

CAPITAL HUMANO Y NECESIDADES TECNOLÓGICAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE SHALE GAS EN MÉXICO: EL CASO DE COAHUILA.

JOSÉ LUIS SOLLEIRO REBOLLEDO

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM, México
solleiro@unam.mx

ARACELI OLIVIA MEJÍA CHÁVEZ

Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, México
olivia@iiec.unam.mx

Resumen

La explotación de hidrocarburos no convencionales (shale gas/oil) ha tomado gran relevancia a nivel mundial, principalmente desde que Estados Unidos (EU) aprovechó los avances tecnológicos que hicieron posible su explotación y rentabilidad hace aproximadamente diez años. De acuerdo con la EIA (2012), México ocupa el sexto lugar en reservas de shale gas en el mundo, posición que pretende aprovechar al igual que lo hizo EU. Así, Pemex inició sus trabajos exploratorios en 2010, identificando cinco regiones con alto potencial: Chihuahua; Sabinas-Burro-Picachos; Burgos; Tampico-Misantla; y Veracruz, concentrando sus esfuerzos en el estado de Coahuila, entidad que registra las mayores reservas de hidrocarburos no convencionales.

Uno de los principales retos de este sector es la generación de personal especializado (profesional y técnico), así como el uso de la técnica del fracking y la recién aprobada reforma energética. En este contexto, el objetivo del presente trabajo es establecer el potencial y los desafíos tecnológicos que representa la explotación de shale gas en el estado de Coahuila en materia de capital humano, analizando las capacidades actuales de los agentes que integran el ecosistema de innovación de este sector.

La elaboración de esta investigación se sustenta en estadísticas confiables sobre los yacimientos y su potencial, así como fuentes de información primaria a través de entrevistas a actores líderes del sector, talleres sectoriales para proponer estrategias y prioridades.

Un breve acercamiento a los resultados obtenidos sobre la investigación, son la identificación de programas prioritarios para la formación de competencias, desarrollo de un centro de investigación y un conjunto de medidas para mitigar el riesgo ambiental de este tipo de explotación. Las recomendaciones de política involucran a los tres órdenes de gobierno, así como al clúster minero- petrolero de Coahuila formado por universidades, centros de investigación, gobierno, empresas y ciudadanía.

Palabras clave

México, shale gas, capital humano, fracking, innovación tecnológica.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene el objetivo de establecer el potencial y los desafíos tecnológicos que representa la explotación de shale gas en el estado de Coahuila en materia de capital humano, analizando las capacidades actuales de los agentes que integran el ecosistema de innovación de este sector.

Éste resulta ser un tema de reciente análisis, el estudio de los hidrocarburos no convencionales comenzaron en el año 2010 en la región noreste del territorio nacional, en la Cuenca de Burgos en el estado de Coahuila y Tamaulipas, ya que ésta representa una extensión del importante yacimiento Eagle Ford¹ en Estados Unidos, país donde se inició la revolución del *shale gas*, debido a que supo aprovechar los avances tecnológicos existentes a nivel mundial.²

La información que aquí se presenta se sustenta en documentación escrita sobre estudios prospectivos que se han realizado sobre el tema, para determinar las capacidades tecnológicas y formativas, además de económicas, políticas, sociales, y ambientales que posee México para el desarrollo del shale gas, así como en entrevistas, reuniones de trabajo y talleres de discusión que se tuvieron con algunos líderes de opinión del nascente sector en el estado de Coahuila, en el marco de la participación de los autores como coordinadores de los trabajos para la elaboración de la agenda de innovación para este sector emergente.

En primer término, se ofrece una explicación de qué es el gas shale y su controversial modo de explotación mediante la técnica del *fracking*, para pasar inmediatamente a hacer una breve descripción sobre la situación del gas natural convencional y no convencional en el mundo. Posteriormente, se aborda el tema en el contexto nacional y la influencia que tuvo Estados Unidos en la incursión de México en este sector. Después nos centramos en el análisis de la región norte en el estado de Coahuila y los resultados que esta investigación arroja y finalmente se incluyen algunas conclusiones de política tecnológica.

HIDROCARBUROS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES – SHALE GAS/OIL

El gas natural es considerado a nivel mundial como una de las fuentes de energía más importantes que contribuye al crecimiento de la economía de los países y al desenvolvimiento de las sociedades en general. Se aprecia como un hidrocarburo más afable con el planeta ya que

¹ “La prolífica formación texana de Eagle Ford se extiende al sur a través de la frontera Mexicana en la Cuenca Burgos, y abarca dos tercios de los recursos de gas shale mexicanos que se estima alcanzan los **169 billones de metros cúbicos** de gas shale recuperable, posicionado a México como en el 6to país con mayores depósitos a nivel mundial. Por su parte, en México se estima tener 13 billones e barriles de petróleo shale recuperables, situándose así en el **8avo país** con mayores reservas a nivel mundial. Con el desarrollo shale del país vecino, sumado a la reforma energética Mexicana que se está llevando a cabo, muchos creen que México podría copiar el ejemplo de Eagle Ford”. (<http://www.mexicoshalesummit.com/#!mexico-shale-summit-espanol/clhy> consultada el 8 de junio de 2015).

² La producción de Eagle Ford ha crecido de 0 en 2008 a más de un millón de barriles diarios (50% de petróleo, 12% de condensados y 38% de gas natural) (<http://eaglefordshale.com/eagle-ford-production/> consultada el 8 de junio de 2015).

emite menores cantidades de CO₂ en comparación con otros combustibles fósiles (petróleo y carbón), posee un alto valor calórico, es económicamente más accesible y representa una fuente de energía muy versátil, pues su uso es para consumo doméstico, industrial, servicios y transporte.

El gas natural³ se concentra en la porosidad de rocas subterráneas como arena, roca caliza o dolomita, esto significa que a mayor porosidad de la roca mayor almacenamiento de gas tendrá. Dichas rocas se ubican dentro de capas impermeables de roca que forman bolsas donde se almacena el gas, las cuales se liberan mediante la extracción. Por lo tanto, el grado de porosidad y la permeabilidad de la roca representan un factor clave en la extracción del gas natural. (CIDAC, 2013). En este sentido, la explotación de gas natural se caracteriza por dos tipos de yacimientos: los convencionales y los no convencionales (shale gas/oil).

Los yacimientos convencionales contienen rocas altamente porosas cubiertas de una capa impermeable donde se almacena el gas natural, la cual al ser perforada expulsa el hidrocarburo por un pozo hasta la superficie. (COMIMSA, 2013). Los hidrocarburos convencionales se extraen tradicionalmente utilizando tecnología de perforación en pozos verticales. En la actualidad la mayor producción de gas natural en el mundo se extrae de yacimientos convencionales, porque este método es más fácil y económico.

