

Impactos potenciales de la producción de gas no convencional sobre la disponibilidad y la calidad del agua en Cuba

José Antonio Díaz Duque

E-MAIL: jadduque@gmail.com

Departamento de Geociencias. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae). La Habana, Cuba

Linney Martínez Pérez

E-MAIL: linneym810@gmail.com

Empresa Geominera del Centro

Orelvis Delgado López

E-MAIL: orelvis@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET)

RESUMEN

En el trabajo se pone de relieve la necesidad de realizar una evaluación ambiental estratégica para la implementación de un potencial programa de fracturación hidráulica en Cuba, con énfasis en los recursos hídricos, por cuanto sus requerimientos y el riesgo de contaminación son altos. Para ello se identificaron las posibles afectaciones que se producirían a los recursos hídricos en cada una de las actividades operacionales de la tecnología para la obtención de gas no convencional, así como se identificaron los aspectos a evaluar en ellas. Por la naturaleza cualitativa de la investigación se realizó un profundo estudio de la experiencia internacional y se evaluaron las informaciones existentes sobre las áreas más probables a explotar en el territorio nacional, así como su cercanía a las principales cuencas hidrográficas de interés nacional.

PALABRAS CLAVES:

agua, Cuba, fraccionamiento hidráulico, gas no convencional, impacto ambiental.

Potential impacts of unconventional gas production about the readiness and the quality of the water in Cuba

ABSTRACT

In the paper it puts on of relief the necessity to carry out an environmental strategic evaluation for the implementation of a potential program of hydraulic fracturing in Cuba, with emphasis in the water resources, since their requirements and the risk of contamination are high. For they were identified it the possible affectations that would take place to the water resources in each one of the operational activities of the technology for the obtaining of unconventional gas, as well as the aspects were identified to evaluate in them. For the qualitative nature of the investigation that was carried out a deep study of the international experience and the existent information were evaluated on the most probable areas to explode in the national territory, as well as their proximity to the main hydrographical basins of national interest.

KEYWORDS:

water, Cuba, hydraulic fracturing, unconventional gas, environmental impact.

01 INTRODUCCIÓN

Desde finales del pasado siglo XX se ha venido desarrollando la extracción del gas no convencional (GNC)¹ mediante el empleo de la tecnología de fracturación hidráulica (*hydraulic fracturing o fracking*), primero en los Estados Unidos de América y más tarde en otros países de Asia, Europa y América Latina, cobrando cada vez mayor interés por parte de las grandes compañías petroleras del mundo, al constituir una nueva fuente de recursos energéticos a precios competitivos.

La fracturación hidráulica consiste en la inyección en los estratos de rocas de un fluido a presión, compuesto por un 99% de agua y arena y alrededor de un 1% de aditivos químicos, con el objetivo de incrementar las fisuras y los poros ya existentes en las rocas, para liberar el gas natural atrapado en ellos, gracias al aumento de la permeabilidad.

De acuerdo con Marrero (2013), en el período 2002-2007 se realizaron en Cuba varios proyectos de investigación con el propósito de localizar escenarios favorables para la búsqueda de gas natural. Estos trabajos se focalizaron en la zona de los pozos profundos ubicados al noroeste de Pinar del Río, atendiendo a las características de los reservorios estudiados con anterioridad. Desde el año 2011 habían comenzado los estudios de exploración de GNC en la Franja Norte de Crudos Pesados (FNCP), siendo localizadas varias áreas perspectivas en el sector Martín Mesa, en rocas pertenecientes a la Unidad Tectonoestratigráfica (UTE) Sierra del Rosario, al Arco Volcánico Cretácico, las ofiolitas y los sedimentos postorogénicos que recubren el área en las zonas hundidas (Domínguez *et al.* 2017).

Para el país resulta de vital importancia localizar nuevas fuentes de gas natural con vistas a garantizar la generación eléctrica con alta eficiencia y baja contaminación atmosférica, así como para el suministro de gas a la población destinado a la cocción de los alimentos.

Los documentos rectores de la política económica y social de la nación para los próximos años, aprobados en el VIII Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC 2021), subrayan la importancia de elevar la producción de gas natural, acelerando los estudios geológicos dirigidos a localizar nuevos depósitos. Al mismo tiempo ratifican la atención prioritaria al impacto ambiental asociado a la industria del petróleo, mediante el fortalecimiento de los sistemas de evaluación y control.

