elaboración de las alternativas de mitigación se hará por medio de planes de contingencia o planes de mitigación. Según la norma GTC 104⁴⁵ se debe dar tratamiento inmediato a los riesgos cuyos niveles de aceptación son intolerables, mientras que para los riesgos con niveles de aceptación tolerable se pueden ejecutar planes de manejo diseñados para que funcionen de forma sencilla y barata, como: (1) Evitar el riesgo mediante la disminución de la exposición a la fuente de éste; (2) Mitigar el riesgo partiendo del cumplimiento riguroso de la normatividad establecida y; (3) Reducir la posibilidad de la ocurrencia de los eventos mediante la planificación acertada de todos los procesos y actividades a ejecutarse.

⁴⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. GTC 104, Op., Cit., p. 50.

Los criterios que establecen la aplicación de un plan de contingencia frente a la materialización de un riesgo son el espacio y el tiempo dentro del cual actúa, por ejemplo, si el riesgo es localizado y de corto plazo se considera su nivel como aceptable, mientras que si el riesgo ambiental se extiende a un área geográfica amplia con una duración de varios años, su nivel se considera intolerable y el plan de contingencia debe ser ejecutado de manera inmediata. Otros criterios a considerar, son la ponderación entre los costos, los beneficios y las oportunidades que brinda la toma de decisiones de forma oportuna; la composición del equipo multidisciplinario que cuente con unas funciones y distribución de recursos establecidos; y el cumplimiento de la reglamentaciones y la aceptación por parte de la comunidad.

Para el primer escenario, *contaminación de recursos naturales* debido a los derrames producidos en las actividades operativas, considerado intolerable, el tratamiento inmediato se dará por medio de la ejecución de un plan de contingencia establecido previo al otorgamiento de la licencia ambiental para el inicio de la operación.

Como se ve en el Plan Nacional de Contingencia⁴⁶ frente a los derrames de hidrocarburos, los planes de contingencia se basan en una serie de estrategias para la atención de riesgos eventuales que puedan poner en peligro los elementos sociales y ambientales en el área de influencia del fracturamiento hidráulico desarrollado. De igual forma establece las situaciones de riesgo que pueden resultar de una acción general, como el transporte, la perforación y el manejo de sustancias químicas. Las actividades planificadas para la contención del riesgo deben asociarse con responsables operativos que se encargan del proceso en ejecución, pero también por los encargados del manejo de las situaciones de emergencia. Esto también incluye la identificación de las herramientas, los equipos y los soportes necesarios para la atención de las amenazas, en función de las actividades a realizar.

Según el decreto 321 de 1999⁴⁷, todas las acciones del plan de contingencia deben ser aprobadas por una entidad externa que apoye las situaciones de emergencia que puedan presentarse durante las operaciones de fracturamiento hidráulico. Sin embargo, antes de la aplicación de un plan de contingencia se determinan los criterios que definen los niveles de aceptación del riesgo antes de proceder a la activación del mismo.

Los dos escenarios restantes (*agotamiento de los recursos naturales y afectación socioeconómica*) junto con la *emisión de gases efecto invernadero* del primer

⁴⁶ DIRECCIÓN GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRE. Plan nacional contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas. Bogotá. p. 17-108

⁴⁷ PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto N° 321 de 1999. Bogotá. p. 4-10

escenario presentan un nivel de aceptación tolerable debido a que los riesgos se materializan como consecuencia de la ejecución de las actividades propias de la operación. El tratamiento de estos riesgos partirá desde la formulación de un plan de manejo ambiental, definido en los términos de referencia el "sector hidrocarburos"⁴⁸ como "un conjunto detallado de medidas y actividades que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales identificados que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad".

El plan de mitigación es una categoría de la jerarquización del plan de manejo ambiental, que conlleva medidas de reducción, corrección y minimización de los riesgos y según los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental⁴⁹ involucra medidas de prevención y mitigación que se adoptan con el fin de disminuir la amenaza, la exposición y/o la vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo, con el fin de evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de que el riesgo llegara a materializarse.

3.2.2 Estrategias de contingencia ante derrames en agua y suelo

Para el escenario de la *contaminación de los recursos naturales* se plantearán unas estrategias para corregir los eventuales derrames de hidrocarburos y sustancias químicas en suelo y agua. En la Tabla 7 se presentan dichas estrategias y algunas acciones que pueden ser consideradas dentro de un plan de contingencia específico para los derrames de hidrocarburos y sustancias químicas que afectan tanto el recurso agua como suelo en un nivel de afectación que se considera inaceptable.

Tabla 7. Estrategias ante derrames en suelo y/o agua

Estrategias ante derrames de hidrocarburos o sustancias químicas
<ul style="list-style-type: none"> • Aviso inmediato al jefe de operación y al gestor ambiental. • Determinar y bloquear la fuente del derrame. • Identificar: tipo de fluido derramado, dirección del flujo, causas, alcance y magnitud del derrame. • Señalizar área afectada. • Disponer de desnatadores portátiles y tanques de almacenamiento temporal cuando la magnitud del derrame amerite su uso.