Los yacimientos no convencionales (donde se extrae el *shale gas/oil*), se caracterizan por contener rocas porosas de baja permeabilidad, como arenas compactas, lechos de carbón y pizarra, donde se almacena el gas natural. Para su extracción se requieren técnicas más avanzadas, complejas y controversiales por su repercusión en el medio ambiente (COMIMSA, 2013). La escasa porosidad de las rocas influye en los bajos niveles de extracción con altos costos, debido a que no es rentable mediante pozos verticales por tener un flujo débil, por esta razón, la explotación de gas se realiza por conducto de pozos horizontales usando la fracturación hidráulica (*fracking*), tecnología de punta altamente costosa, la cual comenzó a utilizarse hace casi una década en los Estados Unidos. En este sentido, el *shale gas* conocido también como gas de lutitas, pizarra o esquisto, es un hidrocarburo en estado gaseoso que se encuentra almacenado en yacimientos no convencionales y para su extracción se utiliza la técnica del *fracking*. (CIDAC, 2013; Estrada, 2013). En suma, la diferencia que existe entre los hidrocarburos convencionales de los no convencionales es la forma de extracción.

Fracturación hidráulica (Fracking)

Es una técnica empleada para extraer el gas natural almacenado en las rocas del subsuelo a una profundidad de hasta 4000 metros. Los pasos para lograr su extracción son los siguientes:

- Exploración: se debe explorar la zona de estudio para determinar las perspectivas de recuperación del área.

³ De origen fósil, el gas natural es una mezcla de hidrocarburos simples localizados en el subsuelo, su composición principal es de metano (CH₄) y otros hidrocarburos como nitrógeno, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico y agua. El gas natural se clasifica en: i) gas asociado: la extracción de este tipo de gas se hace junto con el petróleo crudo, contiene importantes cantidades de hidrocarburos como etano, propano, butano y naftas; y ii) gas no asociado: este tipo de gas se localiza en depósitos que no contienen petróleo crudo. (SENER, 2012).

- Perforación: Una vez analizada la pertinencia de la extracción el siguiente paso es la perforación vertical con medios convencionales. Alcanzada la profundidad necesaria (entre tres mil y cuatro mil metros) donde se localiza el shale gas almacenado, se procede a la perforación horizontal.
- Fracturación hidráulica (fracking): Para esta etapa se emplean explosivos para generar fracturas en el subsuelo y se inyecta a alta presión (similar a la presión debajo del mar entre 3,450 y 6,900 metros) un fluido compuesto por 98% de agua y arena⁴ (como agente de apuntalamiento) y 2% por productos químicos⁵.

De acuerdo con la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA) (2013), el consumo mínimo de agua para realizar la fracturación de un pozo es de 21,000 toneladas, sin embargo, aun cuando el agua es el principal costo en la actividad de fracturación, no representa el mayor costo de todo el proceso de extracción. Con respecto a los químicos utilizados en la mezcla que se inyecta en el proceso de fracturación, éstos representan aproximadamente entre 1,500 y 4,300 toneladas de químicos que se inyectan al subsuelo, de éstos sólo se recupera entre el 15 y 80% del fluido, provocando un problema ambiental en las zonas donde se localizan los yacimientos no convencionales. Sin embargo, otros estudios señalan la posibilidad de usar una composición diferente del fluido 99.5% (agua y arena) y 0.5% (productos químicos). (UANL, 2014).

El tema de la contaminación del agua es uno de los asuntos más controversiales que enfrenta la extracción de shale gas/oil. COMIMSA (2013) señala que el agua utilizada en los pozos es reciclada mediante el uso de plantas de extracción, y se le da un tratamiento para eliminar los residuos tóxicos químicos para volver a utilizarla en el proceso de explotación.

Consumo mundial de gas natural

En el panorama mundial, el aumento en el uso del gas natural no sólo se ha dado por el incremento probado de reservas, sino por sus características económicas, ambientales y flexibles. Su uso se ha optimizado generando energía eléctrica en las plantas de ciclo combinado. Es considerado el más limpio de los hidrocarburos fósiles, lo que lo hace más amigable con el medio ambiente, asimismo, es un recurso abundante y se estima más económico. (WEC, 2013). En las últimas dos décadas, el gas natural convencional creció 36% y su producción lo hizo en 61%. En comparación con 2010, las reservas y la producción de 2013 registraron un crecimiento de 3 y 15 por ciento respectivamente.

En 2010, el gas natural ocupó el tercer lugar en el consumo de energía a nivel mundial, sólo por debajo del petróleo y el carbón con el 23.5%, y se estima que crecerá a una tasa media anual de 1.7% para 2035. Véase tabla 1. (EIA, 2013).

⁴ La arena utilizada en la mezcla inyectada sirve para extender y mantener las grietas abiertas para que el gas pueda salir a la superficie y lograr su extracción. (COMIMSA, 2013).

⁵ Los químicos comúnmente empleados en la mezcla para la fracturación son: ácidos, cloruro de sodio, Poliácridamida, Etilenglicol, Sales, Carbonato de Potasio de Sodio, Glutraldehído, Goma Guar, Ácido Cítrico e Isopranol entre otros.

**Tabla 1. Consumo mundial de energía primaria
 1990-2030**

**Escenario de referencia
 participación porcentual**

	Histórico					Proyección	
	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030
Petróleo	38.4	38.2	38.3	36.0	34.6	31.5	30.6
Gas natural	21.2	21.7	22.4	22.5	23.5	23.9	22.7
Carbón	25.1	23.5	22.7	25.9	26.0	25.8	27.0
Nuclear	5.7	6.2	6.3	5.8	5.5	6.3	6.4
Otras fuentes	9.5	10.4	10.2	9.8	10.4	1.4	13.3
Total	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: EIA, 2011.

De acuerdo con información de la Secretaría de Energía (SENER, 2013a), en 2012 el consumo mundial de gas natural creció 2.2% en relación con el año anterior, obteniendo 319,801 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd). Al respecto, el consumo mundial de gas natural por región se conformó de la siguiente forma: Norteamérica con 87,467 mmpcd (27.5%), Europa y Euroasia con 104,524 mmpcd (32.6%), Asia Pacífico con 60,300 mmpcd (18.8%), Centro y Sudamérica sumaron 15,928 mmpcd (5.0%). África con 11,849 mmpcd (3.7%) y Oriente Medio con 39,732 mmpcd (12.4%). Por su parte, México consumió alrededor de 8,072 mmpcd.

Panorama de las reservas de gas natural en el mundo

Para 2012, las reservas probadas de gas natural convencional en el mundo fueron de 6,614 billones de pies cúbicos (bpc), cifra menor en 0.3% en relación al año anterior. Los países con las mayores reservas convencionales son: Irán (18%), Rusia (17.6%), Qatar (13.4%), Turkmenistán (9.3%), y Estados Unidos (4.5%). En esta lista México ocupa el lugar número 35 (0.2%). Según datos de la SENER, en la región de Norteamérica, Estados Unidos y México tendrán reservas por 12.5 y 6.2 años respectivamente.