En correspondencia con lo anterior, y considerando el contexto internacional, no se descarta que en Cuba se inicien, en un futuro próximo, determinados trabajos para la extracción de gas natural mediante las técnicas no convencionales de fracturación hidráulica, particularmente en las áreas perspectivas identificadas (figura 1), cercanas a las manifestaciones de gas natural, en zonas catalogadas como reservorios “malos” por sus características de baja porosidad y permeabilidad.

Ante la inminencia de los trabajos de extracción de gas no convencional en Cuba, se proyectó y ejecutó un trabajo de diploma para la obtención del título de Ingeniero Geofísico en el Departamento de Geociencias de la Universidad Tecnológica de La Habana (Martínez 2015) y se presentó una ponencia en el VI Congreso de Petróleo y Gas (Martínez *et al.* 2017) en los cuales se caracterizaron los impactos ambientales de las tecnologías de producción de gas no convencional en la República de Cuba, basándose en los daños provocados por la fracturación hidráulica a nivel mundial. En estos trabajos se destacan las negativas circunstancias relativas al deterioro de los recursos hídricos del país como consecuencia de la extracción y producción de gas no convencional, considerando la reducida disponibilidad de agua dulce en el archipiélago cubano.

¹ El término gas no convencional no responde a un nuevo tipo de gas natural, sino al empleo de una tecnología no convencional para extraer el gas natural retenido en reservorios de mala calidad, con baja porosidad y permeabilidad.

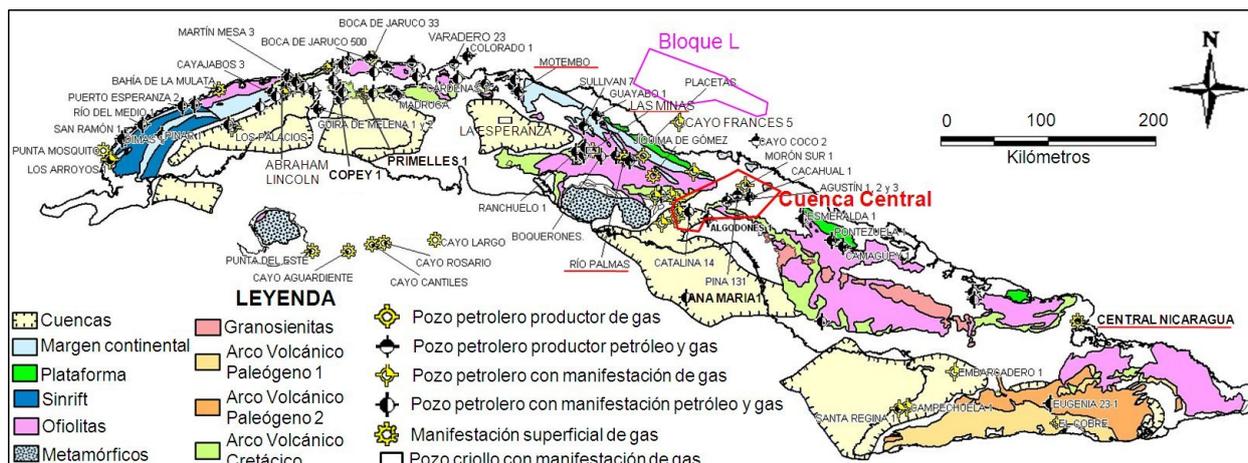


Figura 1. Áreas perspectivas para la búsqueda de gas no convencional en Cuba (Delgado et al. 2012)

Dando continuidad a estas investigaciones, en el presente artículo se aborda y profundiza esta temática con el objetivo de precisar con mayor alcance el agudo impacto que tendría para el país la introducción de la tecnología de la fracturación hidráulica, particularmente en el suministro de agua a la población y para la producción de alimentos, ambos aspectos con fuerte incidencia en la seguridad nacional. Se propone además un conjunto de aspectos a considerar por las autoridades regulatorias para valorar el impacto de la fracturación hidráulica sobre los recursos hídricos de Cuba y se precisan las áreas más favorables desde el punto de vista de la disponibilidad de los recursos hídricos, así como los factores de riesgos en ellas presentes.

