



**MEGADIVERSIDAD Y FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO: EL
SIGNIFICADO DE HACER FRACKING EN COLOMBIA**

Autor

CLAUDIA JOAN POLINDARA ROMERO

**Trabajo presentado como requisito para optar por el
título de Maestría en Derecho y Gestión Ambiental**

Tutor

Juana M. Hofman Quintero

Facultad de Jurisprudencia

Maestría en Gestión y Derecho Ambiental

Universidad del Rosario

Bogotá - Colombia

2021

Megadiversidad y fracturamiento hidráulico: el significado de hacer *fracking* en Colombia

Claudia Joan Polindara Romero*

Resumen: el presente artículo tiene como objeto realizar un análisis del impacto del fracturamiento hidráulico en los ecosistemas. A partir de allí, se propone el debate entre continuar o no con esta técnica de extracción de hidrocarburos no convencionales en Colombia. A su vez, se identifica, desde el medio biótico, la incidencia sobre la biodiversidad y los ecosistemas en el país y, con mayor especificidad, en aquellas cuencas donde se proyecta realizar los proyectos piloto de investigación integral para fracturamiento hidráulico.

Se revisa también si se está actuando en conformidad con el Convenio sobre Diversidad Biológica, aprobado por Colombia mediante la ley 165 de 1994, con la Política Nacional de Biodiversidad aprobada por el Consejo Nacional Ambiental en 1995 —que se fundamenta en el principio de la biodiversidad como patrimonio de la nación—, y a los demás compromisos internacionales que el país ha asumido para la conservación de la biodiversidad. Por último, se busca resolver la pregunta de si Colombia está siendo

* Ingeniera Forestal egresada de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especialista en Derecho Ambiental de la Universidad del Rosario. Candidata a magíster en Derecho y Gestión Ambiental de la misma universidad.

responsable al decidir hacer fracturamiento hidráulico en un país considerado como el segundo país con mayor biodiversidad en el mundo.

Introducción

La biodiversidad es la variedad en el interior del mundo viviente y puede expresarse según genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (Rangel, 2005). El hecho de ser uno de los países denominados como megadiversos¹ provoca que la responsabilidad de Colombia sobre la protección de la biodiversidad sea mayor frente a los desafíos que se presentan en el mundo para la adaptación del cambio climático, que se considera como uno de los factores principales de la pérdida de biodiversidad. No obstante, Colombia es uno de los países con alto riesgo de vulnerabilidad al cambio climático dentro de la región latinoamericana según los resultados del Índice de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático (CAF, 2014).

Las presiones antrópicas que afectan y causan pérdida de biodiversidad en Colombia corresponden a múltiples variables que obedecen al modelo económico, entre ellos, el uso y tenencia de la tierra para ganadería extensiva o semiintensiva, (Andrade & Castro, 2012) así como la demanda de materias primas, que se ha intensificado en los 50 años recientes.

¹ Megadiversidad: Russel Mittermeier (1997) usó este término a partir de la estimación del número de especies de distintos grupos taxonómicos en los países del mundo para determinar los que contaban con mayor biodiversidad. En este análisis, se identificó a Colombia dentro del listado de los diecisiete países más biodiversos.

La producción de petróleo en Colombia ha aumentado 30 % desde el comienzo de este siglo y la de gas natural, 70 %. En 2011, estas representaban 12 % del total del valor agregado y más de la mitad de las exportaciones (WWF-Colombia, 2017). Colombia contó con una producción promedio mensual de petróleo para el año 2019 de 885 634 barriles por día, mientras que la producción de gas correspondió a 2157 millones de pies cúbicos al día, según cifras de la Agencia Nacional de Hidrocarburo. Esto indica que Colombia no es un país altamente productor de hidrocarburos. Además, debe tenerse en cuenta que la variable del costo de producción del barril de petróleo debe ser mayor a 30 dólares para que sea viable económicamente en el país y, para el primer trimestre del año 2020, el costo del barril obtuvo su valor más bajo en la historia reciente, fruto, en parte, de las tensiones que existen entre China y los EE. UU. y las consecuencias por la pandemia mundial COVID-19.

Dadas las condiciones enunciadas, el país se debate entre la protección de los recursos de la biota y el dinamismo que, desde la política nacional, impulsa al sector de hidrocarburos, dinamismo que incluye realizar fracturamiento hidráulico. Lo anterior se considera como una opción debido a que existen estudios de prospectividad geológica de las cuencas sedimentarias del país que indican un potencial importante en yacimientos no convencionales (YNC) que, según el gobierno nacional, podrían aumentar significativamente las reservas de hidrocarburos (Comisión Interdisciplinaria Independiente, 2019).

El presente artículo busca relacionar los efectos que la técnica del fracturamiento hidráulico puede causar sobre los ecosistemas de mayor vulnerabilidad en Colombia, y comprender las consecuencias de desarrollar esta técnica en un país megadiverso donde cerca de la mitad de

sus ecosistemas se encuentran en algún grado de amenaza. Para la obtención del resultado, se realizó un sondeo de los ecosistemas alrededor del mundo donde actualmente se practica la técnica de fracturamiento hidráulico, y se identificaron algunos ecosistemas en los que se pretende iniciar con los proyectos piloto de investigación integral (PPII) que propone la comisión de expertos.

1. ¿Qué es el fracturamiento hidráulico o fracking?

Una fractura hidráulica (conocida popularmente por su nombre en inglés, *fracking*) se define como una fractura inducida por presión mediante una inyección de fluidos sobre una formación rocosa. El fluido es bombeado en la formación a presiones que exceden la presión de fracturamiento (Nolen-Hoeksema, R, 2013). Para llegar a las formaciones rocosas, las cuales se encuentran por lo general en los depósitos de roca de esquisto donde se encuentran las reservas o yacimientos no convencionales (YCN) de gas natural y petróleo, se perfora hasta una milla bajo tierra, se inyectan fluidos compuestos de aproximadamente 98-99,5 % de agua y arena y 2-0,5 % de aditivos químicos en el pozo a alta presión hasta liberar el petróleo y el gas (Howell, Wirz, Brossard *et al.*, 2019).

1.1 Riesgos generados

La noción de riesgo, implica tanto la incertidumbre y algún tipo de pérdida o daño que podría ser recibido, por tanto, el riesgo se describe cuantitativamente como la suma del daño más la incertidumbre (Kaplan y Garrick, 1981). El riesgo puede definirse, además, como la “posibilidad de pérdida o lesión” y el “grado de probabilidad de tal pérdida.” (Kaplan *et al.*, 1981). De acuerdo con el contexto del presente artículo, un riesgo puede denominarse como cualquier proceso que puede llegar a generar un daño sobre la salud, el ambiente o afectar

económicamente una sociedad o un individuo. Los riesgos asociados al desarrollo del fracturamiento hidráulico e identificados en la literatura científica van encaminados a la incertidumbre por afectación de la salud, teniendo en cuenta que existen limitaciones en el acceso a la información pública sobre el componente de los aditivos usados, la sismicidad inducida (Quintana Pérez, 2015), y el riesgo de afectación sobre el recurso hídrico (Pinto-Valderrama, Idrovo, 2019) y la calidad del aire (González y Marcellesi, 2012). Adicionalmente, los riesgos sobre los ecosistemas en Colombia, la falta de transparencia en la información y la poca capacidad institucional de las entidades que intervienen en la técnica del fracturamiento hidráulico son riesgos que se evidencian en el informe de la Comisión de Expertos solicitado en 2019 por el gobierno nacional². El informe elaborado por la Comisión insta a cerrar la brecha entre la certidumbre y el riesgo para tomar las decisiones adecuadas; sin embargo, los expertos indican que Colombia se encuentra con una alta incertidumbre, lo que confluente a una alta posibilidad de riesgos.