⁴⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL y DIRECCIÓN DE LICENCIAS PERMISOS Y TRÁMITES AMBIENTALES. Términos de referencia sector hidrocarburos. Bogotá, D.C: 2010. p. 6-44

⁴⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE y AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos. Bogotá, D.C: 2014. p. 13-112

Tabla 7. (Continuación)

Suelo	Agua
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar barreras de contención o construir canales para direccionar los fluidos. • En caso de derrames de hidrocarburos y/o derivados, eliminar fuentes de ignición cercanas e iniciar el bombeo de agua para disminuir el porcentaje de penetración de hidrocarburo al suelo y facilitar el movimiento de este a la zona de recolección. • Utilizar un absorbente como polipropileno o cascarilla de arroz para incrementar la capacidad de absorción de la capa de fluido superficial. • En caso de derrames de sustancias químicas, consultar y seguir las indicaciones de las fichas técnicas para llevar a cabo una adecuada recolección y disposición del producto. • Si el fluido derramado ya penetró el suelo se deben adelantar las medidas de recuperación mediante la construcción de zanjas interceptoras para evitar que la contaminación llegue al nivel freático. • Bombear el fluido recolectado a los tanques de almacenamiento temporal e iniciar las actividades de limpieza y evaluación de daños. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construir barreras de contención y barreras flotantes de absorción para evitar que el derrame se siga propagando. • En caso de derrames de hidrocarburos y/o derivados, utilizar tela oleofílica para iniciar el proceso de recolección del producto derramado. • Definir los puntos de control sobre el cuerpo de agua que se pueda ver afectado, teniendo en cuenta las facilidades locativas y las características del punto para realizar recolecciones óptimas del producto derramado. • Si el derrame trasciende el área de operaciones y afecta algún cuerpo de agua cercano, se deben construir diques de orilla a orilla con sacos de arena o tierra y con barreras de sorbentes (espuma de poliuretano expandida, fibras de polipropileno, paja u hojas). • Instalar tubería o canales de drenaje que permitan la recolección del producto. • Dependiendo de la cantidad de fluido derramado, hacer la recolección manual o haciendo uso de camiones de vacío. • Una vez controlado el derrame, iniciar labores de limpieza de las márgenes del cuerpo de agua y evaluar daños ocasionados.

Fuente: El Autor

Las estrategias propuestas anteriormente pueden ser tenidas en cuenta en el momento de la elaboración de los Planes de Contingencia bajo los lineamientos del Decreto 321 de 1999 que adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.

Los planes de contingencia deben ser activados por el personal de emergencia conformado por el proyecto en caso de que se materialice de forma localizada mientras que si se extiende por fuera del área de ejecución del proyecto, serán vinculados a este plan de contingencia las diferentes entidades de respuesta a emergencias según sea el requerimiento.

3.2.3 Plan de mitigación

Según los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, un plan de manejo ambiental debe especificar los siguientes ítems:

- Riesgo(s) a mitigación
- Objetivo(s) de cada plan de mitigación
- Meta(s) relacionadas con los objetivos identificados
- Indicador(es) para hacer seguimiento al cumplimiento de las metas propuestas
- Fase(s) del proyecto en las que se implemente cada plan de mitigación
- Lugar(es) de aplicación
- Descripción de las medidas de mitigación a desarrollar
- Relación de las obras propuestas a implementar
- Cronograma de implementación
- Costos estimados de implementación

Teniendo en cuenta lo anterior, los planes de mitigación planteados se presentan por medio de fichas que faciliten la visualización de la información contenida.

3.2.3.1 Emisión de gases efecto invernadero

La ficha construida para desarrollar el plan de mitigación de emisiones de efecto invernadero se muestra a continuación:

Cuadro 2. Plan de mitigación de emisiones de efecto invernadero

Medio abiótico			
Plan de mitigación de emisiones de efecto invernadero			
Objetivo			
Reducir las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero			
Meta			
Mantener los niveles de emisión dentro de los rangos permisibles para la explotación de hidrocarburos			
Indicador			
Estándares de calidad del aire (Valor medido / valor permitido)*100			
Fase del proyecto en que se implementará			
Fase pre operativa	Obras civiles en la localización y la vía de acceso	Perforación y pruebas de producción	Desmantelamiento, restauración o abandono
	X	X	X
Lugar de aplicación			
Locaciones y facilidades de producción			

Cuadro 2. (Continuación)