02 DESARROLLO

LA FRACTURACIÓN HIDRÁULICA A NIVEL MUNDIAL

Las primeras investigaciones realizadas en materia de extracción de gas no convencional tuvieron lugar en Estados Unidos de América desde finales del pasado siglo XX. Entre 1980 y 1990, la compañía Mitchell Energy and Development llevó a escala comercial la extracción del mal denominado gas de esquisto² en la cuenca de Barnett Shale, en Texas. Para el año 2005, con la participación de otras compañías ya se estaba produciendo solo en esta misma cuenca más de 152 billones de metros cúbicos (medio trillón de pies cúbicos) por año de gas, con lo cual se evidenciaba que el GNC constituía una verdadera alternativa rentable para la producción de gas natural como fuente energética (Rudnick *et al.* 2011).

El desarrollo de las tecnologías de perforación, en particular la perforación horizontal, posibilitó, de conjunto con la inyección de agua a presión acompañada de arena y determinados aditivos químicos, crear y expandir fisuras a lo largo de los estratos rocosos, aumentando con ello su permeabilidad, de manera que el gas natural atrapado en sus poros e intersticios, fluyera libremente. Formaciones geológicas, compuestas principalmente por lutitas, esquistos, pizarras y otras rocas, consideradas hasta ese momento como malos reservorios, se convirtieron súbitamente en prospectos favorables para la producción de gas natural. Como resultado de la innovación

² El término gas de esquisto es en realidad una traducción incorrecta al español de la palabra en inglés *shale*. En términos geológicos su equivalente preciso es lutita. El concepto de *shale gas* se refiere al gas generado y no expulsado por una roca madre, es decir, el gas en lutita (*shale gas*) es el gas residual que quedó en la zona de ventana de generación de gas.

tecnológica, nació de esta manera la tecnología de la fracturación hidráulica (*fracking*) y con ella la denominación de gas no convencional (GNC).

Paulatinamente la producción de GNC fue creciendo a partir de la incorporación de esta tecnología por las medianas e incluso pequeñas compañías petroleras, lo que conllevó a una disminución sustancial de los precios del gas natural, permitiéndoles así asumir los costos de las medidas ambientales requeridas por las autoridades para su extracción sin afectar sus utilidades. Ello ha despertado el interés de numerosos países que históricamente han sido típicos importadores de gas natural, principalmente en Europa, y que aprecian una oportunidad para reducir su dependencia energética. De igual forma, otro grupo de países puede ver multiplicadas sus reservas de gas natural e incrementar su producción e incluso potenciar sus exportaciones, esencialmente en Norte y Suramérica. En la actualidad existen grandes volúmenes recuperables de GNC en países de Latinoamérica, particularmente México, Argentina, Colombia, Brasil, Chile y Bolivia, cuyos gobiernos han abierto las puertas al *fracking* mediante reformas energéticas, normas regulatorias, licitaciones o acuerdos de cooperación.

Los recursos de gas natural son geográfica y geológicamente diversos. Tecnologías, como la perforación horizontal y la fracturación hidráulica, han revelado vastos recursos no convencionales, que han modificado drásticamente el panorama de suministro de gas natural en la década anterior, particularmente para Norteamérica. El gas no convencional continuará desempeñando un papel significativo, contribuyendo en más de la mitad del crecimiento en el suministro de gas natural hacia 2040 (ExxonMobil 2018). Esta situación desvía a la comunidad internacional del urgente objetivo estratégico de disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero, a la vez que posterga las inversiones en el desarrollo de las energías renovables.

Simultáneamente con la introducción de las tecnologías para la extracción del GNC comenzaron los desvelos ambientales debido a sus significativos impactos sobre el medio, destacándose entre ellos la afectación a los recursos hídricos y la contaminación atmosférica (Martínez 2015). Los órganos regulatorios ambientales de diversos países, incluso algunos parlamentos, se han pronunciado desde entonces mediante la promulgación e implementación de disposiciones precautorias o restrictivas con vistas a resguardar el medio ambiente. Numerosas organizaciones ecologistas se han opuesto a la fracturación hidráulica y han exigido a los gobiernos transparencia en las informaciones, así como la participación y consulta previa de los ciudadanos y las comunidades antes del inicio de las operaciones.

LA EXTRACCIÓN DE GAS NO CONVENCIONAL Y EL AGUA

Una de las preocupaciones ambientales más significativas vinculadas al aprovechamiento del GNC ha sido la afectación a los recursos hídricos. En primer lugar por el uso intensivo del agua en cada uno de los pozos de extracción y en segundo lugar por la contaminación del manto freático y los acuíferos cercanos a la zona de explotación.