Fierro (2019) indica que el fracturamiento artificial es una actividad de difícil ejecución e incertidumbre que interactúa con la complejidad del fracturamiento natural, por tanto, explica, las predicciones de la ingeniería petrolera tienen fuertes limitaciones y llevan a errores que se manifiestan como contaminación de aguas, aire y suelo. Esto se ha evidenciado en regiones donde actualmente se realiza fracturamiento hidráulico, como en Dakota del Norte, donde hasta el año 2016, según la universidad Duke (2016), se había llegado a perforar

² Ídem

más de 9000 pozos con la técnica de fracturamiento hidráulico. De estos, la universidad identificó más de 3900 puntos de derrame que generaban contaminación del suelo y el agua.

1.2 Posibles Impactos

Haciendo una revisión sistemática, se evidencia que el análisis de impactos se encuentra enfocado con mayor énfasis en los medios abiótico y socioeconómico. Desde estos se ha intensificado el debate científico, pues en dichos medios se presentan algunos impactos que podrían evidenciarse a corto y mediano plazo. Entre los impactos del medio abiótico se encuentran: la sismicidad inducida, la contaminación de los acuíferos y de aguas superficiales, el estrés hídrico y la contaminación del aire (Comisión Interdisciplinaria Independiente, 2019). En cuanto al medio socioeconómico, la mayor preocupación se concentra en la afectación de la salud debido a los impactos generados desde el medio abiótico.

Uno de los proyectos en Latinoamérica donde se ha desarrollado el fracturamiento hidráulico se encuentra en Vaca Muerta, Argentina. Rinaldi (2019) considera que esta técnica significa un alto riesgo y genera contaminación ambiental. Lo anterior, debido a la cantidad de agua utilizada, la contaminación de las capas subterráneas y la incidencia en los sismos, además, afirma que:

Existen indicadores ciertos y verificables científicamente, que la actividad de la explotación de yacimientos no convencionales, tales como son lo de Vaca Muerta, podría acarrear daños graves e irreversibles al medioambiente por lo que se deben adoptar o exigir la adopción a

las empresas hidrocarburíferas de las medidas que sean “eficaces para prevenir el daño ambiental” (Rinaldi, 2019, p. 467).

Lo anterior, aduciendo a que se han reportado 3368 incidentes ambientales en tan sólo cuatro años.

Un estudio para la identificación de los impactos del fracturamiento hidráulico sobre el ciclo del agua realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA) concluye que:

[...] la falta de datos y las incertidumbres limitaron la capacidad de la EPA para evaluar completamente los posibles impactos en los recursos de agua potable a nivel local y nacional. Debido a estas lagunas e incertidumbres en los datos, no fue posible caracterizar completamente la gravedad de los impactos, ni fue posible calcular o estimar la frecuencia nacional de los impactos en los recursos de agua potable a partir de actividades en el ciclo hidráulico del agua de fractura. (EPA, 2016, p. 40)

Esto confirma que en los EE. UU. aún existe incertidumbre sobre estos impactos debido a que no se tiene una línea base completa que respalde los resultados.

En cuanto a los impactos sociales, Auyero (2017) enuncia varias investigaciones concernientes al efecto sociológico que representa el desarrollo de la técnica del fracturamiento hidráulico para las comunidades que se encuentran dentro del área de influencia, e indica que:

Las comunidades cercanas a los sitios de extracción y producción son vulnerables a una variedad de estresores, incluidos contaminantes del aire, contaminación del agua superficial, gran tráfico de camiones junto con contaminación sonora, accidentes y malfuncionamientos, estrés psicosocial asociado al cambio comunitario, desconfianza en las fuentes de información y percepción de falta de transparencia respecto a la industria y a las acciones gubernamentales. (Ferrari, Kriesky, Christen et al., 2013; Adgate, Goldstein y McKenzie, 2014; Small *et al.*, 2014 p. 621).

De las declaraciones anteriores, se pueden identificar varios impactos con el fin de clarificar y disminuir la incertidumbre que existe frente a los riesgos e impactos que puede generar la técnica de fracturamiento hidráulico, dado que, si se identifican y pueden evaluarse de manera cualitativa y cuantitativa, se puede llegar a definir el costo-beneficio que esto genera en todos los medios que traslapa: biótico, abiótico y socioeconómico. En la figura 1, se realiza un breve resumen de los impactos que se han ido relacionando a través de distintas investigaciones científicas:

Figura 1

Principales Impactos producidos por el desarrollo del fracturamiento hidráulico

MEDIO ABIÓTICO	<ul style="list-style-type: none">• Sismicidad Inducida: Sismos o terremotos provocados por la actividad humana.• Contaminación de acuíferos• Contaminación de aguas superficiales• Estrés hídrico por los grandes suministros de agua requeridos• Contaminación del aire por liberación de compuestos orgánicos volátiles, contaminantes peligrosos del aire y gases de efecto invernadero (EPA)
MEDIO BIÓTICO	<ul style="list-style-type: none">• Afectación de Ecosistemas terrestres en especial ecosistemas estratégicos y de alta vulnerabilidad.• Afectación sobre fauna endémica o en peligro
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none">• Salud: Afectación en la salud por los productos químicos y radioactivos usados.
ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none">• Dependencia de la actividad en áreas locales puede ser negativa al enfrentar una recesión económica• Costos Económicos por riesgos ambientales y de salud pública asociados: pérdida del valor de la propiedad (Howell, Emily L, 2019, et al).

Con respecto a los impactos al medio biótico, se relaciona la afectación de ecosistemas terrestres que se originan de lo que podría denominarse como el impacto sinérgico³ generado por impactos en el medio abiótico. En los siguientes numerales se analizan estos impactos en el medio biótico a partir de casos puntuales de varios de los ecosistemas terrestres que se encuentran en vulnerabilidad.

2. Ecosistemas terrestres donde actualmente se realiza fracturamiento hidráulico

³ Un impacto sinérgico se puede identificar cuando la combinación de dos o más impactos sea mayor que su suma, o cuando dichos impactos generan la aparición de un tercer impacto. (Metodología General para la Elaboración y presentación de Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad de Licencias Ambientales, 2018).

El concepto de *ecosistema* ha estado evolucionando a lo largo de su existencia y ha refinado su significado para así designar hoy todo sistema con características físicas y bióticas que se interrelacionan y definen en una estructura funcional. La palabra fue utilizada por primera vez por Tansley en 1935 para comprender y describir las complejas interacciones entre factores bióticos y abióticos (Armenteras, González, Vergara *et al.*, 2016). Los muchos tipos de ecosistemas terrestres difieren, cada uno, en estructura y funcionamiento. Esto depende, entre otras cosas, de factores como las diferencias climáticas, que determinan en gran medida los tipos de ecosistemas que existen. Asimismo, la forma en la que los distinguimos depende de la fisionomía de la vegetación dominante, la cual está influenciada principalmente por el macroclima (Martínez-Yrizar, Felger y Búrquez, 2009). Además de esto, la fisiografía y el gradiente altitudinal es fundamental en la configuración de un ecosistema. Estas variables permiten definir, espacializar y delimitar las unidades ecosistémicas.

A partir de la conceptualización anterior, se analizarán algunos de los países o Estados que actualmente desarrollan fracturamiento hidráulico. Los países seleccionados para este análisis tienen varios años de utilizar la técnica de fracturamiento hidráulico y, por ende, se puede relacionar la incidencia de esta técnica sobre sus ecosistemas. Los países que se relacionan a continuación son Estados Unidos (Estado de California), Australia y Argentina.

2.1 *Estados Unidos*

De este país se ha seleccionado el estado de California por el nivel de debate que se ha dado frente al tema. En el Estado de California, específicamente en el condado de Sutter, se encuentran varios pozos de gas fracturados desde el año 2011. El Estado se encuentra

localizado en la Ecorregión denominada California Mediterráneo. Se caracteriza por su clima mediterráneo cálido y templado, vegetación arbustiva de chaparral mezclada con áreas de pastizales y bosques abiertos de roble, y valles agrícolas productivos. (Wiken, Jiménez-Nava y Griffith, 2011).