En 2013, la Administración de Información de Energía de Estados Unidos (EIA por sus siglas en inglés) estimó las reservas mundiales totales de *shale gas* por 7,299 billones de pies cúbicos (bpc). Los tres países que destacan por sus reservas en *shale gas* son China (1,115 bpc), Argentina (802 bpc) y Argelia (707 bpc), en tanto, Estados Unidos (665 bpc) y México (545 bpc) ocupan el cuarto y sexto lugares. En cuanto al *shale oil*, México se posicionó en el octavo lugar con 13 mmb (miles de millones de barriles) para ese mismo año. Véase tabla 2.

Tabla 2. Países con mayores reservas recuperables de shale gas/oil, 2013

Lugar	País	Reservas de shale gas (gas de lutitas) (bpc)	País	Reservas de shale oil (petróleo de lutitas) (mmb)
1	China	1,115	Rusia	75

2	Argentina	802	Estados Unidos	58
3	Argelia	707	China	32
4	Estados Unidos	665	Argentina	27
5	Canadá	573	Libia	26
6	México	545	Australia	18
7	Australia	437	Venezuela	13
8	Sudáfrica	390	México	13
9	Rusia	285	Pakistán	9
10	Brasil	245	Canadá	9
11	Resto	1,535	Resto	65
Total mundial		7,299		345

Fuente: EIA, 2013.

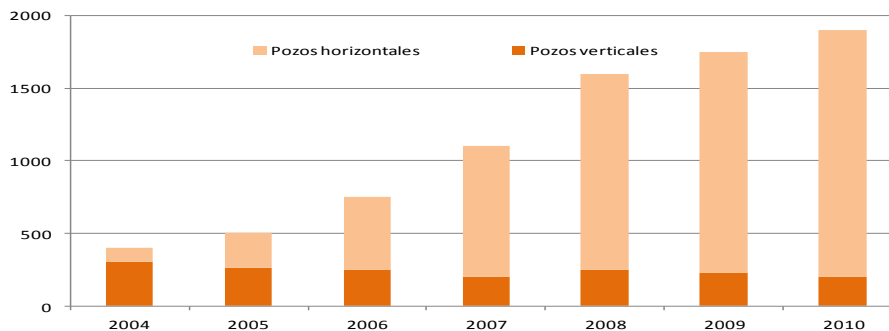
El estudio de la EIA señala que para 2013, creció el número de recursos técnicamente recuperables de las reservas de shale gas/oil por 7,299 billones de pies cúbicos, de las 6,622 que había en 2011.

En cuanto a la producción mundial de gas natural, en 2012 promedió 324,578 mmpcd (millones de pies cúbicos). En este marco, la región que contribuyó con la mayor producción fue Europa y Euroasia (30%), seguida de las regiones de Norteamérica (26.8%), Oriente Medio (16.3%), Asia Pacífico (14.5%), África (6.4%) y Centro y Sudamérica (5.3%). Por su parte, México se posicionó en el lugar 15 con 5,641 mmpcd.

EXPLOTACIÓN DEL SHALE GAS EN ESTADOS UNIDOS

Los avances tecnológicos en perforación horizontal y fracturación hidráulica (fracking), permitieron que Estados Unidos comenzara a explotar los yacimientos no convencionales de forma rentable hace casi una década. (Véase gráfico 1).

Gráfico 1. Producción de gas natural por tipo de pozo en la formación Barnett, 1997-2010. (mmmpe)



Fuente: EIA, 2011.

Como se muestra en el gráfico anterior, la producción de gas natural es mayor en los pozos horizontales (no convencionales) que los verticales (convencionales) en la formación Barnett, considerada la principal fuente de producción de gas de lutitas (shale gas).

El yacimiento Eagle Ford fue el primer pozo perforado en Estados Unidos en el año 2008, localizado al Sur de Texas; es conocido como el descubrimiento de hidrocarburos no convencionales más importante de los últimos años, con un crecimiento de 2,579% durante el periodo 2008-2012. Este yacimiento se extiende aproximadamente 450 km dentro del territorio mexicano, abarcando los estados de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León. (Vielma, 2012).

En este contexto, el yacimiento Eagle Ford constituyó un polo de desarrollo pues reportó en 2013 la creación de 46,000 empleos directos y 116,000 indirectos; generó una nómina de 511.8 millones de dólares, aportó 1,300 millones de dólares al Producto Interno Bruto (PIB), contribuyó con un impacto económico de 61,000 millones de dólares (impuestos), aportó 47 millones de dólares a gobiernos locales destinados a educación y servicios de emergencia, una producción de 878, 000 barriles diarios de crudo y 3,896 mmpcd de gas, y poco más de 5,400 permisos para la perforación de pozos.⁶ (Railroad Commission Texas, 2014; EIA, 2013).⁷ De acuerdo con datos de la EIA, la producción de *shale gas* pasó de representar el 2% de la producción de gas seco en el año 2000 a más de 35% en el 2012. (Muciño, 2013). Mediante la técnica de *fracking* se descubrieron grandes yacimientos de *shale gas*, incrementando las reservas de gas natural no convencional en ese país. (CIDAC, 2013).

Como era de esperarse, la participación de una elevada producción impacta en la oferta del gas, lo que repercute directamente en el mercado de los hidrocarburos. A principios del siglo XXI, los precios del gas se ubicaban en promedio en 7 dólares/millón de BTU⁸, pero actualmente se sitúan entre 4 y 5 dólares/millón de BTU. Por lo tanto, la estabilidad de la oferta de gas y la disminución de los precios ha creado estrategias industriales que contribuyen a mejorar su competitividad, provocando un impulso para el crecimiento en la economía estadounidense.

Por otra parte, así como EU utiliza la técnica del *fracking*⁹ para explotar los hidrocarburos no convencionales, países como Chile, Argentina y México por señalar algunos, han modificado su legislación para utilizar esta técnica, mientras que Alemania, Francia, Bulgaria y Dinamarca son países que se oponen al *fracking*, por las posibles repercusiones que esto traería en términos ambientales, económicos, de salud, etc. (Estrada, 2013; CIDAC, 2013, SENER, 2013a).

⁶ <http://www.laredo.net/eagle.html>

⁷ De los pozos de este yacimiento se extrae petróleo, gas y condensados, y gas seco, sin embargo, estos pozos tienden a declinar rápidamente. De acuerdo con el estudio realizado por la empresa Schlumberger “Shale Gas Production Decline Trend Comparison over time and Basins” (2011), los pozos disminuyen su producción un 75% durante el primer año. Pese a esto, los éxitos alcanzados en tecnología para la explotación del shale gas, permitieron que Estados Unidos incrementara su producción considerablemente en los últimos cinco años.

⁸ BTU: British Thermal Unit. Un pie cúbico de gas natural despiden en promedio 1000 BTU, aunque el intervalo de valores se sitúa entre 500 y 1500 BTU.