La propia naturaleza de la tecnología empleada para la extracción del GNC, basada en la fracturación hidráulica, es decir, el empleo de grandes volúmenes de agua que se inyectan a alta presión (de 350 a 690 atmósferas) hacia los estratos rocosos en la profundidad, acompañados con otros componentes que facilitan el incremento y la estabilidad de la permeabilidad, la convierten en una actividad intensamente agresiva con la disponibilidad de los recursos hídricos de la región que es objeto de la explotación. Los estudios realizados en Estados Unidos de América por la Agencia de Protección Ambiental (EPA 2012) señalan que entre 10 y 30 mil m³ de agua son empleados en cada uno de los pozos para la extracción del gas, en dependencia del tipo de formación geológica, la

profundidad y el desplazamiento horizontal del pozo, las propiedades del fluido de fracturación y el diseño de la fractura. Este volumen generalmente se desvía del suministro de agua a la población o del abasto para la producción de alimentos, lo cual podría ocasionar problemas con la sostenibilidad de los recursos hídricos disponibles y acentuar la vulnerabilidad alimentaria en ciertas regiones o incluso países.

El otro aspecto de sensibilidad ambiental en materia de los recursos hídricos y el GNC radica en la contaminación de los cuerpos superficiales de agua, el manto freático e incluso los acuíferos que se encuentran en la zona de influencia de los pozos de extracción y las plataformas de explotación en general. El agua que se inyecta a elevada presión en los estratos de lutitas tiene el objetivo de incrementar la permeabilidad en la formación rocosa y en consecuencia facilitar el flujo de gas hacia el pozo, por lo que se acompaña de cientos de sustancias químicas, así como de un agente sostén o apuntalante (proppant), generalmente arena y en menor medida cerámica o bauxita, con vistas a mantener abiertas las nuevas fisuras o fracturas producidas por el fraccionamiento hidráulico. La mayoría de estas fracturas tienen una longitud de hasta 100 m, sin embargo, se han reportado fracturas que han alcanzado los 600 m de extensión vertical. La proporción de los tres componentes que integran el fluido para el fraccionamiento es: agua – 90%, arena – 8-9% y aditivos químicos – 1-2%.

Los aditivos químicos comúnmente empleados en el fraccionamiento hidráulico son: metanol, isopropanol, sílice cristalina, etilenglicol monobutil éter, etilenglicol, destilados de petróleo ligeros hidrotratados e hidróxido de sodio. Las funciones que desempeñan en el fluido son como surfactante, apuntalante, anticorrosivo, inhibidor de precipitaciones, reductor de fricción y ajustador de pH. Entre los componentes de los aditivos químicos se encuentran benzenos, xilenos o cianuros, hasta llegar a unas 500 sustancias químicas, varias de ellas cancerígenas, mutagénicas, alergénicas y con otras propiedades altamente preocupantes. El tipo de aditivo y su composición se elige en correspondencia con el contexto geológico del emplazamiento y la tecnología a emplear. Muchas compañías rehúsan declarar la relación de las sustancias que integran su aditivo químico, aludiendo que se trata de un secreto comercial.

Una parte del fluido que se inyecta a la fractura, de un 15% a un 80%, vuelve a la superficie como agua o flujo de retorno, y el resto se queda bajo tierra, conteniendo aditivos de la fractura y sus productos de transformación. Entre las sustancias disueltas a partir de la formación rocosa, donde está el gas durante el proceso de fractura, se encuentran metales pesados, hidrocarburos, sales y elementos naturales radiactivos además del agua de formación, todo lo cual regresa a la superficie junto al agua inyectada de retorno. La manipulación y disposición de estas aguas residuales puede ocasionar la contaminación de los acuíferos y los cuerpos superficiales de agua por la presencia de sustancias peligrosas y su elevada salinidad. En la actualidad no existe un tratamiento totalmente efectivo para las aguas de retorno del fraccionamiento hidráulico, dejándolas inutilizables para otros usos y colocándolas fuera del ciclo hidrológico.