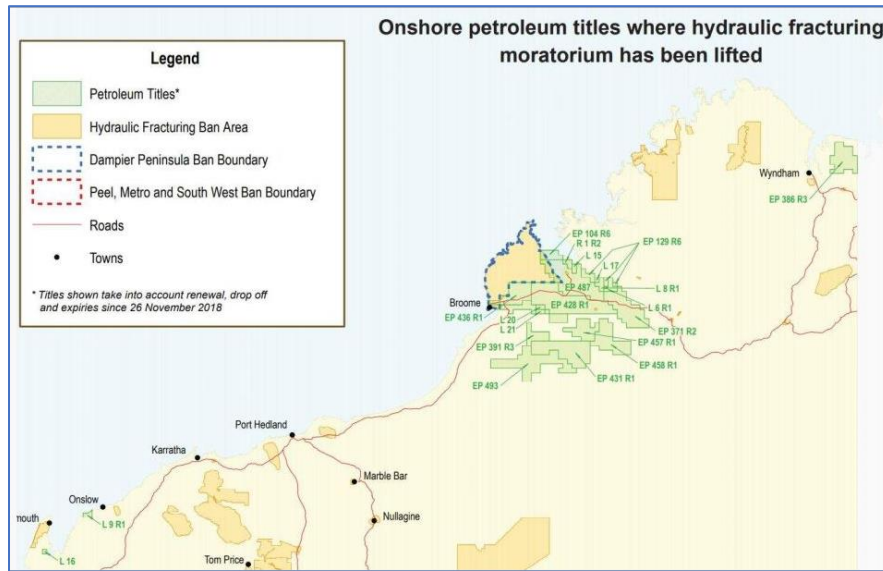
En la costa del sur, donde se desarrolla el fracturamiento hidráulico, el principal ecosistema corresponde a vegetación arbustiva de chaparral, ecosistema que se considera como hábitat crítico para diversas especies silvestres. El principal factor que afecta a este ecosistema es la sequía, pues, a pesar de que este resiste la escasez de lluvias, las sequías extremas causan gran mortandad sobre las especies vegetales y, por tanto, influyen en las especies de fauna (EcoAdapt, 2017). De acuerdo con Brant, A., Millstein, D., Jin, L., & Englander J. (2015), la Costa Sur de California, tiene graves problemas con la calidad del aire. Los autores indican que se está subestimando las emisiones de metano y otros compuestos que provienen de las operaciones de gas y petróleo bajo el fracturamiento hidráulico, factor que altera el cambio climático y, por ende, produce una tensión para el ecosistema de vegetación de chaparral. Sin embargo, hasta el momento, de este análisis no se ha encontrado la incidencia que la técnica de fracturamiento hidráulico puede llegar a tener sobre este ecosistema.

2.2 Australia Occidental

A partir del 2017, el gobierno de Australia Occidental decide permitir el desarrollo de la técnica de fracturamiento hidráulico en áreas con licencias de petróleo existentes, incluyendo Canning Basin cerca de Broome y de Carnarvon, y en las áreas circundantes de Geraldton (figura 2).

Figura 2

Bloques de petróleo en Australia Occidental donde se aprobó realizar fracturamiento hidráulico



Tomado de: <https://www.abc.net.au/news/2019-09-23/wa-fracking-moratorium-lifted/11502948>

El área donde se desarrollará el fracturamiento hidráulico pertenece a tres regiones biogeográficas correspondientes a Carnarvon, Geraldton Sandplains y Yarloo (Vogwill, 2017). Carnarvon es una biorregión árida con vegetación escasa y con un alto porcentaje de presión por presencia de pastoreo extensivo; hacia el norte de la biorregión se presentan extensos pisos de marea en terraplenes protegidos por la presencia de comunidades de manglares; en cuanto a la región de Yarloo, es una región semiárida a árida, con bosques bajos a abiertos y riqueza en diversidad de fauna y flora (Vogwill, 2017). Los ecosistemas de estas biorregiones son dependientes en mayor grado de la presencia de acuíferos semiconfinados y confinados, y es factible que también sean dependientes de las aguas subterráneas poco profundas. Sin embargo, en las zonas de agua subterránea se viene

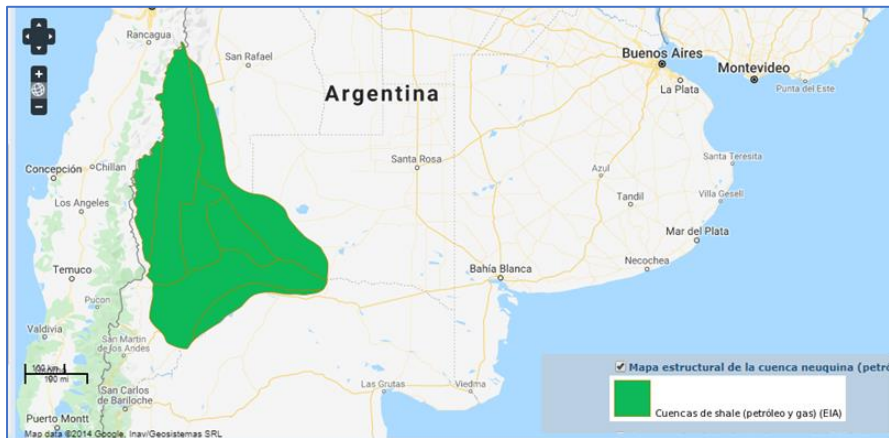
aumentando las presiones de desarrollo sobre la Cuenca septentrional de Perth, en particular en las zonas de aguas subterráneas donde anteriormente había bajos niveles de uso de las aguas subterráneas, por lo que existe un nivel de riesgo alto sobre estos ecosistemas (Vogwill, 2017). De acuerdo con lo anterior, Entrekin *et al.* 2015, citado por Vogwill (2017), identifica como impactos por el desarrollo del fracturamiento hidráulico entre otros, la contaminación de acuíferos, y la sobre extracción de recursos hídricos, lo que genera un riesgo inminente la afectación de los ecosistemas donde se desarrollará dicha técnica.

2.3 Argentina

La provincia de Neuquén forma parte de la Cuenca Neuquina, una de las más importantes del país desde el punto de vista de su actividad hidrocarburífera (figura 3). La integran, además, parte de las provincias de La Pampa, Río Negro y Mendoza. Ocupa el primer lugar en generación de gas y el segundo en generación de petróleo, tras la Cuenca del Golfo de San Jorge, emplazada en Chubut y Santa Cruz (Ferrante y Giuliani, 2014). Vaca Muerta es una formación sedimentaria depositada en un mar de edad jurásica que constituye la roca generadora de hidrocarburos líquidos y gaseosos más prolífica de la Cuenca Neuquina (Rinaldi, 2019, p. 88).