Descripción de las medidas a desarrollar
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar mantenimiento y sincronización regular de los equipos para minimizar la posibilidad de emisión de gases sin combustión completa. • Utilizar equipos que garanticen la combustión completa de los gases durante la quema de éste. • Utilizar tecnología de punta para evitar el escape de gases y vapores de la operación hacia la atmósfera. • Realizar con regularidad las mediciones pertinentes para asegurar que se esté cumpliendo con los niveles permitidos. • Hacer seguimiento a las fuentes emisoras de gases. • Cumplir con los lineamientos de la convención sobre el cambio climático adoptado por Colombia (Ley 164 de 1994) y demás normatividad aplicable. • Hacer una gestión y disposición responsable de los fluidos de fracturación para evitar la liberación y/o volatilización de éstos a la atmósfera. • Minimizar las emisiones de Metano y CO₂ mediante una descarga y quema controlada de gas y usando equipos para capturar y condensar el gas para su comercialización (green completion). • Hacer operaciones de cementación de pozos donde se asegure la eliminación de posibles canales que permitan la migración de gases a superficie. • Controlar el pozo de manera que el volumen de gas se mantenga en los niveles establecidos.
Relación de las obras propuestas a implementar
<ul style="list-style-type: none"> • Reforestación del área de influencia directa. • Instalación de equipos de última tecnología. • Mantenimiento de equipos y calibración de instrumentos de medición y control. • Construcción y adecuación de tanques, piscinas y/o demás áreas necesarias para el tratamiento y la disposición de los fluidos de fracturación.
Cronograma de implementación
NO APLICA
Costos estimados de implementación
NO APLICA

Fuente: El Autor

3.2.3.2 Agotamiento de los recursos naturales

La ficha construida para desarrollar el plan de mitigación para el agotamiento de los recursos naturales se muestra a continuación:

Cuadro 3. Plan de mitigación para el agotamiento de los recursos naturales

Medio abiótico
Plan de mitigación para el agotamiento de los recursos naturales
Objetivo
Garantizar el caudal ecológico mínimo que sustente el funcionamiento del ecosistema
Meta
Conservar el régimen hidrológico

Cuadro 3. (Continuación)

Indicador			
Índice de escases [$I_e = (D_h/O_h) * F_r * 100$]			
Fase del proyecto en que se implementará			
Fase pre operativa	Obras civiles en la localización y la vía de acceso	Perforación y pruebas de producción	Desmantelamiento, restauración o abandono
		X	
Lugar de aplicación			
Cuerpos de agua intervenidos, locaciones, facilidades de producción y áreas de influencia directa del proyecto			
Descripción de las medidas a desarrollar			
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar los principios de conservación definidos en la Ley 99 de 1993. • Cumplir con el principio de precaución adoptado por Colombia, La convención Ramsar, relativa a la conservación de los humedales y la prevención del agotamiento del recurso hídrico y los hábitats de especies acuáticas (Ley 357 de 1997). • Definir el área de captación de agua teniendo en cuenta la estabilidad del terreno para evitar el impacto generado por la posible penetración de los carrotanques en los lechos de dichas fuentes. • Evaluar la posibilidad de realizar la captación del agua por medio de motobombas y tuberías para evitar la perturbación del terreno y los ecosistemas allí presentes debido al tránsito de vehículos pesados. • Realizar revisiones de manera contante para asegurar que no hay ningún tipo de objeto, equipo o material obstaculizando el flujo natural del cuerpo de agua intervenido. • Hacer medición constante del volumen de agua captado y utilizado en la operación para verificar que no se esté superando el volumen permitido. • Revisar y hacer mantenimientos periódicos a las líneas de flujo para evitar fugas de agua. • Realizar monitoreo periódico a los ecosistemas identificados tanto en los cuerpos de agua como en las áreas intervenidas por el proyecto. • Mantener comunicación permanente con la población del área de influencia directa para conocer la percepción que tienen a cerca de como el proyecto está afectando la calidad y cantidad de recursos naturales y ecosistemas propios de la región. • Restaurar las áreas intervenidas con especies propias para evitar el deterioro y mejorar el aspecto paisajístico. 			
Relación de las obras propuestas a implementar			
<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de equipos para medición. • Adecuación de las vías de acceso a las fuentes de captación, conservando y reubicando ecosistemas propios del área. • Construir barreras, en caso de que sea necesario, para impedir que llegue material particulado a los cuerpos de agua intervenidos. • Readecuación y mantenimiento de las vías y demás áreas intervenidas por el proyecto. • Señalizar de manera adecuada las áreas intervenidas durante el periodo de tiempo que sea requerido. 			
Cronograma de implementación			
NO APLICA			
Costos estimados de implementación			
NO APLICA			

Fuente: El Autor

3.2.4 Afectación socioeconómica

La ficha construida para desarrollar el plan de mitigación para la afectación socioeconómica se muestra a continuación:

Cuadro 4. Plan de mitigación para la afectación socioeconómica

Medio abiótico			
Plan de mitigación para la afectación socioeconómica			
Objetivo			
Mantener las condiciones de calidad de vida de la comunidad en cuanto al empleo, el acceso a los servicios públicos y el costo de vida			
Meta			
<ul style="list-style-type: none"> • Contratar el 100% de mano de obra no calificada del área de influencia directa del proyecto. • No interrumpir el suministro de servicios a la población. • Capacitar el 100% del personal con programas sobre cuidado y protección de los recursos naturales y el medio ambiente. • Hacer reuniones con el 100% de la población campesina del área de influencia directa del proyecto en las que se estimule la continuación de las actividades agropecuaria cotidianas. 			
Indicador			
<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de población empleada. • Porcentaje de población que tiene acceso a los servicios públicos. • Índice de crecimiento económico. 			
Fase del proyecto en que se implementará			
Fase pre operativa	Obras civiles en la localización y la vía de acceso	Perforación y pruebas de producción	Desmantelamiento, restauración o abandono
	X	X	X
Lugar de aplicación			
Locaciones, facilidades de producción y áreas de influencia directa del proyecto			
Descripción de las medidas a desarrollar			
<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir con los principios constitucionales de consulta previa y participación de la comunidad relacionado con los proyectos y decisiones que puedan afectarla. • Charlas informativas en el área de influencia directa sobre las generalidades del proyecto. • No superar el nivel y/o cantidad de uso permitido de los servicios públicos para no afectar la disponibilidad de la población. • Hacer seguimiento a los servicios públicos que recibe la población, enfatizando en la oferta disponible y la calidad de ésta. • Informar a la comunidad sobre el número de vacantes, características y formas de selección y contratación de personal ofrecido al área de influencia directa del proyecto. • Capacitación permanente al personal contratado de acuerdo a las asignaciones laborales establecidas. • Capacitación a la totalidad del personal relacionado con el proyecto con respecto al uso, cuidado y preservación de los recursos naturales. • Concientizar a la población sobre la temporalidad laboral que implica el proyecto para evitar el abandono masivo de las actividades productivas propias de la zona y/o el desplazamiento de población en busca de ofertas laborales. 			

Cuadro 4. (Continuación)

<ul style="list-style-type: none"> • Establecer puntos de información e informar a la población sobre la ubicación de los mismos para mantener contacto permanente. • Asignar un gestor social que reciba y gestione las inquietudes y requerimientos de la población.
Relación de las obras propuestas a implementar
<ul style="list-style-type: none"> • Instalación y adecuación de oficinas de información. • Redimensión de la infraestructura existente para asegurar el abastecimiento permanente de servicios públicos tanto para el proyecto como para la población. • Adecuación y mantenimiento de equipos e instalaciones que aseguren un uso eficiente y controlado de los servicios públicos. • Reparación y mantenimiento de la infraestructura que se vea afectada por las actividades del proyecto.
Cronograma de implementación
NO APLICA
Costos estimados de implementación
NO APLICA

Fuente: El Autor

4. REGLAMENTACIÓN Y APLICABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES

4.1 ENFOQUE NORMATIVO PARA LOS YNC EN COLOMBIA

Según el artículo “Yacimientos no Convencionales: El Nuevo Boom” de la Revista ACP⁵⁰, para el desarrollo de los yacimientos no convencionales en Colombia, el Ministerio de Minas y Energía y la ANH han trabajado de manera conjunta para elaborar los lineamientos normativos aplicables, pues el ministerio tiene la responsabilidad de expandir y fortalecer la reglamentación técnica en esta materia y la ANH busca adoptar un reglamento para la contratación de áreas de este tipo.

El Ministerio de Minas y Energía es una entidad pública de carácter nacional del nivel superior ejecutivo central, cuya responsabilidad es la de administrar los recursos naturales no renovables del país asegurando su mejor y mayor utilización. Además, es la entidad que reglamenta las diferentes prácticas relacionadas con la exploración y explotación de yacimientos convencionales y no convencionales en el país.

El Ministerio de Minas y Energía emitió la Resolución 18 0742 el 16 de mayo de 2012, la cual fue la primera resolución que estableció los procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales con el objetivo de asegurar que las actividades que sean desarrolladas por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, garanticen el desarrollo sostenible de los recursos naturales no renovables, siguiendo las buenas prácticas de la industria.

Posteriormente, el 27 de marzo de 2014, el Ministerio emitió la Resolución 9 0341, por medio de la cual se establecieron los requerimientos técnicos y procedimientos para la explotación de hidrocarburos de yacimientos no convencionales, ya que luego de una revisión realizada al contenido de la Resolución 18 0742, se evidenció la necesidad de modificar y ampliar el contenido y alcance para dar cumplimiento al Decreto 3004 del 26 de diciembre de 2013. En este decreto se le daba al Ministerio de Minas y Energía un plazo de seis meses para expedir las normas, técnicas y procedimientos en materia de integridad de pozos, estimulación hidráulica, inyección de agua de producción, fluidos de retorno y sobre otras materias técnicas asociadas a la exploración y explotación de los yacimientos no convencionales.