EL AGUA EN CUBA Y EL FRACCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Los recursos hídricos disponibles en Cuba son limitados y están heterogéneamente distribuidos. La media nacional de 1 220 m³ de agua por persona al año sitúa al país en un nivel de estrés hídrico moderado. Diversos son los problemas relacionados con la gestión sostenible del agua en Cuba: el bajo volumen de agua disponible por habitante al año, el bajo índice de reposición anual de los recursos hídricos con el 13,7%, la baja eficiencia en el uso del agua y las pérdidas en las redes de distribución y consumo, entre otros. En consecuencia, el agua constituye para Cuba el principal desafío ambiental para garantizar su sostenibilidad en el desarrollo, así como su seguridad nacional,

en particular en las dimensiones ambiental y alimentaria. El cambio climático agudiza este reto. Por otra parte, el predominio de las rocas calizas y de sus manifestaciones cársticas en Cuba eleva el riesgo potencial por contaminación de las aguas subterráneas (Díaz-Duque 2018).

La acción humana sobre los recursos hídricos del país ha tenido y tiene una enorme incidencia sobre su vulnerabilidad actual y futura, introduciendo determinada incertidumbre acerca de la calidad y disponibilidad del agua tanto en el presente como para los años venideros, especialmente por los impactos del cambio climático. Las principales manifestaciones de esta acción de origen antrópico son la contaminación, el despilfarro, el uso irracional, el incremento de la demanda para todos los usos, principalmente el agropecuario, el turístico y más recientemente el de los servicios gastronómicos y comerciales del sector privado.

Todo lo anterior crea un escenario muy desfavorable para la introducción en el país del fraccionamiento hidráulico con vistas a la extracción del gas no convencional: baja disponibilidad de agua, amplia presencia de los procesos cársticos en casi todo el país, distribución espacial no uniforme de los recursos hídricos, desarrollo de los procesos de intrusión marina en los acuíferos costeros, creciente demanda del empleo del agua por la agricultura, la industria y el turismo, baja eficiencia en el uso del agua en los procesos productivos, tendencia al incremento de la contaminación de origen orgánico en los cuerpos de agua.

Los impactos potenciales a los recursos hídricos del país por la implementación de la fracturación hidráulica con vistas a la extracción del GNC se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Afectaciones a los recursos hídricos de Cuba a causa de la potencial aplicación de la extracción de gas no convencional (GNC)

Actividad operacional	Impacto potencial a las aguas
Extracción de agua para el fraccionamiento hidráulico.	Elevado consumo de agua por cada pozo que se realiza con su correspondiente impacto en la demanda social y productiva; descenso del nivel freático; disminución del caudal en manantiales, ríos y arroyos.
Empleo de aditivos químicos en la perforación.	Contaminación de las aguas subterráneas por la incorporación de sustancias químicas a la formación rocosa e incluso la contaminación de las aguas superficiales debido a fugas o derrames en el manejo de esas sustancias.
Inyección del fluido de fracturación.	Contaminación de los acuíferos por el desplazamiento del fluido por las fracturas; liberación no controlada del agua de formación.
Recuperación del flujo de retorno.	Contaminación de cuerpos superficiales de agua por los aditivos químicos y por la incorporación de sustancias disueltas a partir de la formación rocosa.
Extracción del GNC.	Contaminación del agua por benceno y metano.
Tratamiento y disposición final del agua residual	Contaminación por tratamientos insuficientes e inadecuada disposición final.

CONTRAPUNTEO ENTRE ECONOMÍA Y NATURALEZA

No existe duda alguna que la extracción del GNC en Cuba producirá importantes beneficios económicos e incluso sociales. La economía cubana es muy dependiente de la importación de portadores energéticos, que muestran una tendencia al alza de los precios y que provienen de mercados con cierta incertidumbre e inestabilidad. De tal manera, asegurar un importante volumen de extracción de GNC garantizaría un necesario y positivo impacto económico directo, traducido en la elevación del Producto Interno Bruto (PIB), la generación de nuevos empleos, el incremento del flujo de recursos económicos y el saneamiento de la balanza comercial del país. Por otra parte, se crearían condiciones satisfactorias en otros procesos productivos encadenados con la actividad

petrolera, y en consecuencia se induciría una elevación del consumo por parte de la población, a partir de la nueva riqueza creada.

En la dimensión ambiental se registraría un probable resultado positivo por la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) producto de la sustitución de una parte importante del crudo que se emplea en la generación eléctrica por su equivalente en gas natural, aunque habría que valorar la reducción neta de las emisiones de los GEI calculando además el volumen de fuga de gas metano a la atmósfera por las ineficiencias propias de la extracción del GNC, pues algunos estudios señalan que puede alcanzar hasta el 30% del volumen total extraído. A ello hay que agregar las emisiones por la elevada cantidad de camiones a emplear durante la fracturación hidráulica dado el volumen de agua, apuntalantes y aditivos químicos que requieren del empleo de más de 250 vehículos especializados de carga.