Figura 3

Cuenca Neuquina de Recursos No Convencionales

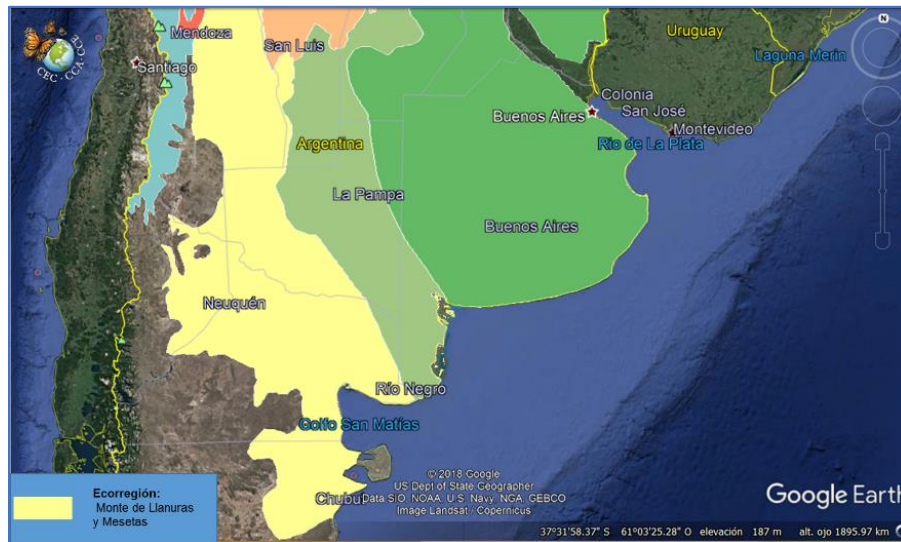


Adaptado de: Secretaría de Energía, Argentina

La Ecorregión delimitada en la Provincia de Neuquén se denomina Monte de Llanuras y Mesetas (figura 4). El clima es templado-árido y bajas precipitaciones (entre los 100 mm y ocasionalmente hasta 200 mm) se distribuyen, en el Norte, a lo largo del año; hacia el Sur, aumenta la influencia del régimen de tipo mediterráneo (lluvias de invierno) propio de la Patagonia. La vegetación es uniforme en lo que se refiere a la fisonomía y la composición florística, siendo la estepa arbustiva dominada por *Larrea spp* (jarillas). La formación característica en toda su extensión, se reduce la diversidad de especies de algunas familias botánicas como Cactáceas y Zigofiláceas. Los animales más característicos son la mara o liebre patagónica (*Dolichotis patagonum*), el cuis chico (*Microcavia australis*), el zorro colorado (*Lycalopex culpaeus*) (Silvia D. Matteucci) entre otros. En la provincia se han identificado 31 especies de fauna en vía de extinción.

Figura 4

Ecorregión Monte de Llanuras y Montes, Argentina



Adaptado de: Sistema de Información de Biodiversidad de la Administración de Parques Nacionales
(SIB)

Las áreas anteriormente expuestas presentan ecosistemas de importancia ecológica en los cuales existen especies de fauna y flora amenazadas. Asimismo, la información indica que los ecosistemas han sido altamente intervenidos. Sin embargo, al generarse impactos sinérgicos sobre los ecosistemas por el desarrollo del fracturamiento hidráulico, no es fácil relacionar directamente los impactos que se generan por la técnica como tal, entendiéndose que debe realizarse una línea base en la cual se evalúe la pérdida de recursos biológicos y pérdida de biodiversidad, por lo que es necesario que, además de las investigaciones relacionadas con la afectación del medio abiótico y socioeconómico, se profundice sobre el componente biótico y los efectos sobre los ecosistemas.

3. Estado de la discusión en Colombia

El gobierno nacional expidió el decreto 328 del 28 de febrero de 2020 *Por el cual se fijan lineamientos para adelantar actividades de exploración en Proyectos Piloto Integrales de Investigación (PPII) sobre yacimientos no convencionales de hidrocarburos con la utilización de la técnica de fracturamiento hidráulico multietapa mediante perforación horizontal, y se dictan otras disposiciones*. El decreto dentro de sus consideraciones se basa, entre otros argumentos, en el reto establecido en el Plan de Desarrollo *Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*, en el cual se requiere “incrementar las reservas para preservar la autosuficiencia de hidrocarburos en el mediano y largo plazo” (Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022).

En cuanto a requisitos ambientales, el decreto establece que los –PPII:

[...] estarán sujetos a la expedición de la licencia ambiental correspondiente, para lo cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el marco de sus competencias, expedirá los términos de referencia, sin perjuicio de la aplicación de los principios ambientales de que trata la Ley 99 de 1993. (Artículo 2.2.1.1.1A.2.3., Decreto 328 de 2020).

Los denominados PPII se originan de las recomendaciones de la Comisión Interdisciplinaria Independiente; sin embargo, en dicha comisión, el término PPII es entendido como un proyecto exploratorio de investigación, controlado, transparente y con verificación independiente (Comisión Interdisciplinaria Independiente, 2019, p.3).

Dentro de las recomendaciones de la Comisión se incluye establecer el diálogo con las comunidades y construir confianza durante la ejecución de los PPII y, según su resultado y

evaluación, obtener la *licencia social* antes de iniciar la actividad. Menciona que para el desarrollo del proyecto se debe concebir una justa compensación y una participación de la comunidad en las utilidades del negocio. Además, a lo largo de todo el informe, enfatiza en la importancia de una línea base consolidada en todos sus ámbitos: salud, social, ambiental (factores bióticos y abióticos), capacidad institucional, cumplimiento a la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, y participación y veeduría ciudadana.

En cuanto a los factores bióticos, la comisión indica que sobre la zona donde podrían desarrollarse los PPII, el Valle Medio del Magdalena (VMM), hay poca información de línea base en ecosistemas terrestres y acuáticos y su biodiversidad, sin contar con que estos amenazados por el negocio de los hidrocarburos.

Es importante resaltar que antes del decreto que da vía libre a los PPII, los opositores a la técnica del fracturamiento hidráulico ya habían ganado varias batallas jurídicas que a continuación se relacionan.

El Grupo de Litigio e Interés Público de la Universidad del Norte presentó en septiembre de 2016, ante el Consejo de Estado, una demanda de nulidad en contra del decreto 3004 de 26 de diciembre del 2013 y la resolución 90341 de 27 de marzo de 2014, los cuales fueron expedidos por el Ministerio de Minas y Energía para establecer los criterios y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. El Consejo de Estado concedió como medida cautelar la suspensión provisional de los actos administrativos demandados y se adoptaron medidas cautelares en noviembre del 2018. La

reglamentación para los YNC de hidrocarburos con la utilización de la técnica de fracturamiento hidráulico fueron suspendidos bajo el principio de precaución frente a los daños potenciales o riesgos que puedan resultar de las actividades asociadas a la técnica en mención.

Por otro lado, la Contraloría General de la República (CGR), emitió un informe en diciembre de 2018 donde realiza un análisis en detalle de los riesgos e impactos que implica el desarrollo de la técnica de fracturamiento hidráulico en Colombia. En sus conclusiones, demuestra que aún hay insuficiencia en la información de línea base y que se requiere un buen nivel de detalle de la geología estructural, los componentes sismotectónicos, hidrogeología, distribución espacial de los acuíferos, estrés hídrico, así como un análisis sobre los posibles conflictos de uso del agua que se pueden generar a nivel local o regional y un estudio completo sobre las medidas de prevención y control frente a un posible derrame y posteriores tratamiento y remediación del mismo, entre otras conclusiones⁴. Este análisis por parte de la CGR refuerza los argumentos sobre la necesidad de actuar con cautela frente a la actividad del fracturamiento hidráulico en Colombia y subraya que existe una necesidad de recopilar mayor información para reducir la incertidumbre que existe frente a los riesgos e impactos que se puedan presentar.

⁴ Contraloría General de la República. 2018. Riesgos y posibles afectaciones ambientales al emplear la técnica de fracturamiento hidráulico en la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales en Colombia. Bogotá.

Frente a lo anterior, el Consejo de Estado, mediante el auto del 17 de septiembre 2019, sostiene que:

persiste la incertidumbre frente a los potenciales riesgos o peligros asociados a la técnica. [...] a la fecha, no existe una identificación específica y concreta de los peligros de la técnica para el caso colombiano, la Sala valoró la medida cautelar a través del prisma del principio de precaución, por lo que encontró que esta es idónea, suficiente, razonable, proporcional y necesaria. (Consejo de Estado, Boletín 223 de octubre de 2019. p.51)

Además de los posibles riesgos ambientales y sobre la salud, también se debate sobre la viabilidad económica que esta actividad presenta. Desde una perspectiva distinta al gobierno, se habla de la profundización de la primarización de la economía y la inviabilidad por los beneficios tributarios y privilegios fiscales que se entregan para desarrollar esta técnica, y el costo de las consecuencias ambientales y sociales (Pardo, 2019). Por otro lado, en la discusión están presentes los convenios y acuerdos internacionales ambientales que Colombia ha aceptado y que debería adoptar con la rigurosidad del caso, como el Convenio sobre la Biodiversidad Biológica, Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, entre otros que pueden ir en contradicción con la técnica de fracturamiento hidráulico, discusión que se desarrolla en el numeral 6.2 del presente artículo.

