



ORIGEN 80110-DESPACHO DEL CONTRALOR

FELIPE CORDOBA LARRARTE

DESTINO JUAN GABRIEL URIBE / MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS -

ASUNTO FUNCIÓN DE ADVERTENCIA. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

OBS 80110 - 352 PROYECTO DR. JORGE CRUZ, C.D. MEDIO AMBIENTE



Bogotá, D. C.

Doctores:

**JUAN GABRIEL URIBE**

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**FEDERICO RENJIFO**

Ministro de Minas y Energía

**LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR**

Directora Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA

**ORLANDO CABRALES SEGOVIA**

Director Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH

Bogotá D.C.

Asunto: Función de Advertencia. Principio de Precaución y Desarrollo Sostenible. Posibles Riesgos. Hidrocarburos no Convencionales.

La Contraloría General de la República, con fundamento en el numeral 7° del artículo 5° del Decreto Ley 267 de 2000, en concordancia con el inciso 6 del artículo 272 de la Constitución Política, en ejercicio de la vigilancia fiscal que le compete, profiere FUNCIÓN DE ADVERTENCIA con el propósito de prevenir a la administración, para que en la regulación técnico ambiental para efectos de la exploración, explotación y licenciamiento de Hidrocarburos no Convencionales, proceso en el que intervienen diferentes actores con diferentes responsabilidades, se tenga en cuenta el Principio de Precaución, ante el riesgo latente para el patrimonio ambiental por la posible contaminación de aguas subterráneas, la afectación fuentes hídricas, el riesgo para centros urbanos en el área de influencia, la salubridad pública y el riesgo geológico, por la forma de explotación mediante fracturamiento hidráulico.

## I. ANTECEDENTES

La CGR ha señalado en auditorías realizadas en ejercicio de su labor de fiscalización, la importancia de que los gestores institucionales con obligaciones en la protección de áreas e importancia ecológica, de la necesidad de que el instrumento licencia ambiental internalice las externalidades ambientales, incentivando la reducción de la contaminación y el empleo de tecnologías con el fin de que la explotación por empresas nacionales e internacionales de nuestros recursos naturales no renovables se haga de manera sostenible, sin sacrificar el bienestar de la nación<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Foro Ambiente: Cuestión de medio. CGR. Revista Economía Colombia. Editorial



## II. CONSIDERANDOS TÉCNICOS

### 1. Noción de Hidrocarburos No Convencionales, (HNC)

De conformidad con el glosario de la página web de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, los HNC, son: *"Hidrocarburos presentes en el subsuelo en estado diferente a los Hidrocarburos Líquidos convencionales o gas libre, incluyendo gas asociado a los primeros; o Hidrocarburos que se encuentren en yacimientos no convencionales. Esta definición incluye Hidrocarburos tales como crudos extra pesados, arenas bituminosas, gas en mantos de carbón, yacimientos de muy baja porosidad (tight) e hidratos de gas."* En el anexo 1 se mencionan los HNC más conocidos.

### 2. Forma de explotación

La diferencia entre los Hidrocarburos Convencionales y los no Convencionales, radica en la forma de explotación. Es así, como para la explotación de los HNC, se acude al fracturamiento hidráulico.

Se denomina 'fracturamiento hidráulico' o, en inglés, '*fracking*' a la perforación horizontal de estratos de lutitas presentes en las profundidades del subsuelo y la inyección de agua a gran presión, mezclada con arena y productos químicos, con el fin de fracturar la roca y extraer gas metano. (Resaltado fuera de texto)

Primero se realiza una perforación vertical convencional, que puede llegar a profundidades de dos a tres kilómetros. Al llegar a la napa de esquisto se inician las perforaciones horizontales, que pueden ser varias desde un mismo pozo vertical y extenderse cada una de dos a tres kilómetros. Habiendo blindado toda la tubería, en los tramos horizontales se realizan las perforaciones laterales para inyectar la mezcla que fracturará la roca.