La delicada situación actual de los recursos hídricos del país, la que continuará agudizándose como consecuencia de los impactos del cambio climático, constituye el principal obstáculo para la implementación de la extracción de GNC en Cuba. El correcto abordaje de esta realidad objetiva y la evaluación oportuna y rigurosa de todos los riesgos generados y asociados a la tecnología de la fracturación hidráulica, permitirá adoptar decisiones responsables y certeras con un enfoque de sostenibilidad. Es pertinente considerar, en estas circunstancias, la aplicación del principio precautorio y posponer en el tiempo la extracción de este recurso energético no convencional hasta que los conocimientos científicos del momento encuentren tecnologías más adecuadas ambientalmente, con un consumo mínimo de agua y con muy baja probabilidad de contaminación de los acuíferos y las aguas superficiales.

En cualquier circunstancia, las autoridades regulatorias nacionales deberán profundizar, con respecto a la evaluación del impacto de la fracturación hidráulica para la extracción del GNC en los recursos hídricos, en los aspectos que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Aspectos a considerar para valorar el impacto de la fracturación hidráulica sobre los recursos hídricos de Cuba

ACTIVIDADES OPERACIONALES	ASPECTOS A EVALUAR
Extracción y suministro de agua	Volumen y características del agua a emplear. Disponibilidad de agua en el área de trabajo. Potenciales fuentes de agua para el suministro. Afectaciones sociales, ambientales y económicas que produce.
Empleo de los aditivos químicos	Composición y porcentaje de los aditivos químicos Efectos tóxicos de sus componentes. Impactos en los recursos hídricos de la zona.
Inyección del fluido de fracturación	Impactos del proceso de fracturación en los recursos hídricos subterráneos. Calidad de la construcción del pozo (integridad) para contener los gases y líquidos en las operaciones. Vías y conductos para el transporte de contaminantes. Controles para evitar la pérdida de fluidos. Procesos físicos, químicos y biológicos de los aditivos en el medio geológico. Sustancias naturales que se incorporan al fluido y sus posibles impactos.
Recuperación del flujo de retorno y extracción del GNC	Composición del flujo de retorno (agua residual + agua de formación). Efectos tóxicos de los componentes del agua residual. Impactos del agua residual sobre los recursos hídricos.

	Factores condicionantes de la contaminación de los recursos hídricos.
Tratamiento y disposición final del flujo de retorno	Características del tratamiento de las aguas residuales. Efectividad del método de tratamiento a emplear. Exigencias para el reciclaje y reutilización del agua de fracturación. Ubicación y características del sitio para la disposición final; posibles impactos.

EXIGENCIAS HÍDRICAS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PERSPECTIVAS PARA LA EXTRACCIÓN DE GNC EN CUBA

Según Delgado *et al.* (2012), en Cuba solo debe existir GNC del tipo gas compacto (*tight gas*) en reservorios como las ofiolitas y los volcánicos, y gas en lutitas (*shale gas*). Para el primer caso, el escenario más favorable se sitúa en la mitad norte de Cuba, a profundidades superiores a los 6 km, en rocas asociadas a los sedimentos del margen continental de aguas profundas y el *sinrift*, en reservorios de baja calidad, con expresiones satisfactorias en el noroeste de Pinar del Río, la Cuenca Central, la costa norte de Cuba Central, reservorios no convencionales de ofiolitas (centro y oriente del país) y en las rocas de la Formación Vega Alta, que constituye el sello regional para todos los mantos de la UTE Placetas en la Franja Norte de Crudos Pesados.

Para el segundo caso, gas en lutitas, los mismos autores señalan como áreas perspectivas para la búsqueda de GNC de origen biogénico³ las cuencas del sur del país: Los Palacios, Vegas, Mercedes, Ana María y Cauto (figura 1), en las que existe un gran espesor de sedimentos jóvenes, en tanto para el GNC de origen termogénico⁴, las referidas áreas estarían en la mitad norte de Cuba, dentro de las rocas madre a profundidades que oscilan entre 4 620 y 6 635 metros, donde hayan alcanzado la ventana de generación de gas, en la Franja Norte de Crudos Pesados.