⁹ Los distintos estudios se han centrado en examinar el impacto medioambiental de esta técnica, desde la posibilidad de que provoque terremotos a la potencial contaminación del agua por gas metano. Por otro lado, la principal preocupación en cuanto a efectos en la salud es confirmar si el agua potable, la calidad del agua o el nivel de ruido se verían afectados en el proceso. (<http://www.nationalgeographic.es/noticias/medio-ambiente/desastres-naturales/el-fracking-un-posible-peligro-para-la-salud> consultada el 19 de junio de 2015)

CONTEXTO NACIONAL DE LOS HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES – SHALE GAS - EN MÉXICO.

México pretende asimilar la experiencia del *boom* de hidrocarburos no convencionales que vivió Estados Unidos. Según las estimaciones realizadas por la SENER, la explotación de gas *shale* podría atraer a México inversiones hasta por 10 mil millones de dólares anuales, a través de empresas nacionales (como el grupo Alfa o Altos Hornos de México) y extranjeras, con el propósito de satisfacer la demanda local de infraestructura, servicios y suministros necesarios para la extracción de este hidrocarburo. Esto activaría la economía y fuentes de empleo, las cuales se calcula crearán durante los próximos 15 años alrededor de 1.5 millones de empleos directos e indirectos en las actividades de exploración, explotación y demás actividades de la cadena de valor del gas natural. También se argumenta que la explotación de *shale gas* podría reducir los costos de la energía eléctrica, propiciando el ahorro en los sectores que utilizan este tipo de energético. (Rodríguez, 2011).

La EIA identificó en México cinco regiones potencialmente productoras de gas y condensados de lutitas (*shale*): Chihuahua, Sabinas-Burro-Picachos, Burgos, Tampico-Misantla y Veracruz. (Ver figura 1). (Estrada, 2013). Según informes del Departamento de Energía de Estados Unidos, las reservas potenciales de *shale gas* posicionaron a México en el sexto lugar con 545 billones de pies cúbicos técnicamente recuperables. El informe también menciona que estos yacimientos de *shale gas* poseen características geológicas similares a las de Estados Unidos, mismas que propiciaron el crecimiento de su economía. (CIDAC, 2013; SENER, 2013a).

Figura 1. Reservas potenciales de shale gas en México



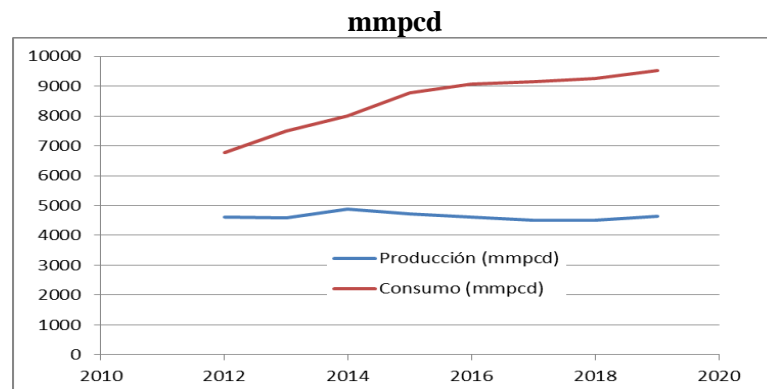
Fuente: SENER, 2013a.

En México, a partir de 2010, Petróleos Mexicanos (PEMEX) inició la evaluación del potencial de las cinco regiones productoras de *shale gas* previamente mencionadas; y realizó estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos; trabajó en la adquisición, procesamiento e interpretación de información sísmica 3D y 3C, en las áreas donde se supone la existencia de recursos no convencionales (*shale gas*). (ENE, 2013). Asimismo, determinó el costo de extracción, el cual depende del tipo de yacimiento y volumen, “su rango oscila entre 3.5 y 5 dólares/Mpc (mil pies cúbicos). El precio actual del gas natural fluctúa entre 3 y 4 dólares/Mpc, pero es factible que aumente a 5 dólares/Mpc antes de 2017.” (Estrada, 2013: 79).

Por su parte, la SENER (2013a) señala en su estudio de prospectiva del gas natural en México, que el *shale gas* tendrá un crecimiento considerable, pasando de 7,485 mmpcd en 2013 a 9,523 mmpcd en 2019; en tanto, la producción se mantendrá menor a los 5,000 mmpcd. Por lo que la demanda será satisfecha por las importaciones, mismas que se estima serán mayores a la producción nacional en 2017. Cabe mencionar que el crecimiento del consumo del gas en el país se debe a la política de generar energía eléctrica, teniendo a este hidrocarburo como su fuente principal.

El nivel actual de importaciones de gas natural es muy alto y se estima que esta tendencia continuará si no se toman las medidas necesarias para satisfacer la demanda interna con la producción nacional. En este sentido, se muestra en el gráfico 2 el comportamiento del consumo nacional el cual es mayor que la producción, lo que significa que la demanda sería cubierta a través de las importaciones, debido principalmente a la escasa inversión en la explotación de gas natural, así como en el mantenimiento y desarrollo de infraestructura.

Gráfico 2. Consumo vs Producción de gas natural en México, 2012-2019.



Fuente: SENER, 2013a.

Reservas de gas natural convencional y no convencional

La EIA informó que México cuenta con reservas por 13 mmmb de *shale oil* y 545 bpc de *shale gas*, posicionándose en el octavo y sexto lugares respectivamente a nivel mundial en 2013. De igual forma, la EIA destacó que las cuencas más importantes, por ser una extensión del yacimiento Eagle Ford, son Burgos y Sabinas. (SENER, 2011).

Los datos de la CNH (2014a), señalan que los yacimientos no convencionales aportan recursos prospectivos por alrededor de 60,200 millones de barriles de petróleo crudo equivalente (mmbpce), de éstos, 14 mmbpce se localizan en el estado de Coahuila. Mientras que los recursos convencionales contribuyen con 54,700 mmbpce, siendo la diferencia de 5,500 mmbpce extraídos de recursos no convencionales.

Por su parte, Pemex estimó invertir durante el periodo 2010– 2015 alrededor de 30,500 millones de pesos en exploración, por lo que diseñó junto con la SENER una estrategia para la exploración, producción y comercialización del *shale gas*, y se estimó que la primera producción comercial se obtendría en 2015. (SENER, 2011; CNH 2011).