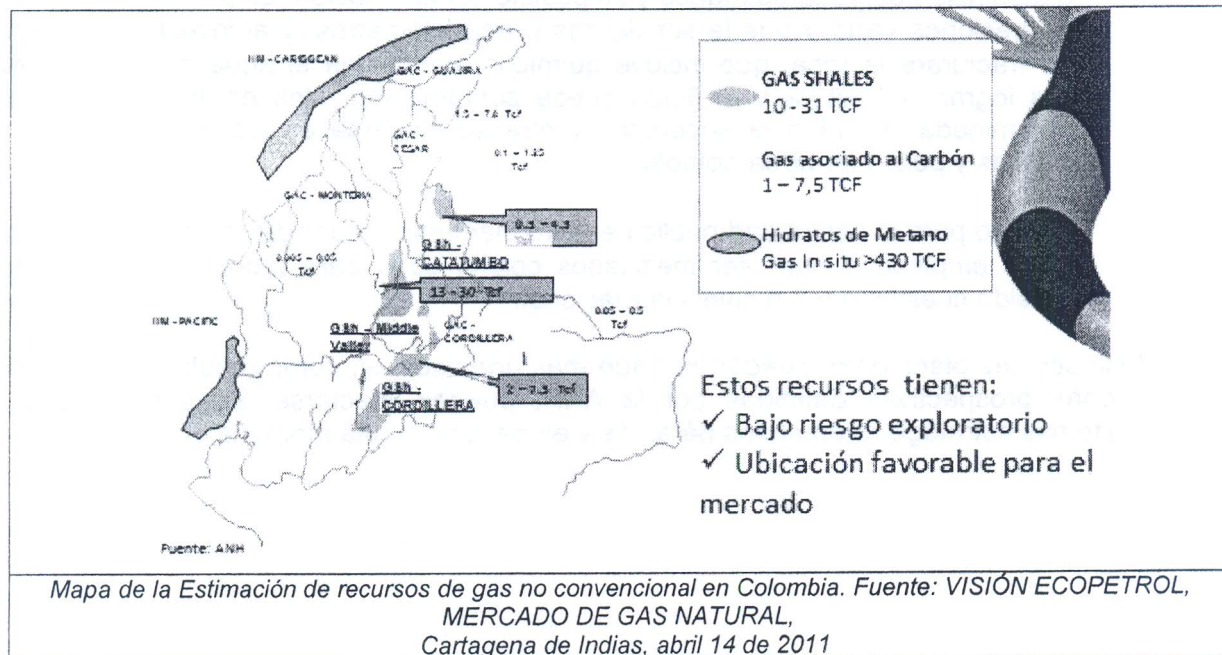
Por lo general, los químicos representan un 2% del fluido utilizado en una extracción. El resto está constituido por agua y cierta cantidad de arena, que es utilizada para mantener abiertas las fracturas y ampliar la superficie de contacto con el líquido. Sólo un 30 a 50 por ciento del fluido vuelve a la superficie, mezclado con el metano que se separa, y el resto se deposita en lagunas al aire libre. El líquido que no retorna permanecerá bajo tierra.

### 3. Potencial Colombia

A nivel mundial, existe una presión muy fuerte ante la existencia de fuentes de hidrocarburos no convencionales en países tradicionalmente importadores de hidrocarburos convencionales, lo que influye para que su explotación sea aceptada sin la consideración exhaustiva, en algunos casos, de sus efectos reales y potenciales.

En Colombia, la Agencia Nacional de Hidrocarburos tiene identificadas como posibles reservorios de Gas No Convencional, las siguientes zonas:





Mapa ubicación

#### 4. Posibles riesgos

El fracturamiento hidráulico, como herramienta empleada para la explotación de los Hidrocarburos No Convencionales, (HNC), conlleva de suyo una serie de riesgos de distinto orden, que deben ser tenidos en cuenta al regular las condiciones técnico-ambientales, entre otros podemos mencionar:

- El riesgo geológico ante la fractura en zonas identificadas como vulnerables, por sus condiciones geológicas y la consiguiente posibilidad de generación de efectos que incluyen la (re)activación de sismicidad. Dado que el fracturamiento hidráulico se basa en la inyección de fluidos para reducir esfuerzos efectivos normales por el incremento de la presión de poros a lo largo de fallas y fracturas pre-existentes. (SasaKi, 19982). La magnitud de los sismos que pueden generarse dependen de (1) La velocidad y la cantidad del fluido inyectado, (2) la orientación de los esfuerzos y (3) la extensión del sistema de fallas y fracturas. (Green, 20123). La incertidumbre bajo esta práctica es alta dado que la predicción de la magnitud del sismo generado aun se encuentra en desarrollo (Green, 2012). En Inglaterra la práctica de fracturamiento hidráulico ha generado sismos de magnitud 2,3 ML, valor que excede al recomendado para este tipo de proyectos de 0,5 ML, umbral que pretende disminuir el riesgo por microsismos generado y el fracturamiento colateral generado por estos (Green, 2012).