Una dificultad que encuentra la explotación de GNC en muchas de las áreas mencionadas es la profundidad a la que se estima se encuentre el gas natural, pues hasta la fecha no existen referentes internacionales al respecto; también incide la baja resolución sísmica para la solución de algunas de las tareas de cartografía sísmo estratigráfica y estructural. De esta manera, el escenario más favorable e inmediato para la búsqueda de GNC se encuentra en los sedimentos terciarios de las cuencas del sur de Cuba, situados a profundidades tecnológicamente explotables por la fracturación hidráulica y además por contar con información sísmica de alta calidad.

En las cuencas Los Palacios, Vegas, Mercedes, Ana María y Cauto se conocen manifestaciones de gas natural, tanto en pozos como superficiales, indicando la existencia de rocas madre que generaron gas y que están saturadas del gas no expulsado (Delgado et al. 2012). Estas cuencas poseen un gran espesor de sedimentos jóvenes siendo perspectivas para la presencia de gas de origen biogénico.

Por otra parte, las principales reservas de aguas subterráneas en el país (28,8% del total de los recursos hídricos), se asocian a las rocas del Mioceno, pues presentan una elevada capacidad acuífera y en muchas ocasiones coinciden con rocas carbonatadas, generalmente carstificadas y con un alto grado de acuosidad; en un menor grado, se asocian a los complejos de rocas vulcanógenas y ultrabásicas. Uno de los principales factores de carácter natural que incide en la baja disponibilidad

³ Gas biogénico: Se forma a poca profundidad y bajas temperaturas por la descomposición de la materia orgánica contenida en los sedimentos por la acción de las bacterias anaeróbicas.

⁴ Gas termogénico: Se forma a grandes profundidades y elevadas temperaturas en una etapa en que ocurre el craqueo térmico de la materia orgánica.

de agua en Cuba es precisamente la limitada superficie de sus cuencas hidrográficas, con menos de 200 km² en más del 85% de los casos. Adicionalmente, la ubicación de los principales acuíferos cubanos en la zona costera condiciona la permanente amenaza de la ocurrencia del fenómeno de intrusión marina, que puede provocar la elevación del tenor de salinidad por encima de un gramo por litro de sales solubles totales, quedando inservibles para el consumo y el riego agrícola, y ocasionando serias alteraciones ecológicas en los ecosistemas asociados.

En el país existen 652 cuencas superficiales, solo diez son cerradas, el resto se encuentra en contacto con las zonas costeras, con una ligera mayor incidencia hacia el sur, pues 327 de ellas vierten sus aguas en el Mar Caribe. Atendiendo a su importancia económica, social y ambiental, el grado de afectación a sus recursos naturales, además de su extensión y los valores locales, el gobierno cubano dispuso concentrar su atención en diez de estas cuencas hidrográficas, denominadas cuencas de interés nacional (Figura 2), para lo cual se constituyeron los consejos de cuencas correspondientes, en tanto más de medio centenar de cuencas quedaron bajo la supervisión de los gobiernos provinciales, 25 de las cuales se desarrollan en la vertiente sur.

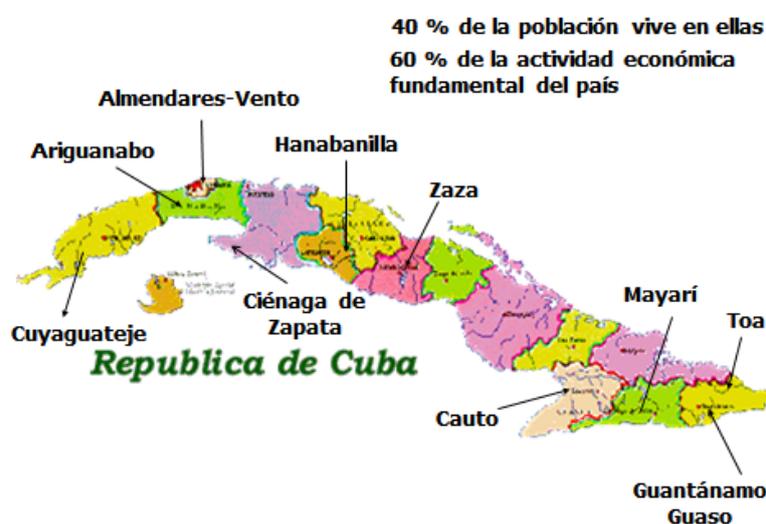


Figura 2. Cuencas hidrográficas de interés nacional

Todo lo anterior conduce al análisis de la disyuntiva entre la introducción de la tecnología de fracturación hidráulica en las cuencas del sur del país y la disponibilidad de los recursos hídricos para efectuarla, tomando en consideración los factores limitantes expuestos. En la opinión de los autores resulta imprescindible llevar a cabo una evaluación ambiental estratégica con todo rigor para un posible programa de esta índole en el país, tal y como se contempla en la legislación ambiental vigente.