Por su parte, la ANH, entidad responsable de identificar y evaluar el potencial hidrocarburífero del país, de diseñar, evaluar y promover la inversión en las

⁵⁰ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Yacimientos no convencionales: el nuevo boom. En: ACP Hidrocarburos. Junio de 2012. vol. 3, Junio-Agosto, p. 36-43

actividades de exploración y explotación de los recursos hidrocarburíferos, de acuerdo con las mejores prácticas internacionales emitió el 26 de marzo de 2014 el Acuerdo 03 de 2014 mediante el cual se adiciona el Acuerdo 04 de 2012, con el fin de incorporar al Reglamento de Contratación para Exploración y Explotación de Hidrocarburos parámetros y normas aplicables al desarrollo de yacimientos no convencionales.

En el Acuerdo 04 de 2012 se establecieron los criterios de administración y asignación de áreas para exploración y explotación de los hidrocarburos propiedad de la Nación; se expidió el Reglamento de Contratación correspondiente y se fijaron las reglas para la gestión y seguimiento de los respectivos contratos.

En desarrollo del Acuerdo 03 de 2014, la ANH emitió los Términos Particulares para promover el desarrollo de la exploración y explotación de hidrocarburos provenientes de yacimientos no convencionales, ya que estudios previos realizados por esta entidad evidenciaron que estas actividades exigían la ejecución de programas especiales, por lo cual demandan inversiones superiores a las de los yacimientos convencionales.

La legislación anteriormente citada hace parte de la misión que tiene el país con relación a la necesidad de contar con una legislación robusta que sea cumplida por cada una de las empresas interesadas en la exploración y explotación de yacimientos no convencionales, para que de esta manera se disminuyan los riesgos sociales y ambientales en que se incurren al desarrollar dichas actividades.

Como se mencionó anteriormente, la ANH es la encargada de controlar los proyectos de exploración y explotación de yacimientos no convencionales desde el ámbito contractual, mientras que, es el Ministerio de Minas y Energía quien emite y verifica el cumplimiento de los lineamientos y procedimientos técnicos y operativos durante la ejecución de este tipo de proyectos. Por esta razón, una vez propuestas las actividades de mitigación (numeral 3.2) para los riesgos identificados en el presente estudio, se procederá a hacer una comparación con el contenido de las dos resoluciones que han sido emitidas por este Ministerio.

4.2 NORMATIVA VIGENTE

A continuación se presenta de forma resumida el contenido de cada una de las Resoluciones, para poder estudiar y evidenciar el grado de aplicabilidad que tendrían en Colombia los planes de mitigación y las estrategias de contingencia propuestos en el capítulo anterior.

Resolución 18 0742 del 2012: Presenta como objeto “señalar el procedimiento para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales, con el fin de propender que las actividades que desarrollen las

personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, garanticen el desarrollo sostenible de los recursos naturales no renovables, atendiendo las buenas prácticas de la industria”. Luego procede a aclarar que los procedimientos no especificados allí se deben regir por lo dispuesto en la Resolución 18 1495 de 2009 en la cual, de manera general, se establecen medidas en materia de Exploración y Explotación de Hidrocarburos.

Esta Resolución se centra en establecer los procedimientos en las operaciones que deben ser seguidos durante la construcción, control, monitoreo y abandono de los pozos construidos durante el proyecto; y solo en el Artículo 16, se menciona que en caso de iniciar actividades de explotación se debe adjuntar información sobre el análisis de riesgo operacional.

Resolución 9 0341 del 2014: Exponiendo como objeto “señalar requerimientos técnicos y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales con excepción de las arenas bituminosas e hidratos de metano, con el fin de propender que las actividades que desarrollen las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, garanticen el desarrollo sostenible de la actividad industrial”, presenta de manera detallada las actividades de registros, pruebas, muestreos y los requerimientos de cementación con que deben cumplir los pozos perforados en la zona intervenida por el proyecto. También menciona algunos procedimientos y condiciones que se deben seguir en operaciones de estimulación hidráulica y establece que estas operaciones deben ser suspendidas en caso de que se presente un evento sísmico que cumpla con las características allí mismo definidas.

Luego de realizar una revisión detallada de las resoluciones, se pudo observar que estas se quedan un poco cortas al momento de reglamentar todas las actividades que tienen lugar en la explotación de yacimientos no convencionales, teniendo en cuenta la gran controversia que se ha generado a nivel mundial por los riesgos ambientales que implica el desarrollo de este tipo de proyectos. Temas como la captación de agua, el manejo específico y detallado de los fluidos de retorno, no han sido definidos específicamente para el desarrollo de este tipo de yacimientos.

Las actividades de mitigación propuestas en este trabajo son aplicables para cada uno de los escenarios propuestos desde la elaboración del Plan de Manejo Ambiental, que deben presentar las empresas que quieran desarrollar actividades industriales que impacten el medio ambiente. Sin embargo, sería pertinente la elaboración de normatividad más específica en la que se dicten lineamientos estrictos para asegurar la conservación ambiental de las zonas en donde se lleve a cabo explotación de yacimientos no convencionales, obligando a empresas y operadores a hacer un control y manejo eficiente de los riesgos ocasionados en el desarrollo de sus proyectos.