3.1 *Colombia megadiversa*

Como consecuencia de la intensa presión que se ha venido ejerciendo en el mundo sobre los recursos naturales, el efecto del cambio climático ha hecho que organismos de la biota, la

flora y la fauna disminuyan e incluso desaparezcan. Por esta razón, es inminente conservar y proteger los ecosistemas que aún existen, teniendo en cuenta que la presencia de dichos ecosistemas permite que siga existiendo el agua, el suelo que provee los alimentos y, por lo mismo, permite la existencia misma de los humanos. La diversidad de ecosistemas del territorio colombiano se define por variables como la ubicación latitudinal intertropical, la gran variedad de condiciones edafoclimáticas que, a su vez, determinan en su evolución histórica una gran diversidad de espacios geográficos, lo que ha conducido a la megadiversidad biológica de especies (Etter, 1993). Los ecosistemas forestales, por su parte, concentran la mayor parte de la biodiversidad terrestre mundial (FAO-PNUMA, 2020), por lo que la superficie boscosa es un factor esencial para la protección de los Ecosistemas Terrestres.

3.2 Ecosistemas presentes en Colombia

En Colombia se han identificado 85 grandes tipos de ecosistemas, de los cuales 34 son terrestres continentales e insulares (26 naturales y 8 transformados), 16 de agua dulce (15 naturales y 1 transformado) y 35 marino-costeros (WWF-Colombia, 2017). De acuerdo con los datos de Biodiversidad en Cifras del Sistema de Información sobre Biodiversidad en Colombia (SIB, 2019), Colombia es el primer país en diversidad de orquídeas y aves, el segundo en plantas, anfibios, mariposas y peces dulceacuícolas, el tercero en palmas y reptiles y el cuarto en diversidad de especies de mamíferos. En cuanto a especies arbóreas, Colombia es el segundo país en el mundo con mayor diversidad y el décimo con especies arbóreas endémicas (FAO-PNUMA, 2020, p. 36).

3.3 *Vulnerabilidad de los ecosistemas*

Los sistemas de información geográfica en el país y en el mundo ayudan a realizar varios análisis que dan la pauta para el diagnóstico de nuestros recursos naturales. Es así como la UICN en 2017 presenta la lista roja de ecosistemas, que aplica estándares globales con el fin de unificar criterios.

En Colombia el resultado de la evaluación de los ecosistemas no es muy alentador: se informa que existen 20 ecosistemas en peligro crítico (CR, por sus siglas en inglés), 18 ecosistemas en peligro (EN, por sus siglas en inglés), 15 ecosistemas vulnerables (VU, por sus siglas en inglés) y 28 ecosistemas en preocupación menor (LC, por sus siglas en inglés). Los ecosistemas que se encuentran en CR son los del bioma de bosque seco tropical y desierto tropical, los ecosistemas secos intrazonales de los Andes, los ecosistemas húmedos (como los humedales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca) y las áreas de bosque húmedo tropical del piedemonte de los Llanos Orientales (Etter, Andrade, Saavedra *et al.*, 2017). Dicha información debe constituir la base para el desarrollo de políticas públicas y acciones que permitan enfocarse en primera medida en los ecosistemas en CR y en EN, además de evidenciar los ecosistemas VU para evitar que pasen a las categorías de peligro.

De acuerdo con el informe de Bland, Nicholson, Miller *et al.* de 2019, Colombia se ha comprometido, basados en la Lista Roja de Ecosistemas (RLE), a aumentar la extensión de su red de áreas protegidas del 12 % al 17 % de la superficie terrestre del país para 2020 a través de la identificación de ecosistemas amenazados desprotegidos. Sin embargo, tal y como lo plantea Hernández, M. (2019), más allá de limitar la respuesta a esta situación con

una evaluación de las áreas protegidas y la priorización de los sitios de conservación, se requiere que se desarrollen políticas e instrumentos como diseño de planes de uso del suelo, políticas macroeconómicas y la gestión de ecosistemas, con el fin de encontrar mayor efectividad en la conservación de los ecosistemas amenazados.

3.4 Cambio Climático y Biodiversidad

Desde hace varios años, existe un consenso científico universal sobre el hecho de que el cambio climático es una realidad y que su causa es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como resultado de la actividad humana (Costa Posada, Carlos, 2007). Según la CEPAL (Bárcena, Samaniego, Galindo, 2018), la riqueza natural de América Latina y el Caribe se encuentra en riesgo y continuo deterioro donde el cambio climático intensifica las presiones debido a la alta sensibilidad de muchos ecosistemas. El cambio climático podría tender a aumentar la tasa de pérdida de recursos biológicos y sus efectos serían particularmente graves en aquellos ecosistemas que ya se encuentran significativamente alterados por efecto de las actividades humanas.

En consecuencia, el cambio climático afecta a los ecosistemas terrestres y altera la distribución de la cobertura del suelo, la biodiversidad y la mezcla de especies vegetales y animales en los ecosistemas, la estructura y productividad de la vegetación, y los ciclos de nutrientes y del agua (Alianza Clima y Desarrollo, Overseas Development Institute, SouthSouthNorth y Fundación Futuro Latinoamericano, 2019).

Si bien se evidencia la importancia de crear acciones para la adaptación del cambio climático, las estrategias que se tienen previstas en Colombia dan la mirada hacia un sector específico, pero es necesario que en estas actividades también se incluya la industria tanto petrolera como minera y sus impactos sobre los ecosistemas del área de influencia directa e indirecta donde se establecen dichos proyectos.

En concordancia a lo expresado en este capítulo, es importante resaltar que Colombia requiere ser más contundente en la conservación de los ecosistemas y, con mayor prioridad, los ecosistemas con alta vulnerabilidad ante el cambio climático. En ese sentido, se debe realizar una evaluación profunda sobre los efectos que el desarrollo del fracturamiento hidráulico puede causar sobre los ecosistemas presentes en áreas donde se está proyectando realizar.

4. Ecosistemas amenazados y áreas propuestas para los proyectos piloto de investigación integral de fracturamiento hidráulico

Como se ha venido explicando en el desarrollo del presente documento, el fracturamiento hidráulico afecta a los recursos del suelo, el agua y el aire y, por tanto, los ecosistemas en general. Por consiguiente, es necesario realizar un análisis sobre los ecosistemas en los cuales se plantea desarrollar los PPII de fracturamiento hidráulico.

La erosión es uno de los procesos de degradación de los suelos que afecta incluso a los ecosistemas naturales. Los procesos erosivos facilitan la pérdida de cobertura vegetal, biodiversidad, suelos y agua, lo que afecta la provisión de servicios ecosistémicos (IDEAM,

2017). El IDEAM identificó los ecosistemas que se encuentran en erosión muy grave, erosión grave, erosión moderada y erosión ligera. En la región andina se identificaron 45 ecosistemas generales naturales y 19 ecosistemas transformados; la transformación fue de un 2,67 % en 2017. En las cuencas sedimentarias donde se pretende desarrollar los proyectos con fracturamiento hidráulico en el Catatumbo, la Cordillera Oriental, el Valle del Magdalena Medio, el Valle Superior del Magdalena, el Cesar Ranchería y el Sinú San Jacinto se encuentran ocho ecosistemas con erosión muy grave y grave, área que corresponde al 32 % del total de los ecosistemas naturales generales, tal como puede verse en la tabla 1.