La información de la prospectiva de *shale gas* en México ha impulsado medidas para crear nuevas condiciones para realizar las actividades de exploración, extracción, procesamiento, distribución y comercialización de petróleo y gas natural en el territorio nacional. Hecho más que comprobado con la aprobación de la reforma energética en diciembre de 2013 y con las reformas secundarias aprobadas en agosto de 2014.¹⁰

OPORTUNIDADES PARA LA EXPLOTACIÓN DE SHALE GAS EN EL ESTADO DE COAHUILA

Reservas de hidrocarburos no convencionales en el estado de Coahuila

Según datos de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2014a), los recursos recuperables identificados de *shale gas* se concentran en el estado de Coahuila, en las cuencas de Burgos y Sabinas, aunque también se cuantifican recursos en Tamaulipas y Veracruz, los cuales alcanzaron un total de 141.5 billones de pies cúbicos (mmmpc). La cuenca de Burgos es la región de gas no asociado más importante de México, aporta 78% de la producción nacional de este tipo de gas. Por su parte, las lutitas gasíferas (*shale gas*), el metano extraído de mantos carboníferos (*coal bed methane*) y el gas de arenas compactas (*tight gas*) son las principales fuentes de gas natural no convencional, y las tres se encuentran presentes en el estado de Coahuila.

De 2010 a 2014 PEMEX exploró 17 pozos de *shale gas/oil* en las cinco regiones con mayor potencial, obteniendo los siguientes resultados: 7 se localizan en el estado de Coahuila, 6 en Nuevo León y 4 en Tamaulipas. De acuerdo con la CNH, el estado de Coahuila cuenta con una gran actividad exploratoria, debido a que representa una extensión del yacimiento Eagle Ford proveniente de Estados Unidos. De estos pozos en el estado, se cuenta que uno es improductivo, 2 son productores no comerciales y el resto son productores comerciales, dos de gas seco y otros dos de gas y condensados. De Nuevo León 4 son productores comerciales de gas seco y dos productores no comerciales de gas seco. Y en Tamaulipas 2 son productores comerciales de gas seco, uno es productor comercial de aceite y gas y uno improductivo. Cabe resaltar que en el momento del registro, alguno de estos proyectos estaba en fase de evaluación. (CNH, 2014b). Un dato importante, es que la producción de los pozos muestra una reducción considerable en el primer año, el cual oscila entre el 75 y 50 por ciento.

De acuerdo con Lajous (2012), la inversión de PEMEX tuvo que haberse orientado primero a reducir riesgos geológicos, antes de iniciar una campaña de perforación ambiciosa en lutitas gasíferas. Para la producción de *shale gas*, es necesario primero enfocarse en delimitar las formaciones relevantes, identificar sus áreas medulares, adquirir tecnología e iniciar un proceso de aprendizaje, que le permita desarrollar estos recursos de manera eficiente a costos competitivos.

Fabio Barbosa (2013) considera que, en relación con las condiciones actuales no sólo de Sabinas Burgos sino del país en general, se carece de los elementos en infraestructura, avances

¹⁰ Para diversos agentes que participan en el sector energético, las reformas recientemente aprobadas, representan un abanico de posibilidades y ventajas para la iniciativa privada nacional y transnacional interesados en la explotación del *shale gas*. Con la aprobación de la reforma energética en agosto de 2014, se brinda la posibilidad al sector privado de incursionar en actividades que anteriormente le competían exclusivamente al gobierno federal. Para profundizar en el tema véase (PEMEX, 2014).

tecnológicos, capital humano, recursos económicos, entre otros, para explotar al máximo los hidrocarburos identificados; los cuales estima serán aprovechados por las empresas extranjeras privadas que sean contratadas por PEMEX. De hecho, actualmente, en la región norte de Coahuila no existe infraestructura alguna para la explotación de los yacimientos, pues ahí se encuentra una economía basada en la ganadería y la industria maquiladora.

POLÍTICAS DE FOMENTO AL DESARROLLO DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES A NIVEL NACIONAL Y ESTATAL

Resultados del análisis

El interés creado por la presencia de recursos no convencionales en el estado de Coahuila, ha puesto a la entidad en el ojo del huracán, pues los actores que participan en su desarrollo han establecido una serie de vínculos para la generación de conocimiento, tecnología y mecanismos que permitan una mayor interacción para aprovechar las ventajas que este sector puede traer directa e indirectamente al estado.

Entre los instrumentos de política pública podemos mencionar:

El Fondo Sectorial de Investigación Conacyt-Sener-Hidrocarburos, tiene como objetivo atender las principales problemáticas y oportunidades en materia de hidrocarburos a través del desarrollo de tecnología y la formación de recursos especializados. Este fondo brindó el financiamiento por 244 millones de dólares al proyecto “Asimilación y desarrollo de tecnología en diseño, adquisición, procesado e interpretación de datos sísmicos 3D-3C con enfoque a plays de shale gas/oil en México”, cuyo objetivo es conocer los recursos prospectivos de hidrocarburos de lutitas en México”, que inició en el segundo semestre de 2013. (SENER, 2013b).

Por su parte, el Fondo de Hidrocarburos (FH) enfocado en la formación de recursos especializados, consiste en establecer vínculos entre IES, CI y empresas, para el desarrollo e investigación y para formar personal especializado mediante algún posgrado relacionado con la materia. De 2009 a 2012, las inversiones que el FH ha realizado en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico han tenido los siguientes impactos:

- Inversión en infraestructura y equipo de laboratorio (335.7 millones de pesos).
- Apoyo a la formación de 32 estudiantes de maestría y 33 estudiantes de doctorado.
- Formación de 32 maestros y 20 doctores que han concluido sus estudios mediante el desarrollo de los proyectos que apoya el Fondo.
- Publicación de 81 artículos en revistas internacionales.
- Generación de 5 solicitudes de patentes nacionales y 30 solicitudes internacionales.
- Aprobación de 2 patentes internacionales. (SENER, 2013c).

El Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila (COECyT), apoya con recursos para la investigación, el desarrollo tecnológico e innovación, a las empresas, IES y CI que desarrollen proyectos para la explotación del shale gas en Coahuila.

Es muy importante mencionar la creación del Clúster minero-petrolero, que es una asociación civil conformada por Instituciones de Educación Superior (IES), Centros de Investigación (CI), empresarios, autoridades municipales, estatales y federales, cámaras de comercio, entre otros, con

el propósito de convocar y preparar a los actores que participarán en este naciente sector. El Clúster es dirigido por un funcionario que fue gobernador de Coahuila y Director General de PEMEX, lo cual da cuenta del alto perfil político que tiene para poder generar un entorno propicio para esta nueva industria. Las pequeñas y medianas empresas que participan tienen la capacidad o potencial para brindar el servicio en la cadena de suministro.¹¹

En el estado de Coahuila se han puesto en marcha diversas acciones para impulsar el desarrollo de este sector, entre las que destacan:

- Desarrollo sustentable del estado en beneficio de la sociedad.
- Integración de cadenas productivas con la participación de proveedores locales.
- Formación de capital humano, innovación y desarrollo tecnológico.
- Negociaciones de trato justo entre dueños e inversionistas.
- Creación de la infraestructura necesaria para el desarrollo de la industria de hidrocarburos.