5. CONCLUSIONES

- La identificación de riesgos realizada en el presente trabajo, demostró que las áreas donde se desarrollen proyectos para la explotación de yacimientos no convencionales mediante fracturamiento hidráulico en Colombia, se verán expuestas a una serie de riesgos de diferentes tipos y magnitudes, una vez sean iniciadas estas actividades.
- El análisis y la evaluación de los riesgos, realizados a partir del estudio de casos internacionales, arrojó como resultado que la tercera parte de estos riesgos identificados son valorados con un nivel de amenaza alto para las áreas de influencia directa de los proyectos de explotación de yacimientos no convencionales mediante fracturamiento hidráulico, ya que las expone principalmente a la contaminación de los recursos naturales, al agotamiento de los mismos y a afectaciones de carácter socio económico.
- Se establecieron dos tipos de alternativas de mitigación para los escenarios de amenaza identificados, para la contaminación de los recursos naturales suelo y agua debido a derrames de hidrocarburos o sustancias químicas se plantearon estrategias de contingencia y para las emisiones atmosféricas, el agotamiento de los recursos naturales y las afectaciones socioeconómicas se diseñaron unas fichas que contienen los diferentes planes de mitigación para cada uno estos escenarios.
- Se abordó la normativa vigente que en el país regula la explotación de yacimientos no convencionales mediante fracturamiento hidráulico para comparar su contenido con el estudio de riesgos ambientales realizado en el presente trabajo y así poder definir la aplicabilidad de las alternativas de mitigación propuestas. Lo anterior evidenció la falta de profundización y detalle que en la normativa existente se le dio a los riesgos ambientales, socioeconómicos y a sus efectos.

6. RECOMENDACIONES

El análisis de los riesgos identificados frente a la revisión de la legislación existente en Colombia para los yacimientos no convencionales, permitió demostrar que en esta normatividad no se especifica concretamente el qué hacer y el cómo actuar frente a la prevención de riesgos asociados al fracturamiento hidráulico. Por lo que se recomienda leer, entender y tener en cuenta las actividades de mitigación como un panorama general que debe ser reglamentado por los respectivos ministerios, ya que se evidenció que ambientalmente el manejo de los riesgos no están definido normativamente en el país. En tal sentido, se observó que el único riesgo mencionado en la norma es la incidencia de sismos cuya magnitud sea mayor o igual a cuatro (4) en la escala de Richter y cuyo epicentro este ubicado dentro de límites definidos según la profundidad del pozo en perforación, para esta eventualidad la norma exige la suspensión de operaciones mientras se realiza las respectiva revisión, monitoreo e implementación de actividades correctivas. De otro lado se recomienda profundizar sobre los riesgos identificados con nivel de amenaza alta en una futura monografía, pero enfocándose ya no a estudios de caso internacionales si no en las actividades de explotación que se plantean desarrollar en las bloques adjudicados en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDANA JIMÉNEZ, Héctor Fabián. Consideraciones para la identificación de riesgos asociados a la exploración de crudos no convencionales En los Llanos Orientales-Colombia. Universidad Militar Nueva Granada, 2014. 2-16
- ARNEDO, Ana Ercilia y YUNES, Karla María. Fracking: Extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. Ingenierías, 2015. 3-26
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Posición de la industria petrolera de Colombia frente al desarrollo de los yacimientos no convencionales. Bogotá: 2012. 2-4
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Una regulación que evolucione. En: Revista ACP hidrocarburos. Junio-Agosto, p. 30-33.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO. Yacimientos no convencionales: el nuevo boom. En: ACP hidrocarburos. Junio de 2012.vol. 3, Junio-Agosto, p. 36-43
- BAUTISTA, Nidia Judith; MEJÍA, Neyla Milena y ORTIZ, Yudith Fernanda. Análisis comparativo de los riesgos socioeconómicos y ambientales en la exploración de hidrocarburos con tecnología no convencional en los municipios de Puerto Wilches y Barrancabermeja Santander. Manizales, Colombia.: Universidad de Manizales, 2014. p. 16-92.
- CARRILLO BARANDIARÁN, Lucio. Esquistos Bituminosos "Oil shale". Lima: 2011. 3-13
- DE LA CRUZ SÁNCHEZ, Alba. Identificación de los riesgos ambientales y sanitarios de la producción de gas mediante fracturación hidráulica y bases para una propuesta metodológica de vulnerabilidad de las aguas subterráneas. España.: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, 2013. p. 5-123.
- ESPOSITO, Michael. Water issues set the pace for fracking regulations and global shale gas extraction. En: Tulane journal of international & comparative law. Winter 2013.vol. 22, p. 167-190
- GÓMEZ JIMÉNEZ, David; SANZ OLIVA, Jorge y PORTERO LARRAGUETA, Jaime. Hidrocarburos no convencionales en EEUU y sus implicaciones.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Guía Técnica Colombiana GTC 104. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2009. 1-86