Tabla 1

Ecosistemas con Erosión muy grave y grave presentes en Cuencas Sedimentarias

Categoría de erosión	Ecosistema	Hectáreas	%
Erosión muy grave	Subxerofitia basal	134098,94	16
	Herbazal andino húmedo	7336,03	1
	Complejos rocosos de los andes	6703,07	1
Erosión grave	Xerofitia árida	32139,59	4
	Subxerofitia subandina	31410,58	4
	Subxerofitia andina	27239,28	3
	Bosque de galería basal seco	18827,01	2
	Herbazal subandino húmedo	14439,45	2

Elaboración propia a partir de la información en shapefile de la ANH.
<https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Paginas/default.aspx>

De estos ecosistemas, 32 % corresponden a 227 193,95 hectáreas con ecosistemas en alta vulnerabilidad. Entre ellos, el bosque subxerofita basal es uno de los ecosistemas con mayor transformación por causas antrópicas se encuentra en los departamentos del Cesar, Magdalena, Huila y Tolima.

De acuerdo con el informe de la CGR (2018), dentro de las cuencas anteriormente enunciadas, se tienen los siguientes bloques proyectados como áreas de YNC: bloque VMM-9, operado por la empresa Parex Resources Inc; bloque VMM-3, operado por la Empresa ConocoPhillips; bloque La Loma (La Loma), bloque La Loma, bloque CR2; bloque CR3, y Bloque CR4, a nombre de la Empresa Drummond Ltd (tabla 2).

Tabla 2

Ecosistemas presentes en Bloques de Yacimientos No Convencionales

Bloque	Ecosistema general
CR 2	Bosque de galería basal seco
	Herbazal subandino húmedo
	Subxerofitia basal
	Subxerofitia subandina
	Xerofitia árida
CR 3	Bosque de galería basal seco
	Complejos rocosos de los andes
	Subxerofitia basal
CR 4	Bosque de galería basal seco

Bloque	Ecosistema general
	Complejos rocosos de los andes
	Herbazal subandino húmedo
	Subxerofitia basal
LA LOMA	Bosque de galería basal seco
	Complejos rocosos de los andes
	Subxerofitia basal
LA LOMA	Bosque de galería basal seco
(LA LOMA)	Subxerofitia basal

Elaboración propia a partir de la información en shapefile de la ANH.
<https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Paginas/default.aspx>

Es importante aclarar que la información de los ecosistemas que se relacionan son basados en información secundaria a una gran escala (1:100 000), por lo que es necesario caracterizar una línea base específica sobre el área para reducir la incertidumbre (igual o menor a 1:25 000). De igual manera, la información sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas colombianos es nueva, por lo que no se tienen instrumentos que encaminen con acciones la protección de estos ecosistemas. Si bien existen varios proyectos con enfoque local, se requiere una trazabilidad en las políticas nacionales que se encaminen hacia la protección de los ecosistemas identificados con alta vulnerabilidad.

Con lo anterior, es importante reflexionar de una manera holística acerca de los ecosistemas, que son una concepción holística *per se*. De acuerdo con Gastó (1979) “el ecosistema

constituye la síntesis de los componentes físicos y biológicos con la característica de integrar en una sola unidad elementos de naturaleza tan diversa como los que caracterizan a los recursos naturales”. Por consiguiente, cualquier afectación de un recurso repercute sobre la conservación y el equilibrio del ecosistema, por tanto, los impactos que se han relacionado anteriormente crean disturbio en los ecosistemas. Si existe estrés hidrológico, si se contraminan los mantos freáticos o el agua superficial, si se presenta contaminación del suelo por posibles derrames o flujos de retorno, si ese emite gases efecto invernadero, todos estos impactos llevan a un mayor impacto para los ecosistemas.

Sin embargo, para relacionar y medir los impactos que se dan sobre los ecosistemas presentes en el área de los PPII, se requiere de una línea base consolidada donde se prioricen los ecosistemas vulnerables y los ecosistemas que han sido afectados por la presión antrópica de la ganadería extensiva y la industria de hidrocarburos convencionales. No obstante, no hay línea base para la identificación de estos impactos; las licencias ambientales cuentan con información dispersa de lo que existe actualmente en las áreas petrolíferas, pero no se cuenta con información independiente e investigativa en la cual se pueda identificar el nivel de intensidad de los impactos y mucho menos se tiene una evaluación detallada de la sinergia de los impactos, es decir, del efecto que generan los impactos del recurso agua, aire y suelo, sobre los ecosistemas.

4.1 Compromisos internacionales en materia de conservación de la biodiversidad

Los escenarios emisiones futuras indican que si no se actúa con controles efectivos a la emisión de los gases efecto invernadero, la temperatura, para el año 2100, podrá llegar a

aumentar 3 grados y medio (Costa Posada, Carlos, 2007 pp76). Por tanto, la conservación de los ecosistemas se encuentra en grave amenaza y la aplicabilidad de los compromisos que el país ha adquirido en pro de la adaptación del cambio climático es apremiante y urgente. En este capítulo se tendrán en cuenta los compromisos internacionales que ha adquirido el país, para verificar si el fracturamiento hidráulico es permisible en el marco de los compromisos que tiene el país frente al cambio climático.

La ley 165 de 1994 adopta el Convenio de Diversidad Biológica, que establece que:

[...] por diversidad biológica se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. (Artículo segundo, Párrafo 6. Ley 165 de 1994)

En concordancia a lo definido por Etter (1993), si existen ecosistemas en peligro o con alta erosionabilidad, a su vez, existirán especies en algún grado de peligro. Por esto, es importante identificar tales ecosistemas y dar cumplimiento en lo que respecta a la rehabilitación y restauración de los ecosistemas degradados y el literal en el que se enuncia que la Nación establecerá o mantendrá la legislación necesaria y/u otras disposiciones de reglamentación para la protección de especies y poblaciones amenazadas.

La Política Nacional de Biodiversidad plantea como objetivo:

[...] promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los conocimientos, innovaciones y prácticas asociados a ella por parte de la comunidad científica nacional, la industria y las comunidades locales. (Política Nacional de Biodiversidad, MADS, 2015)

La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos realizó una evaluación de los primeros 15 años de la gestión de la Política Nacional de Biodiversidad y concluyó que se requiere promover mayor articulación de esta política con otras de carácter sectorial, así como también una mayor participación social y comunitaria en la gestión que el país hace de su biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (MADS, 2015). Asimismo, el Acuerdo de París envía una señal contundente de que los bosques son esenciales para cumplir con la meta global de mitigación. Además, establece que los países deberían conservar y aumentar los sumideros y los depósitos de gases de efecto invernadero, incluyendo los bosques (García Arbeláez, Vallejo, Higgings *et al.*, 2016). Por otro lado, es importante tener en cuenta que las posibles fugas de metano generadas por el fracturamiento hidráulico, son incidencia directa sobre el cambio climático y, por tanto, esta técnica va en contravía del objetivo del acuerdo de París, referente a evitar el incremento de la temperatura media global, objetivo que previene la desaparición de algunos organismos biológicos y, por ende, la degradación de los ecosistemas,

Adicionalmente, la Convención Mundial de las Naciones Unidas por el Cambio Climático establece en sus principios que:

Las Partes deberían tomar medidas de precaución para prever, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos. Cuando haya amenaza de daño grave o

irreversible, no debería utilizarse la falta de total certidumbre científica como razón para posponer tales medidas, tomando en cuenta que las políticas y medidas para hacer frente al cambio climático deberían ser eficaces en función de los costos a fin de asegurar beneficios mundiales al menor costo posible. A tal fin, esas políticas y medidas deberían tener en cuenta los distintos contextos socioeconómicos, ser integrales, incluir todas las fuentes, sumideros y depósitos pertinentes de gases de efecto invernadero y abarcar todos los sectores económicos. (Convención Mundial de las Naciones Unidas por el Cambio Climático. PNUMA, 2018)

Lo anterior, comprende la aplicación del principio de precaución, el cual para el caso del desarrollo del fracturamiento hidráulico en Colombia, tal y como lo precisa Vargas-Chaves (2017):

[...] más allá de referirse al respaldo de una norma, debe corresponder a la legitimidad social que deviene de un consenso entre la sociedad, los jueces y las autoridades encargadas de aplicar el principio, con el fin de aceptarlo como una solución ante potenciales riesgos. (Vargas-Chaves, 2017. p. 45)

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que los compromisos y las políticas están postuladas y, a la vez, existen políticas minero-energéticas y económicas que exigen un desarrollo sobre la base de recursos no renovables como el carbón y el petróleo, y con una transición energética con avances lentos. Por consiguiente, mientras el país tiene un discurso ambiental y una normativa ambiental robusta que indica su interés por el cuidado del ambiente y la adaptación del cambio climático, paralelamente insiste en desarrollar actividades que van en contra vía de estas premisas, como es el fracturamiento hidráulico, el cual podría llegar a aportar el aumento de la temperatura global con el potencial impacto de

emisión de metano y afectar a los ecosistemas forestales, los cuales aportan como sumideros de gases efecto invernadero. En este mismo sentido, se está incumpliendo al Convenio de Diversidad Biológica, reglamentado por una ley de la República.