2 Ghunji SasaKi. Characteristics of microseismic events induced during hydraulic fracturing experiments at the Hijiori hot dry rock geothermal energy site, Yamagata, Japan. .

3 Shale gas fracturing. Review & Recommendations for Induced Seismic Mitigation. BGS, 2012



- La afectación del recurso hídrico y su posible contaminación. La profundidad de las perforaciones varía y puede ser de dos o tres kilómetros, y al inyectar la mezcla que fracturará la roca, que incluye químicos, contamina el agua que se emplea para lograr la fractura y el fluido queda contaminado. Una parte de esta agua contaminada vuelve a la superficie, y otra se dispersa en los acuíferos, aguas freáticas y pozos de agua potable.<sup>4</sup>
- El riesgo para la salubridad pública es otro elemento a considerar, toda vez que los fluidos empleados para ser mezclados con el agua para producir las fracturas, han sido cuestionados a nivel internacional.

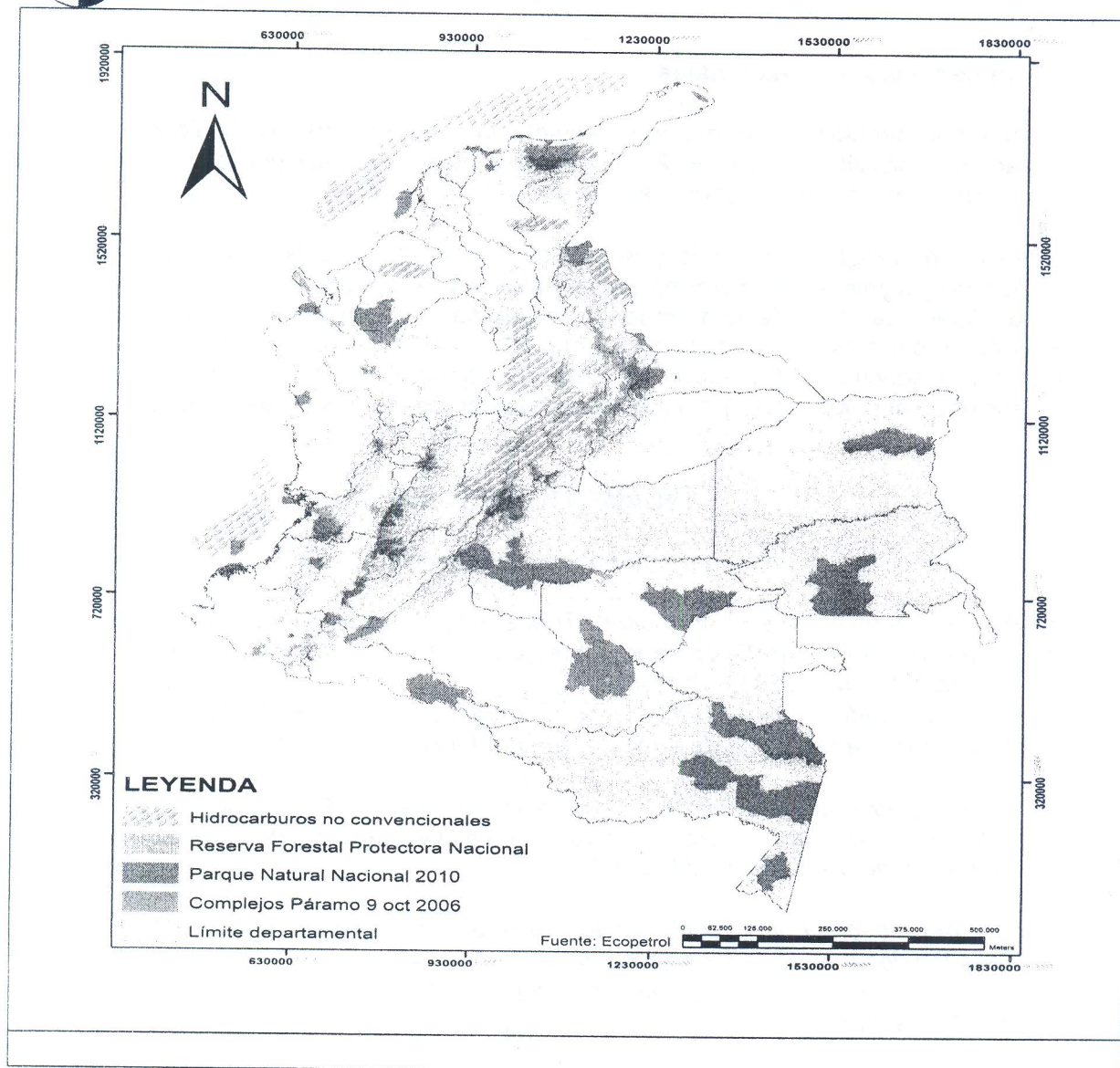
Las situaciones planteadas pueden ser aún más gravosas, si, como resulta del cruce de las zonas prospectivas definidas por la ANH, pueden afectarse áreas protegidas y ecosistemas estratégicos como los páramos y en general la alta montaña andina.