MANZANARES RIVERA, José Luis. Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México. Retos de regulación ambiental. En: ESTUDIOS SOCIALES: Revista de investigación científica. jul.vol. 22, no. 44, p. 171-197

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL y DIRECCIÓN DE LICENCIAS PERMISOS Y TRÁMITES AMBIENTALES. Términos de referencia Sector hidrocarburos. Bogotá, D.C: 2010. 6-44

ROGERS, Bryan E. Draft plan to study the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources. En: Indiana Lawyer. 06/17.vol. 26, no. 8, p. 9-122

SÁENZ DE SANTA MARÍA BENEDET, J.A y GUTIERREZ CLAVERO,L. M. Valoración de la técnica de fracturación hidráulica y su aplicación a la extracción de gas no convencional en las cuencas carbonífera y jurásica de Asturias. En: Trabajos de geología. 12. vol. 33, p. 201-229

SÁNCHEZ CANO, Julieta Evangelina. La revolución energética del siglo XXI: fracturación hidráulica versus energía renovable. En: Perfiles de las ciencias sociales. Julio - Diciembre. vol. 3, p. 129-139

SARLINGO, Marcelo. Impactos socioambientales del fracking. Opacidad, política ambiental y explotación de hidrocarburos no convencionales. En: ATEK NA [En la tierra]. 2013. vol. 3, p. 237-269

SEGURA PALAU, Paula. Análisis de posibles riesgos ambientales en el subsuelo del maestrazgo vinculados a proyectos de extracción de gas no convencional mediante fracturación hidráulica. Zaragoza.: Universidad de Zaragoza, 2015. p. 2-23.

URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: una fractura que pasará factura. En: Ecología política, España. 2012. vol. 15, p. 23-28

VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucía. “El Fracking: impactos ambientales y socioeconómicos”. Madrid, España: 1-9

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ADAMS, Joel y ROWE, Clem. Differentiating applications of hydraulic fracturing. En: ISRM International conference for effective and sustainable hydraulic fracturing. International Society for Rock Mechanics, 2013.

AGUILAR MADERA, Carlos Gilberto. El shale gas y el fracking. En: Ciencia UNAL. vol. 17, no. 67, p. 6-6

ALBOUDWAREJ, Hussein, et al. La importancia del petróleo pesado. En: OILFIELD REVIEW. p. 38-59

ALBRECHT, Eike y SCHNEEMANN, Dörte. Fracking in the United Kingdom: regulatory challenges between resource mobilisation and environmental protection. En: Carbon & climate law review. vol. 8, no. 4, p. 238-246

ANDRANGO CHACÓN, Cristina Margarita y CASTRO AMÁN, David Israel. Estudio de recuperación de grupos pesados en el campo Pungarayacu mediante inyección de vapor de agua utilizando tecnología actual.

ATKINS, Justin P. Hydraulic fracturing in Poland: a regulatory analysis. En: WASH.U.GLOBAL STUD.L.REV. vol. 12, p. 339

BACCHETTA, Víctor L. Geopolítica del fracking: Impactos y riesgos ambientales. En: Nueva sociedad. no. 244, p. 61-73

CALERO, María; VILCHES PEÑA, Amparo y GIL PÉREZ, Daniel. Necesidad de la Transición a la Sostenibilidad: papel de los medios de comunicación en la formación ciudadana.

CAUTERUCCI, Gabriel. Colisión de derechos en torno al fracking. El conflicto “vaca muerta” desde la constitución nacional. En: lecciones. p. 39

CERÓN VANEGAS, Diana Marcela y GÓMEZ SANTOS, Dayhana. Evaluación del riesgo ambiental y social por amenaza de explotación de hidrocarburos: caso de estudio Rio Las Ceibas, Huila.

CHIVERS, DANNY. The frack files. (cover story). En: New internationalist. no. 468, p. 12

COSTELLO, Róisín Áine. Reviving Rylands: How the doctrine could be used to claim compensation for environmental damages caused by fracking. En: Review of european comparative & international environmental law. vol. 23, p. 134-143

ECHAIDE, Javier. Chevron, Repsol, CIADI: Inversiones extranjeras, acuerdos económicos y condicionantes sistémicos en Argentina.

ENTREKIN, Sally A., et al. Stream vulnerability to widespread and emergent stressors: A focus on unconventional oil and gas. En: Plos one. vol. 10, no. 9, p. 1-28

ESTEFANEL ALÓS, Javier. Estudio de rentabilidad del shale gas en Europa: Cuenca Bowland-Hodder, Reino Unido.

FIERRO, Julio. Riesgos e incertidumbres del fracturamiento hidráulico de yacimientos no convencionales. ANH. Foro "Preguntas y respuestas sobre el fracking": 2014.