5. Conclusión: existe un riesgo inminente sobre los ecosistemas y la biodiversidad por el fracturamiento hidráulico

Los países analizados presentan áreas mucho más homogéneas en cuanto a las ecorregiones evaluadas, incluida su estructura boscosa, y se caracteriza por una menor biodiversidad; sin embargo, cuentan con áreas de importancia ambiental que, hoy por hoy, se encuentran en peligro, tal como el caso del derrame sucedido en Neuquén, Argentina, en octubre de 2018⁵.

Las experiencias internacionales donde se está desarrollando la actividad del fracturamiento hidráulico para YNC de petróleo y gas demuestran que si Colombia quiere proteger los recursos naturales y la salud de los colombianos de las áreas de influencia de dichos proyectos requiere de un estudio más detallado acerca de la Biodiversidad de especies de fauna y flora y, en general, de los ecosistemas donde habitan estas especies, además de tener que llevar a cabo una evaluación de la vulnerabilidad que tienen dichos ecosistemas. El estudio detallado debe ser independiente a los intereses económicos de las empresas que estén interesadas en el desarrollo de la técnica de fracturamiento hidráulico.

⁵ Denuncia sobre la contingencia presentada en Neuquén. Fracking y un desastre anunciado: Neuquén después del derrame. Prensa: Alterinfos América Latina. 7 de noviembre de 2018. Tomado de: <http://www.alterinfos.org/spip.php?article8359>

Si se quiere cumplir con los compromisos adquiridos en materia ambiental, debe existir prioridad por la conservación y protección sobre una actividad económica que continúa con políticas energéticas dependientes de recursos naturales no renovables. A esto se suma que, el fracturamiento hidráulico es un factor para la generación de gases efecto invernadero sobre el cambio climático y que, por tanto, los cambios en los factores climáticos podrían influir en los procesos abióticos funcionales de los ecosistemas (Anderson, Marengo, Villalba, *et al.* 2011). Esto, por supuesto, lleva a la irrupción de los procesos bióticos.

En cuanto a los esfuerzos que Colombia ha venido desarrollando, se tienen políticas nacionales y convenios internacionales ambientales importantes como los enunciados anteriormente; no obstante, en la práctica, se requiere voluntad política y mayor capacidad institucional para el cumplimiento de dichos compromisos con el ambiente y los recursos naturales. El Acuerdo de Paris es fundamental para llevar a cabo una evaluación de las políticas actuales y definir cuáles contrastan con el cumplimiento de este acuerdo y, por tanto, debe existir una sinergia entre el Acuerdo de Paris y las políticas públicas minero-energéticas.

Los impactos que se pueden generar por el desarrollo de la técnica de fracturamiento hidráulico tienen distintos niveles e intensidades de acuerdo con cada zona, es decir, cada país con base en información específica deberá analizar cuáles impactos tienen mayor significancia. En el caso de Colombia, antes de realizar los PPII, se deben evaluar los impactos abióticos que por sinergia pueden llegar a alterar los ecosistemas presentes y se debe tener como análisis crítico la condición de vulnerabilidad de estos ecosistemas. Esto tiene como fin poner en una balanza si es pertinente realizar los PPII o si, en cambio, la línea

base que se llegue a consolidar pueda servir para generar proyectos que incidan en la recuperación, conservación y protección de los ecosistemas.

Referencias

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. Información Geológica y Geofísica. Tabla de datos en shapefile. <https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Paginas/default.aspx>. Descargado el 19 de junio de 2020.
- Alianza Clima y Desarrollo, Overseas Development Institute, SouthSouthNorth y Fundación Futuro Latinoamericano (2019). Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Informe Especial del IPCC sobre Cambio Climático y la Tierra. Recuperado de <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/59017/IDL-59017.pdf?sequence=1>
- Anderson E.P., Marengo J.A., Villalba R., Hallow S.R.P., Yung B.E., Cordero D., Gast F., Jaimes E., Ruiz D. (2012) Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y servicios de los ecosistemas en los Andes tropicales. En: Herzog S.K., Martínez R., Jørgensen P.M., Tiessen H. (Eds.) *Cambio climático y biodiversidad en los Andes tropicales*. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI)-Comité Científico sobre Problemas del Medioambiente (SCOPE). París, Francia, pp. 1–22.
- Andrade, G. I.; Castro, L. G. (2012). Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia, invitación a una interpretación socioecológica. En *Ambiente y Desarrollo XVI* (30); 53:71 Código SICI: 0121-

7606(201206)16:30<53: DPTBCC>2.0.TX; 2-4

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4021796>

Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., & Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*, 25(1), 83-89.

Auyero, J., Hernández, M., & Stitt, M. (2019). En el vientre de la bestia. Reconstrucción relacional de la campaña contra el fracking en Texas. *Estudios Sociológicos De El Colegio De México*, 37(111), 611-657.

Bárcena, A., Samaniego, J., Galindo, L., Carbonell, J., Alatorre, J., Stockins, P. (2018). *La economía del cambio climático en América latina y el caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, Euroclima, Gobierno de España, Union Europea. Recuperado de

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42228/4/S1701215A_es.pdf

Bland, L. M., Nicholson, E., Miller, R. M., Andrade, A., Carré, A., Etter, A., Ferrer-Paris, J. R., Herrera, B., Kontula, T., Lindgaard, A., Pliscoff, P., Skowno, A., Valderrábano, M., Zager, I., & Keith, D. A. (2019). Impacts of the IUCN red list of ecosystems on conservation policy and practice. *Conservation Letters*, 12(5).

Brant, A., Millstein, D., Jin, L., & Englander J. 2015. Fracking and Air Pollution.v5.

Recuperado de <https://www.osti.gov/servlets/purl/1236176>

CAF. (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*. Caracas: CAF. Recuperado de

<http://scioteca.caf.com/handle/123456789/517>

Consejo de Estado. Jurisprudencia y Conceptos. Boletín 223 de octubre de 2019. p. 51.

Consejo de Estado Sección Tercera. Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección

Tercera, Sentencia 760012331000200050427101 del 8 de noviembre de 2018, C. P.

Ramiro Pazos Guerrero, radicación 11001032600020160014000(57.819).

Consejo de Estado. Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Tercera, Auto de 17 de

septiembre de 2019, C. P. María Adriana Marín, radicación 11001-03-26-000-2018-

00140-00(57819) B. Boletín 223 de octubre de 2019. Tomado de:

<http://www.consejodeestado.gov.co/comunicaciones/publicaciones-2/>

Comisión Interdisciplinaria Independiente (2019). *Informe sobre efectos ambientales*

(bióticos, físicos y Sociales) y económicos de la exploración de hidrocarburos en

áreas con posible despliegue de técnicas de fracturamiento hidráulico de roca

generadora mediante perforación horizontal. Bogotá.

Contraloría General de la República (2018). *Riesgos y posibles afectaciones ambientales al*

emplear la técnica de fracturamiento hidráulico en la exploración y explotación de

hidrocarburos en yacimientos no convencionales en Colombia. Bogotá.

Costa-Posada, C. C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de*

Ingeniería Universidad de los Andes, 1(26), 74-80.