---

<sup>4</sup> Fracking: La última obsesión energética Published on Eco Sitio (<http://www.eco-sitio.com.ar>)

“Se sabe que los aditivos incluyen ácido, bactericida/biocida, estabilizador de arcilla, inhibidor de corrosión, reticulante, reductor de fricción, gelificante, controlador de metales, inhibidor de sarro y surfactantes. El Centro Tyndall de la Universidad de Manchester, en el Reino Unido, fue uno de los primeros en investigar los impactos de la extracción de gas de esquisto sobre el medio ambiente y analizó 260 productos químicos usados en el 'fracking'. De ese total, 17 fueron considerados tóxicos para organismos acuáticos, 38 tóxicos agudos, 8 cancerígenos probados y otros 6 sospechados de serlo, 7 elementos mutagénicos y 5 producen efectos sobre la reproducción. Si bien el riesgo depende de la concentración y la exposición de esas sustancias a los seres vivos, las cantidades empleadas –en una plataforma de 6 pozos, de 1.000 a 3.500 metros cúbicos-, justifican la máxima precaución y control.





En el documento, "L'EXPLORATION ET L'EXPLOITATION DES HUILES ET GAZ DE SCHISTE OU HYDROCARBURES DE ROCHE-MERE PAR FRACTURATION HYDRAULIQUE," elaborado por André Picot,<sup>5</sup> en París, en mayo de 2011, hace un análisis de los químicos empleados para el fracturamiento hidráulico y entre otras conclusiones se indican cuáles son los riesgos asociados al empleo de esos químicos e incluye los principales productos tóxicos para el hombre, cancerígenos algunos de ellos, lo que hace evidente el riesgo ya que podrían contaminar las aguas subterráneas y las de la superficie como resultado de esta forma de explotación como ya se mencionó.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Toxicólogo-químico, Director de pesquisas honoraires CNRS, Expert français honoraire auprès de l'Union européenne pour les produits chimiques en milieu de travail Président de l'Association Toxicologie-Chimie

<sup>6</sup> En el anexo 2 se incluye la tabla 9 del documento que contiene un listado de los elementos presentes en la fracturación.

## 5. Antecedentes internacionales

En Francia se prohibió la exploración y explotación de hidrocarburos líquidos o gaseosos por fractura hidráulica en julio de 2011 y el tema está en debate por los posibles riesgos para los grandes centros urbanos y agrícolas.

Así mismo, en Bulgaria, Rumania y República Checa se ha suspendido la explotación de este tipo de yacimiento por razones ambientales y en Australia, el gobierno del estado de Nueva Gales del Sur decidió imponer moratoria a la explotación de hidrocarburos mediante fracturamiento hidráulico durante 2011 hasta evaluar las necesidades de la minería y la agricultura. En Sudáfrica y Canadá, también existen algunas restricciones y suspensiones al empleo del 'fracking' hasta evaluar los efectos de esta técnica.