FISK, Jonathan M. The right to know? State politics of fracking disclosure. En: Review of policy research. vol. 30, no. 4, p. 345-365

GARCÍA, J. El Gas natural no convencional. El gas natural como energía puente entre el presente energético y el deseable futuro sostenible. En: Congreso Nacional de Medio Ambiente.2012. p. 15-23

GORDALLA, Birgit C.; EWERS, Ulrich y FRIMMEL, Fritz H. Hydraulic fracturing: a toxicological threat for groundwater and drinking-water? En: Environmental earth sciences. vol. 70, no. 8, p. 3875-3893

JACKSON, Robert B., et al. The environmental costs and benefits of fracking. En: Annual review of environment and resources. vol. 39, p. 327-362

JOHNSON, Corey y BOERSMA, Tim. Energy (in) security in Poland the case of shale gas. En: Energy policy. vol. 53, p. 389-399

KRUPNICK, Alan J. y GORDON, Hal G. What experts say about the environmental risks of shale gas development. En: Agricultural and resource economics review. vol. 44, no. 2, p. 106-119

LADD, Anthony E. Environmental disputes and opportunity-threat impacts surrounding natural gas fracking in Louisiana. En: Social currents. vol. 1, no. 3, p. 293-311

LATHAM, Mark A. BP Deepwater Horizon: A cautionary tale for CCS, hydrofracking, geoengineering and other emerging technologies with environmental and human health risks. En: WM.& MARY ENVTL.L.& POL'y REV. vol. 36, p. 31

MARTÍNEZ-PAZ, José M., et al. Valoración socioeconómica de la extracción de gas mediante fracturación hidráulica en la Región de Murcia. En: Papeles de geografía. no. 61

MAYÉ, Nsolo y LORENZO, Álvaro. Evaluación ambiental de las tecnologías de recuperación de gas en formaciones no convencionales.

MENG, Qingmin. Spatial analysis of environment and population at risk of natural gas fracking in the state of Pennsylvania, USA. En: Science of the total environment. vol. 515, p. 198-206

MERRILL, Thomas W. y SCHIZER, David M. The Shale Oil and Gas Revolution, Hydraulic Fracturing, and Water Contamination: A Regulatory Strategy. En: Minnesota law review. 11. vol. 98, no. 1, p. 145-264

METZE, Tamara. Fracking the debate: Frame shifts and boundary work in Dutch decision making on shale gas. En: Journal of environmental policy & planning. p. 1-18

MOREU CARBONELL, Elisa. Marco jurídico de la extracción de hidrocarburos mediante fractura hidráulica (Fracking). En: Revista catalana de dret ambiental. vol. 3, no. 2

PACHECO, Elena. It's a fracking conundrum: environmental justice and the battle to regulate hydraulic fracturing. En: Ecology law quarterly. 05. vol. 42, no. 2, p. 373-395

RABE, Barry G. y BORICK, Christopher. Conventional politics for unconventional drilling? Lessons from Pennsylvania's early move into fracking policy development. En: Review of policy research. vol. 30, no. 3, p. 321-340

RABINOWITZ, Peter M., et al. Proximity to natural gas wells and reported health status: Results of a household survey in Washington County, Pennsylvania. En: Environmental health perspectives. vol. 123, no. 1, p. 21

ROJAS-RUEDA, David. Impactos en salud pública del fracking (extracción de gas por medio de la fractura hidráulica) en España. En: Gaceta sanitaria. vol. 27, no. 4, p. 382-382

ROZELL, Daniel J. y REAVEN, Sheldon J. Water pollution risk associated with natural gas extraction from the Marcellus Shale. En: Risk analysis. vol. 32, no. 8, p. 1382-1393

ANEXOS

Anexo A.
Principales aditivos utilizados en la fracturación hidráulica

ADITIVOS	COMPONENTE PRINCIPAL	USO MÁS COMÚN
Ácidos	Ácido clorhídrico	Químicos de piscina y limpieza química e industrial
Bactericidas	Glutaraldehído	Desinfectante de equipos médicos y odontológicos
Estabilizador de arcillas	Cloruro de colina	Alimentación animal saludable
Inhibidor corrosión	N,N-Dimetilformamida	Disolvente de polímeros
Inhibidores	Etilenglicol	Anticongelante y refrigeración en automoción
Anti-oxidante	Bisulfito de amonio	Cosméticos y en el proceso de vinificación
Gelificantes	Goma arábiga (E-414) e hidroxiacetilcelulosa	Espesante utilizado en cosméticos, salsas y aderezos de ensalada
Salmueras	Cloruro Ca o Na	Conservante alimentario y condimento
Reductores fricción	Destilados del petróleo. Poliacrilamida	Cosméticos de peluquería, maquillaje. Acondicionador de suelos no tóxico
Control del ión Fe	Ácido cítrico	Conservante y antioxidante en la industria alimentaria

Fuente: SÁENZ DE SANTA MARÍA BENEDET, J.A y GUTIERREZ CLAVERO, L. M. Valoración de la técnica de fracturación hidráulica y su aplicación a la extracción de gas no convencional en las cuencas carbonífera y jurásica de Asturias. Universidad de Oviedo, 2013. p. 201-229