Duke University (2016). *Contamination in North Dakota linked to fracking spills: Metals,*

salts and radioactivity in brine-laden wastewater years later. ScienceDaily.

Recuperado de <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/04/160427150617.htm>

EcoAdapt (2017). *Climate change vulnerability assessment for the Southern California*

Climate Adaptation Project. Recuperado de

[http://ecoadapt.org/data/documents/EcoAdapt_SoCalVASynthesis_Chaparral_FINAL](http://ecoadapt.org/data/documents/EcoAdapt_SoCalVASynthesis_Chaparral_FINAL2017.pdf)

[2017.pdf](http://ecoadapt.org/data/documents/EcoAdapt_SoCalVASynthesis_Chaparral_FINAL2017.pdf)

- EPA. Agencia de Protección Ambiental. 2016. Fracturación hidráulica para petróleo y gas: impactos del ciclo del agua de fractura hidráulica en los recursos de agua potable en los Estados Unidos (Informe final). Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., Washington, D. C. Recuperado de:
<https://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=332990>
- Etter, A. 1993. Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Javeriana. Bogotá.
- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P., Arévalo, P., Cortés, J., Pacheco, C., & Soler, D. (2017). *Lista roja de ecosistemas de Colombia (Vers.2.0)*
- Food and Agriculture Organization y United Nations Environment Programme. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020: los bosques, la biodiversidad y las personas*. Food & Agriculture org. Recuperado de
<http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642es>
- Ferrante, S. y Giuliani, A. (2014). Hidrocarburos no convencionales en Vaca Muerta (Neuquén): ¿Recursos estratégicos para el autoabastecimiento energético en la Argentina del siglo XXI?. En *Revista Estado y Políticas Públicas*, 3, pp. 33-61. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/267863762>
- Fierro, J. (2019). Fracking viene de fractura. En: Orduz, N. (Eds.), *La inviabilidad del fracking frente a los retos del siglo XXI* (pp. 77-84). Bogotá, Fundación Heinrich Böll. Recuperado de: <http://co.boell.org>.
- García Arbeláez, C., Vallejo, G., Higgings M. L. y Escobar, E. M. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático* (1.ª ed.). Cali, Colombia, WWF-Colombia.

- Gastó, J. (1979). *Ecosistema. Componentes y atributos relativos al desarrollo y Medio ambiente*. Proyecto CEPAL/PNUMA. Estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina.
- González, A. U., & Marcellesi, F. (2012). Fracking: Una fractura que pasará factura. *Ecología política*, 43, 23-36.
- Hernández, M. (2019, septiembre 30). La Lista Roja de Ecosistemas de UICN en las políticas públicas. *UICN Lista Roja de Ecosistemas*. <https://iucnrl.org/blog/the-iucn-red-list-of-ecosystems-in-public-policies/>
- Howell, E. L., Wirz, C. D., Brossard, D., Scheufele, D. A., & Xenos, M. A. (2019). Seeing through risk-colored glasses: Risk and benefit perceptions, knowledge, and the politics of fracking in the United States. *Energy Research & Social Science*, 55, 168-178.
- Kaplan, S., & Garrick, B. J. (1981). On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, 1(1), 11-27.
- MADS. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Metodología General para la Elaboración y presentación de Estudios Ambientales.
- MADS. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos. (PNGIBSE).
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R. S., & Búrquez, A. (2009). Los ecosistemas terrestres de Sonora: Un diverso capital natural. En F. Molina-Freaner & T. Van-Devender (Eds.), *Diversidad biológica del estado de Sonora* (pp. 129-156). UNAM. : https://www.researchgate.net/profile/Angelina_Martinez-

Yrizar/publication/239522577_Los_Ecosistemas_de_Sonora_un_diverso_capital_natural_En_Diversidad_biologica_de_Sonora/links/5782dd5508ae5f367d3b66be/Los-Ecosistemas-de-Sonora-un-diverso-capital-natural-En-Diversidad-biologica-de-Sonora.pdf

Minambiente. Ministerio de Ambiente (1994). Ley 165 de 1994 por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992.

Minambiente. Ministerio de Ambiente (1996). Política Nacional de la Biodiversidad.

Ministerio de Minas y Energía. 2020. Decreto 328 del 28 de febrero de 2020. “Por el cual se fijan lineamientos para adelantar Proyectos Piloto de Investigación Integral -PPII sobre Yacimientos No Convencionales -YNC de hidrocarburos con la utilización de la técnica de fracturamiento Hidráulico Multietapa con Perforación Horizontal/-FH-PH, y se dictan otras disposiciones”.

Mittermeier, R.A., Robles-Gil, P. y Mittermeier, C.G. (1997) *Megadiversidad los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX, México.

Mora-Fernández, C., Peñuela-Recio, L., y Castro-Lima, F. (2015). Estado del conocimiento de los ecosistemas de las sabanas inundables en la Orinoquia Colombiana. *Orinoquia*, 19(2), 253-271. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n2/v19n2a12.pdf>

Nolen-Hoeksema, R. (2013). Elementos de fracturamiento hidráulico. *Oilfield Review*, 25(2), 57-58. Recuperado de: <http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/4676/Asignaturas/1458/Archivo2.3329.pdf>

- Pardo, A. (2019). La inviabilidad económica del fracking, subsidios estatales y crisis fiscal en Colombia. En: Orduz, N. (Eds.), *La inviabilidad del fracking frente a los retos del siglo XXI* (pp. 47-70). Bogotá, Fundación Heinrich Böll. Recuperado de:
<http://co.boell.org>.
- Ponente. PAZOS, Ramiro. Consejo de Estado. Sala de lo Contencioso Administrativo. Sección Tercera. Noviembre, 2018.
- Pinto-Valderrama, J. E., y Idrovo, A. J. (2019). Fracking, yacimientos en roca generadora y salud humana: Entre la incertidumbre y la precaución. *Salud UIS*, 51(2), 100-102.
- PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Septiembre, 2018. Trabajo n. °: DEP/2101/NA
- Quintana Pérez, C. (2015). Fracking y sostenibilidad energética. *UCE Ciencia. Revista De Postgrado*, 3(2). Recuperado de
<http://uceciencia.edu.do/index.php/OJS/article/view/45/41>
- Rangel, J. O. (2005). La biodiversidad de Colombia. *Palimpsestvs*, (5). Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/palimpsestvs/article/view/8083>
- Rinaldi, S. C. (2020). Vaca Muerta y medio ambiente sano: obligaciones del Estado Argentino a la luz de la Opinión Consultiva OC. 23/17 de la CIDH. *Acta Hispanica*, (II), 457-469.
- SIB. (s. f.). *Cartografía | SIB, Parques Nacionales, Argentina*. Sib.gob.ar
<https://sib.gob.ar/cartografia>. Revisado el 01 de febrero de 2021
- Silvia D. Matteucci, S. (2012). Capítulo 10 Ecorregión Monte de Llanuras y Mesetas. Libro *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Buenos Aires, Orientación Gráfica Editora. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/profile/Silvia_Matteucci/publication/299484345_Monte_de_Llanuras_y_Mesetas/links/56fad08908ae8239f6dad57b.pdf

Vargas-Chaves, I. (2017). Una crítica al principio de precaución desde las tensiones sobre su legitimidad y vinculatoriedad. En I. Vargas-Chaves & G. A. Rodriguez (Eds.), *Principio de precaución: Desafíos y escenarios de debate* (pp. 36-67). Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.

Vogwill, R. (2017). *Western Australia's tight gas industry - A review of groundwater and environmental risks*. Perth.

Wiken E. B, Jiménez-Nava, F. y Griffith, G. (2011). North American Terrestrial Ecoregions—Level III. (Wiken E. B., Ed.). Commission for Environmental Cooperation. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/10415-north-american-terrestrial-ecoregionslevel-iii-en.pdf>

WWF-Colombia (2017). *Colombia Viva: Un país megadiverso de cara al futuro. Informe 2017*. WWF-Colombia.