## III. FUNDAMENTOS DE DERECHO

La Constitución Política consagra entre otros lo siguiente:

*“Artículo 79. Derecho al ambiente sano. Todas las personas residentes en el país tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.*

*Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.*

*Artículo 80: Utilización racional de los recursos naturales. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación restauración o sustitución.*

*Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.*

*Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en zonas fronterizas”*

La Ley 99 de 1993, señala entre otros:

Artículo 1°, Numerales:

*“3. Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.*

*5. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.*

*6. La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como*



*razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.” (Resaltado fuera de texto)*

Decreto 2811 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente.

#### DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

*“Artículo 149º.- Para los efectos de este título, se entiende por aguas subterráneas las subálveas y las ocultas debajo de la superficie del suelo o del fondo marino que brotan en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento, o las que requieren para su alumbramiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares.*

*Artículo 152º.- Cuando se compruebe que las aguas del subsuelo de una cuenca o de una zona se encuentran en peligro de agotamiento o de contaminación, o en merma progresiva y sustancial en cantidad o calidad, se suspenderá definitiva o temporalmente el otorgamiento de nueva concesiones en la cuenca o zona; se podrá decretar la caducidad de las ya otorgadas o limitarse el uso, o ejecutarse, por cuenta de los usuarios, obras y trabajos necesarios siempre que medie el consentimiento de dichos usuarios, y si esto no fuere posible, mediante la ejecución de la obra por el sistema de valorización.*

*Artículo 153º.- Las concesiones de aprovechamiento de aguas subterráneas podrán ser revisados o modificadas o declararse su caducidad, cuando haya agotamiento de tales aguas o las circunstancias hidrogeológicas que se tuvieron en cuenta para otorgarlas hayan cambiado sustancialmente. “*

Decreto Nacional 2857 de 1981

*“Artículo 1º.- Definición de cuenca. Para los fines del artículo 312 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, entiéndese por cuenca u hoya hidrográfica un área físico-geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural, mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que confluyen a su vez en un curso mayor que desemboca o puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.*

*Artículo 2º.- Delimitación de la cuenca. Una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas.*

*Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea superficial de divorcio, sus límites se extenderán subterráneamente hasta incluir la de los acuíferos que confluyan hacia la cuenca deslindada por las aguas superficiales.*

*Artículo 3º.- Condiciones del aprovechamiento. El aprovechamiento de los recursos naturales y demás elementos ambientales se realizarán con sujeción a los principios generales establecidos por el Decreto-ley 2811 de 1974 y, de manera especial, a los criterios y previsiones del artículo 9 del mismo estatuto.*



*Toda actividad que por sus características pueda producir un deterioro grave a los recursos naturales renovables de la cuenca, disponga o no ésta de un plan de ordenación, deberá autorizarse por la Entidad Administradora de los Recursos Naturales Renovables, previa elaboración y presentación del respectivo estudio de efecto ambiental.*

*Lo dispuesto en el inciso anterior, se refiere especialmente a la construcción de vías carretables, canales, trasvase de cauces fluviales o vasos lacustres, explotaciones mineras, construcción de embalses u otras de significación similar.”*

### **Principio de precaución**

Sentencias de la Corte Constitucional.

En reiteradas sentencias, la Corte Constitucional se ha pronunciado sobre la aplicación del principio de precaución, así:

T- 360 de 2010.

*“Novena. A falta de certeza científica, debe ser aplicado el principio de precaución.*

*El Convenio sobre la Diversidad Biológica de Río de Janeiro de 1992 incluyó 27 principios y advirtió que, con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. “Cuando haya peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.*

*La Ley 99 de diciembre 22 de 1993, artículo 1° numeral 6, lo consagró como principio general. La mencionada disposición indicó que la política ambiental se basa en criterios y estudios científicos, sin embargo, “las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”.*