Retos de formación de capital humano e innovación tecnológica en la explotación de shale gas en el estado de Coahuila

De acuerdo con la información obtenida principalmente mediante reuniones de trabajo con los actores del sector en algunas ciudades de Coahuila, se determinó que existen diversos desafíos por enfrentar para hacer posible la explotación del shale gas desde un punto de vista rentable, racional y sustentable. A diferencia de Estados Unidos y Canadá, México no tiene la capacidad para desarrollar autónomamente sectores como éste a corto o mediano plazos. La creación de capacidades tecnológicas propias es un imperativo para que Coahuila logre captar una cuota mayor de valor agregado en los nuevos procesos.

Por ello, el gobierno de Coahuila priorizó este sector para la elaboración de una agenda de innovación, para lo cual se organizó un conjunto de talleres de búsqueda en las ciudades de Sabinas, Nueva Rosita y Piedras Negras.

Así, en el marco de nuestro estudio se preparó un análisis de las necesidades de tecnología y recursos humanos a lo largo de la cadena de valor del gas shale, pues “el análisis de la cadena de suministro permite detectar cada uno de los requerimientos en los diversos elementos del proceso, de tal forma que, con base en esto, se perfilan las necesidades de proveeduría de servicios e insumos” (Garza, 2014).

Las conclusiones de los talleres apuntan claramente a la necesidad de formar recursos humanos no solamente para la operación de las instalaciones, sino para integrarse a la cadena de suministro proveyendo equipo, instrumentos, tubería, conexiones y servicios técnicos especializados, para

¹¹ El clúster minero petrolero está conformado por seis comités cada uno de los cuales abarca aspectos importantes para el desarrollo del sector: Infraestructura, Recursos Humanos, Proveeduría, Derechos Superficiales, Innovación Tecnológica y Medio Ambiente. Sus objetivos son principalmente: Promover el desarrollo, atracción y retención de profesionales altamente calificados; Aumentar el dinamismo de las empresas de la región y del sector, oportunidades de negocio, de servicios y de soporte a las exploraciones mineras y petroleras; Fomentar la vinculación existente entre el sector productivo, el gobierno y las instituciones de educación superior; Desarrollar alianzas estratégicas con empresas y sectores altamente competitivos.

lograr no sólo mayor derrama económica en el estado, sino también un crecimiento sustentable desde la perspectiva ambiental.

El diagnóstico de partida en cuanto a los recursos humanos indica que la demanda de técnicos en la entidad será de 24,192 y el estado sólo cuenta con 4,721, en tanto, la demanda de profesionales será 10,368 y la oferta apenas llega a 3,249, es decir, existe un déficit del 77% de personal calificado en el sector. Las carreras más solicitadas son las Ingenierías en Geología, Geofísicos, Civil, Mecánica, Ambiental, Química, Industrial, Eléctrica y Electrónica, principalmente. [Pérez, 2014].

Ante las nuevas condiciones y requerimientos del sector de hidrocarburos no convencionales; y la necesidad de impulsar y fortalecer una nueva planta de docentes, diversos actores comenzaron a participar de forma activa y propositiva, entre ellos la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) se comprometió a modificar sus planes y programas de estudio, enfocándolos a la industria del *shale gas*, tiene la tarea de especializar a 120 académicos (85 a nivel técnico y 35 a nivel profesional) para impartir clases en áreas relacionadas con la explotación de los *hidrocarburos no convencionales*, el tiempo para la formación de los docentes tardará un periodo de cuatro años. La UAdeC también abrió nuevas especialidades para atender las demandas de personal calificado de las empresas que se instalen en la entidad. [Valdés, 2014]. Para la SENER, esto representa la generación de nuevas fuentes de empleo en la industria del shale gas en la zona norte del estado. [Ruíz, 2014]. Se calcula que con la explotación de *shale gas* se generarán alrededor de 34,560 nuevos empleos durante el periodo 2016-2020. De acuerdo con Pemex, se perforarán 1,600 pozos en el norte de Coahuila con una inversión aproximada de 12,800 millones de dólares, estiman que por cada millón de dólares de inversión se generan alrededor de 2.7 empleos directos y que por cada empleo directo se producirán otros 2.7 empleos indirectos. Para el IMP uno de los principales retos es crear la infraestructura vial, educativa, sanitaria, de transporte, etc., necesaria para llevar a cabo las actividades de extracción, la cual comenzará en forma a finales de 2015. [Pérez, 2014].

Ante esta proyección, es fundamental que el sector educativo se fortalezca a través del incremento en la oferta de posgrados, particularmente los que pertenecen al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC),¹² para mejorar las capacidades de investigación de las IES en áreas prioritarias del país y orientar las inversiones donde existan las condiciones favorables para su desarrollo científico y tecnológico. Los estudios de posgrado son el principal mecanismo para la formación de recursos humanos altamente especializados exigidos por las IES y CI. De acuerdo con el ANUIES, durante el ciclo 2013-2014, la matrícula en el país a nivel de posgrado sumó 294,484 alumnos, de los cuales, 6,023 son de Coahuila. Mientras, para el mismo ciclo escolar a nivel técnico superior y licenciatura, Coahuila registró una matrícula de 89,748 alumnos, de los 3, 588,041 del total nacional. Asimismo, en 2014 egresaron del área de ingeniería, manufactura y construcción 110,410 alumnos de todo el país, de éstos 4,955 fueron de Coahuila. Por su parte, en enero de 2015 se registraron 23,316 investigadores, el 1.4%

¹² Los programas de doctorado en ciencias e ingenierías con respecto al total de la matrícula nacional, tienen una relación más directa con la Investigación y el Desarrollo Experimental (IDE) y con la innovación, de tal suerte que este indicador es utilizado internacionalmente como medida de las capacidades formadas en estas áreas. En 2012 el indicador registró 37.2%, superior a Brasil que fue de 34.7%. (SEP, 2013).

correspondió a Coahuila en las áreas de ingeniería y biotecnología y agropecuaria. [ProMéxico, 2015].