03 CONCLUSIONES

El Modelo de Desarrollo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista tiene como Visión de la Nación alcanzar una sociedad soberana, independiente, socialista, democrática, próspera y sostenible. Para ello hay que compatibilizar y armonizar adecuadamente las dimensiones económica, social y ambiental de la sostenibilidad, y en el caso que se aborda, lo relativo a la implementación de la tecnología de la fracturación hidráulica versus la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos del país, que constituyen de por sí el principal desafío ambiental de Cuba para alcanzar los objetivos contemplados en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030.

Esta articulación ha de basarse en la realización de una evaluación ambiental estratégica que

coloque el énfasis en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos del país, considerando las afectaciones identificadas para cada una de las actividades operacionales del fraccionamiento hidráulico, así como los aspectos que han de evaluarse en ellas.

04 REFERENCIAS

- Delgado O., López O., Tenreiro R. y López J. G.** (2012). “Gas no convencional, estado y perspectivas para su exploración en Cuba”. Revista Cubana de Ingeniería. Vol. III, No. 3, septiembre - diciembre, 2012, p. 29 - 39, ISSN 2223 -1781.
- Díaz-Duque J.A.** (2018). “El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad”. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Vol. XXXIX, No. 2, May-Ago 2018, p. 46-59. ISSN 1680 – 0338.
- Domínguez Z., Delgado O., Rifá M., Prol J., Mustelier S., Pérez A. y Contreras R.** (2017). “Exploración para gas no convencional en el área de Martin Mesa”. VI Congreso de Petróleo y Gas. VII Convención de Ciencias de la Tierra. 3 al 7 abril de 2017. Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba. CD-ROM, p. 251-260. Editado por la Sociedad Cubana de Geología. ISSN 2307-499X.
- Environmental Protection Agency (EPA).** (2012). “Study the Potential Impacts of Hydraulic Frackting on Drinking Water Resources, Progress Report”, extraído de: <http://www2.epa.gov/hfstudy>, en abril 2018.
- ExxonMobil** (2018). “Outlook for Energy: A View to 2040”, extraído de: <http://www.exxonmobil.org/.pdf>, en abril 2018.
- Marrero M.** (2013). “Gas No Convencional ¿Revolución Energética?”. Conferencia magistral impartida en la V Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, abril de 2013.
- Martínez L.** (2015). “Impacto ambiental de las tecnologías de producción de gas no convencional en la República de Cuba”. Trabajo presentado en opción al título de Ingeniero Geofísico. Departamento de Geociencias. Universidad Tecnológica de La Habana. Junio de 2015. 74 pp.
- Martínez L., Díaz-Duque J.A. y Delgado O.** (2017). “Impacto ambiental de las tecnologías de producción de gas no convencional en la República de Cuba”. VI Congreso de Petróleo y Gas. VII Convención de Ciencias de la Tierra. 3 al 7 abril de 2017. Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba. CD-ROM, p. 581-591. Editado por la Sociedad Cubana de Geología. ISSN 2307-499X.
- PCC (Partido Comunista de Cuba)** (2021). “Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el Período 2021-2026”. Comité Central del PCC, junio 2021, 86 pp.
- Rudnick H., Cortés V., Salamunic L. y Dattas M.** (2011). “La revolución del shale gas”. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica. 55 pp.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

José Antonio Díaz Duque <https://orcid.org/0000-0003-0032-4681>

Investigador principal del trabajo, elaboró las bases del marco teórico, dirigió la investigación bibliográfica y coordinó la redacción final.

Linney Martínez Pérez <https://orcid.org/0009-0009-2384-7849>

Participó en el diseño de la investigación, la investigación bibliográfica y la elaboración de las conclusiones. Contribuyó a la redacción final del trabajo.

Orelvis Delgado López <https://orcid.org/0000-0003-2499-1550>

Elaboró el marco histórico de la investigación, intervino en la investigación bibliográfica y participó en la redacción del trabajo.