*Esta corporación en sentencia C-293 de abril 23 de 2002 (M. P. Alfredo Beltrán Sierra) estableció que la autoridad ambiental es competente para aplicar el principio de precaución, mediante un acto administrativo motivado, en el caso de observarse “un peligro de daño, que éste sea grave e irreversible, que exista un principio de certeza científica, así no sea ésta absoluta, que la decisión que la autoridad adopte esté encaminada a impedir la degradación del medio ambiente”.*

*Posteriormente, en sentencia T-299 de abril 3 de 2008 (M. P. Jaime Córdoba Triviño) la Corte Constitucional realizó un resumen completo de la jurisprudencia constitucional acerca de la relevancia, alcance y aplicación en nuestro ordenamiento jurídico del mencionado principio. Se concluyó en aquella oportunidad que:*

*“(i) El Estado Colombiano manifestó su interés por aplicar el principio de precaución al suscribir la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo; (i) el principio hace parte del ordenamiento positivo, con rango legal, a partir de la expedición de la Ley 99 de 1993; (iii) esta decisión del legislativo no se opone a la constitución; por el contrario,*



*es consistente con el principio de libre autodeterminación de los pueblos, y con los deberes del Estado relativos a la protección del medio ambiente; (iv) el Estado ha suscrito otros instrumentos internacionales, relativos al control de sustancias químicas en los que se incluye el principio de precaución como una obligación que debe ser cumplida de conformidad con el principio de buena fe del derecho internacional; (v)... el principio de precaución se encuentra constitucionalizado pues se desprende de la internacionalización de las relaciones ecológicas (art. 266 CP) y de los deberes de protección y prevención contenidos en los artículos 78, 79 y 80 de la Carta.”*

*Por su parte, la Constitución de la Comunidad Europea consagra, en el artículo 174 numeral 2°, la aplicación del referido principio de precaución, al establecer que “la política medioambiental de la Unión tendrá como objetivo un nivel elevado de protección, teniendo presente la diversidad de situaciones existentes en las distintas regiones de la Unión. Se basará en los principios de precaución y de acción preventiva, en el principio de corrección de los daños al medio ambiente, preferentemente en el origen, y en el principio de que quien contamina paga”.*

La información existente y los antecedentes internacionales, hacen necesario que en aplicación del principio de precaución, la reglamentación técnico ambiental que se expida para permitir la explotación de Hidrocarburos No Convencionales mediante fracking, tenga en cuenta estos eventuales riesgos y la posible contaminación de aguas subterráneas, afectación de fuentes hídricas, riesgo para centros urbanos en el área de influencia, la salubridad pública y el riesgo geológico.

La Contraloría General de la República, no solo está en la obligación legal de pronunciarse en forma posterior y selectiva sobre la gestión y resultados de manejo de los recursos y bienes públicos; sino además, de advertir con criterio técnico preventivo o proactivo a los gestores públicos del posible riesgo que se pueda presentar por conductas que afecten la integridad del patrimonio público, el medio ambiente, la salubridad pública y el fin social que su destino demanda, como considera puede darse en casos como el que fue conocido por el ente superior de fiscalización, según el cual se ha concedido la primera licencia ambiental para un proyecto de explotación de hidrocarburos no convencionales en las Veredas Dominguito y Patiño del municipio de Buenavista en el Departamento de Boyacá.

#### IV. ADVERTENCIA

Por los hechos anteriormente descritos, la Contraloría General de la República en ejercicio de la función de advertencia, previene sobre los riesgos ambientales que se pueden generar en el licenciamiento para la explotación de hidrocarburos no convencionales y conmina a las autoridades y entidades implicadas en el asunto para que adopten las medidas necesarias y suficientes con el fin de que la explotación por empresas nacionales e internacionales de nuestros recursos naturales no renovables se haga de manera sostenible.

---

7 EL TIEMPO.COM. AGOSTO 31 2012. Alarma por licencia para explotar hidrocarburos en Buenavista.

La presente Función de Advertencia se ejerce sin perjuicio del control posterior de la Contraloría General de la República, en procura de la protección del patrimonio público y de los recursos naturales renovables; y no implica una consecuencia adicional a la de poner en conocimiento a las entidades competentes en la materia, sobre los posibles riesgos en materia de afectación al patrimonio natural del país y al bienestar de los ciudadanos, de no atenderse los preceptos constitucionales y legales manifestados en la presente advertencia.