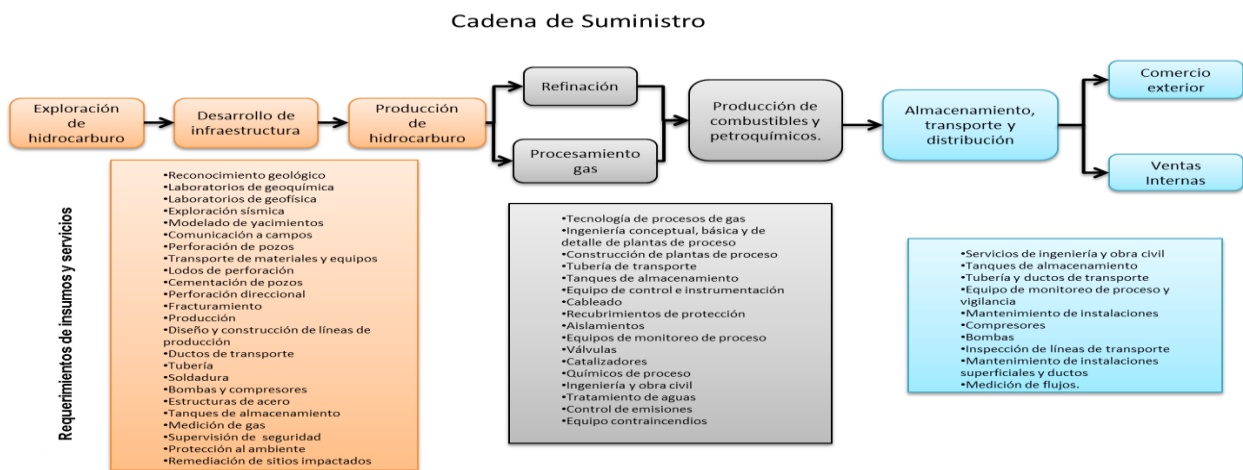
Pese a estas cifras, los esfuerzos del estado resultan insuficientes para satisfacer la demanda de personal calificado en el mercado laboral –cabe recordar el déficit de recursos humanos en la industria del shale gas- siendo imperativo mejorar la calidad de la educación a nivel estatal y nacional e incrementar la formación de talento, pues “las IES y los CI contribuyen a la creación de una masa crítica con la capacidad de utilizar el conocimiento en diferentes campos, y con la capacidad de crear nuevo conocimiento susceptible de coadyuvar al desarrollo socioeconómico del estado”. [Villavicencio et al., 2012: 242].

Necesidades de innovación

El naciente sector de hidrocarburos no convencionales (shale gas) en el estado de Coahuila, requiere de un conjunto de elementos entre los que destacan:

La formación de capital humano: el estado requiere desarrollar personal altamente especializado para atender las necesidades del nuevo sector, con el propósito de fortalecer no sólo los requerimientos de la industria, sino de la sociedad. Se demanda personal calificado para incursionar en la asimilación de tecnología desarrollada para las técnicas de perforación; prospección sísmica; cementación; fracturamiento hidráulico; transporte y almacenamiento; conversión de gas a líquidos; celdas de combustible, y software especializado; entre otros avances tecnológicos (Véase figura 2) que han hecho posible que la explotación de los recursos no convencionales sea rentable en el mundo.¹³

Figura 2. Cadena de suministro del sector para la explotación de los hidrocarburos de lutitas:



Fuente: Garza, A., 2014

¹³ Los avances tecnológicos utilizados para la producción de shale gas, son desarrollados por las grandes empresas petroleras más importantes a nivel mundial, que invierten importantes recursos en I+D, entre estas empresas destacan: BP, Chevron, Exxon Mobil, Petrobras, Schlumberger, Halliburton, Shell, Statoil, entre otras. (Barbosa, 2013).

De acuerdo con las principales etapas de la cadena de valor, en la tabla 3 se presenta a detalle las necesidades de profesionales, según el resultado de la consulta realizada en el marco de los talleres para elaborar la agenda de innovación, así como de las experiencias de EU y Canadá.

Tabla 3. Profesionales necesarios para la producción de *shale gas*.

Exploración y desarrollo de campos	Etapas de diseño y construcción de instalaciones	Perforación y terminación	Producción
Ingenieros petroleros; Geólogos, geofísicos y geoquímicos; Laboratoristas químicos; Topógrafos.	Ingenieros petroleros; Ingenieros en diseño (químicos en procesos, topógrafos, mecánicos civiles, eléctricos, instrumentación y control, comunicaciones y seguridad); Ingenieros y técnicos para construcción eléctrica, construcción de sistemas electrónicos, construcción civil, construcción de instalaciones mecánicas, en soldadura, supervisión e inspección; Ingenieros en medición y en Seguridad NFPA.	Ingenieros petroleros; Geólogos, geofísicos; Conductores de vehículos de desechos y de equipo móvil de perforación; Cuadrillas de perforación, cementación y fracturación, Operadores de bombas de alta presión, operarios en general; Operador de sistemas de lodos; Operadores perforistas; Laboristas químicos; Conductores de vehículos para tratamiento de aguas, desechos y arenas; Ingenieros mecánicos en operación y mantenimiento de motores estacionarios de combustión interna, sistemas de potencia hidráulica, malacates y bombas de lodos; Ingenieros eléctricos en mantenimiento de sistemas de generación, transformación y distribución; Ingenieros electrónicos en sistemas de instrumentación y	Ingenieros petroleros y químicos; Operadores de producción, bombeo y compresión; Mecánicos supervisores de línea, administradores de proyecto, equipos de seguridad; Examinadores de salud, Seguridad y Ambientales; Laboratoristas químicos; Asesores de impacto ambiental; Ingenieros en medición de flujos; Ingenieros en comunicación; Ingenieros en inspección y supervisión de ductos de transporte; Ingenieros en inspección de instalaciones e integridad mecánica.

		control y comunicaciones; Personal de seguridad y protección al ambiente.	
--	--	---	--

Fuente: Garza, 2014.

Selección, negociación, transferencia y asimilación de tecnología: los avances tecnológicos en la perforación horizontal y el fracking, escasamente se han utilizado en nuestro país, de tal suerte que, se tiene el compromiso de aprender de los avances tecnológicos y de las experiencias de éxito de otros países, sin afectar el ambiente del territorio nacional. Esto requiere la preparación de personal calificado que no está disponible en el estado, por lo que habrá que desarrollar esquemas de atracción de especialistas de otros estados de México y otros países para poder enfrentar el reto en el corto plazo.

Vinculación académica en la formación de capital humano: La participación de las IES ha sido fundamental en el crecimiento inicial del sector. Al respecto, la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) y diversos institutos tecnológicos han establecido convenios con diversas universidades entre ellas la Texas A&M University, para colaborar en el desarrollo de planes y programas de estudio, el intercambio de estudiantes y docentes, proyectos de investigación, programas de doble titulación, bases de datos y fuentes de información. El problema radica en el enfoque de la colaboración que se ha centrado en aspectos de docencia en escuelas de ingeniería, inclusive con componentes prácticos como la creación de un pozo escuela, pero con pocas interacciones para formar capacidades de investigación. Sólo la UAdeC tiene el propósito de crear el Centro de Investigación para la explotación de gas shale.

Redes de vinculación: Se han creado algunas redes incipientes entre universidades como la Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (UTRCC), PEMEX y el IMP, para colaborar conjuntamente en investigación y desarrollo en materia del shale gas. Es necesario que se establezcan incentivos económicos más atractivos para que haya más redes y que éstas cuenten con la participación de empresas privadas ligadas a la exploración y producción.