Cordialmente,

  
**CARLOS FELIPE CÓRDOBA LARRARTE**  
Contralor General (E)

Revisó: Jorge Enrique Cruz Feliciano, Contralor Delegado para el Medio Ambiente  
Proyectó: CDU / BGA / JFM





## ANEXO 1

Clases de Hidrocarburos no Convencionales.

Los más comunes corresponden entre otros a<sup>8</sup>:

- “Arenas bituminosas. Las *arenas bituminosas* o *arenas de alquitrán* o *arenas aceiteras* o *arenas petrolíferas* o *petróleo crudo extra pesado*, son mezclas de arena o arcillas con agua y betún. Sus yacimientos son generalmente superficiales.
- Depolimerización térmica. Es un proceso similar al que, en la naturaleza, transformó los residuos orgánicos en petróleo en un lapso de muchos millones de años. Permite usar como fuente una gama muy variada de productos orgánicos, incluyendo desechos de la destilación convencional de hidrocarburos.
- Arenas gasíferas (en inglés, *tight sands*). Arenas impregnadas de gas natural de petróleo.
- Hidratos de metano. Se han detectado grandes cantidades de este compuesto, también llamado *clatrato de metano*, en fondos oceánicos de gran profundidad y baja temperatura. Es una fuente de metano casi puro.
- Licuefacción de carbón. Hay varios métodos para obtener hidrocarburos líquidos a partir del carbón, siendo los principales los procesos Karrick, Bergius y Fischer-Tropsch.
- Lutitas bituminosas. Estas formaciones, que en inglés se denominan *oil shales*), son también denominadas *esquistos bituminosos* o *pizarras bituminosas*. Las lutitas, que incluyen a las pizarras y a los esquistos, son rocas sedimentarias constituidas por partículas de composición variada y del tamaño de las que se encuentran en arcillas y limos. El petróleo obtenido de estas rocas impregnadas de betún se denomina *petróleo de lutitas* o *petróleo de esquistos* o *petróleo de pizarras* (en inglés, *shale oil*), siendo el primer término el más correcto. Nótese que hay muchos tipos de lutitas, por lo que es recomendable el uso del plural.
- Lutitas gasíferas (en inglés, *tight sandstones*). Lutitas impregnadas de gas natural de petróleo. Véase el artículo gas de lutitas.
- Vetas de carbón impregnadas de metano (en inglés, *coalbed methane*). Son mucho más ricas en gas que las arenas y lutitas gasíferas. Son de explotación generalizada en Canadá, EEUU y Australia (donde al gas extraído se lo denomina *coal seam gas* o CSG).

---

<sup>8</sup> [http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Hidrocarburo\\_no\\_convencional](http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Hidrocarburo_no_convencional)

## ANEXO 2.

Se transcribe la tabla del estudio del químico toxicólogo André Picot, que evidencia las sustancias tóxicas detectadas en las soluciones empleadas para hacer la fracturación.

*Dans les eaux usées rejetées lors de la fracturation apparaissent de nombreux sels hydrosolubles, entraînés lors de la lixiviation des différentes couches géologiques traversées lors de la remontée des fluides. Beaucoup de ces éléments sont toxiques pour l'Homme, dont certains très toxiques (As, Ba, Cd, Pb,...). Les espèces chimiques détectées pour ces différents éléments sont regroupées dans le tableau 10.*

ELEMENTS CHIMIQUES	ESPECES CHIMIQUES DETECTEES
Antimoine	Sb3+, Sb5+
Arsenic	As3-, As3+, As5+
Baryum	Ba2+
Béryllium	Be2+
Cadmium	Cd2+
Chrome	Cr3+, Cr6+
Cobalt	Co2+, Co3+
Cuivre	Cu+, Cu2+
Nickel	Ni2+
Plomb	Pb2+, Pb4+
Thallium	Ti+, Ti3+
Thorium	Th4+
Uranium	U4+, U6+
Vanadium	V5+
Yttrium	Y2+

**Tableau 10 : ELEMENTS CHIMIQUES D'ORIGINE NATURELLE ET LEURS ESPECES DETECTEES DANS LES EAUX DE SORTIE DE FRACTURATION (rapport EPA / 600 / D – 11 Février 2011. page 98)**