Convenios de colaboración: Se han establecido convenios entre el gobierno estatal y CI de la entidad (COECyT y COMIMSA), para analizar el tipo de tecnología, conocimiento, capacidades, infraestructura, etc., que requerirá el sector de hidrocarburos no convencionales. Sin embargo, las actividades derivadas de estos convenios cuentan con recursos muy limitados. Es necesario dimensionar adecuadamente el desarrollo regional asociado a esta nueva industria y establecer un programa integral de apoyo a la innovación que cuente con recursos garantizados en un horizonte de largo plazo. Esto puede lograrse siguiendo el modelo de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía, con la participación de la Secretaría de Energía.

Clúster minero-petrolero: Se crea este clúster en el que intervienen diversos agentes del sector. Es importante que el clúster atraiga la participación de más empresas, incluyendo a las empresas multinacionales que han de jugar el papel de tractoras de la participación de proveedores.

Cadena de suministro: Es fundamental que las empresas de la región puedan aprovechar las condiciones que ofrece este sector, mediante su integración organizada a la cadena productiva del shale gas, como servicios, materiales, equipamiento y refacciones de proveeduría entre otras. Para lograr esto, se precisa la difusión de los requerimientos del sector, para ello el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) serán esenciales, generando un mercado más dinámico. La participación de los fondos municipales, estatales y federales para el desarrollo de proyectos y asimilación de tecnología brindará mayores posibilidades a las empresas interesadas en formar parte de la cadena de suministros. El papel de otros actores como las cámaras y asociaciones industriales también es importante para el desarrollo de este sector.

Nuevos prestadores de servicios: Con la aparición de este nuevo sector, también se requerirán nuevos servicios e infraestructura para satisfacer las necesidades de la población que se incorporará al crecimiento de las localidades de la entidad. Se deben planificar viviendas, escuelas, hospitales, centros comerciales, vías de comunicación, etc., para tener mayor control de la expansión que se espera. Pero ver la provisión de servicios solamente desde la óptica urbana sería muy limitado. Es muy importante desarrollar una oferta de servicios especializados de ingeniería, evaluación de riesgos y protección ambiental que conduzca a la creación de empleos especializados y una mejor inserción en la cadena de suministro. México no debería dejar pasar esta oportunidad ni limitarse a ser un observador pasivo del cambio tecnológico que se avecina en la región.

La técnica del fracking: Se han realizado diversos estudios asociados principalmente a los temas de: uso de agua, uso de sustancias químicas y protección al medio ambiente.

Uso del agua: El tema del agua es uno de los puntos más controversiales en materia del shale gas, debido a que la cantidad de agua empleada en la fracturación oscila entre los 10,000 y 30,000 m³ por pozo.¹⁴ En este sentido, se debe considerar utilizar tecnología que permita el uso de aguas residuales o tratadas para el proceso de fracking, así como el reuso del agua en el mismo proceso, así como la introducción de tecnología más avanzada que elimine el uso intensivo del agua. Un programa de investigación en manejo integral del agua para fracking debe ser parte de la agenda de innovación a mediano plazo.

Uso de sustancias químicas: El uso de sustancias químicas contenidas en la mezcla utilizada para el fracking, ya que se asegura contamina los suelos y mantos freáticos, lo cual puede tener efectos negativos sobre la salud y las actividades económicas actuales de la región ligadas a la

¹⁴ Cabe resaltar que Coahuila es de los estados del norte del país que más carece de agua, por la falta de precipitación pluvial y la sobreexplotación de sus mantos acuíferos.

producción pecuaria. El reto tecnológico consiste en generar opciones de manejo seguro de químicos, remediación de sitios contaminados y mantener la disponibilidad de agua limpia para la población y el ganado. Uno de los participantes en los talleres organizados afirmó: “hay que hacer convivir la economía del subsuelo con aquella a ras del suelo”.

La protección al medio ambiente es uno de los desafíos más importantes a los que debe enfrentarse las autoridades de la entidad y demás actores que participan en el sector, ya que la explotación del shale gas y la protección del medio ambiente deben coexistir. Éstos no pueden ser casos aislados, dado que los recursos previstos en la región son de gran importancia para el crecimiento y desarrollo económico del estado, siempre y cuando puedan realizar ambas actividades de forma compatible.

Conclusiones

El sector de hidrocarburos no convencionales es un sector para el que México debe esforzarse profundamente en la generación de conocimiento, tecnología, formación de personal especializado, infraestructura, instalaciones y mantenimiento, inversión, etc., y en paralelo diseñar e implementar una política pública que combine su desarrollo de forma sustentable.

De tal suerte que, el sector del *shale gas* representa un reto para todo el sistema. Se estima que los planes de explotación para este sector es de alrededor de 60 años en la región noreste del país. Sin embargo, pese a las carencias que México enfrenta, también significa una ventana de oportunidad, por lo que la asimilación tecnológica y el desarrollo de tecnologías propias se observan como una fuente para su propio impulso, mismo que debe ser acompañado por: centros de desarrollo tecnológico en temas de geología, geoquímica e ingenierías; centros de monitoreo del medio ambiente; laboratorios de sustentabilidad; equipos en ingeniería alineados con el sector; centro de instalaciones e infraestructura; centros de adiestramiento y capacitación del recurso humano en el manejo y mantenimiento de tecnologías propias de las empresas locales, entre otros.

Pero una vez más, estamos hablando de crear todas estas condiciones en las que si existieran podría ser posible la producción de shale gas en México.

Como se puede observar, son muchos los requerimientos que se necesitan para implementar el desarrollo de un sector de este tipo, básicamente porque estamos hablando del bienestar físico de la población aledaña a la zona de producción, así como del ecosistema en general.

Es compleja la situación del país al ver por un lado que tenemos reservas importantes de shale gas, pero por otro, no contamos con la tecnología que haga más amigable su explotación, en este sentido, México como otras naciones, han modificado su leyes para incursionar en un tema que repercute en su medio ambiente, pero también en su economía, ya que la situación ambiental afecta directamente su sistema productivo. Además, son las empresas transnacionales las que tendrán mayores ventajas en el proceso de explotación, dado que cuentan con los avances tecnológicos, el personal calificado y los recursos necesarios para obtener los contratos para trabajar en la producción del shale gas. La colaboración constructiva con estas empresas para que

México pueda agregar y extraer mayor valor implica que se detone una política tecnológica activa orientada exclusivamente a este sector en esta región.

Por tanto, el papel de los hacedores de políticas públicas es crucial, pues deben tomar las mejores decisiones desde un ámbito integral, en el que se conjunten la participación e intereses de los actores, así como las innovaciones tecnológicas adecuadas para el desarrollo de sus sectores o economías de forma sustentable.

Referencias bibliográficas

- Barbosa, Fabio (2013), El petróleo en México. La privatización que no dice su nombre, Observatorio Latinoamericano de Geopolítica, IIEC-UNAM, México. Entrevista realizada por el Dr. Raúl Ornelas al Dr. Barbosa el 4 de marzo. <http://www.geopolitica.ws/article/el-petroleo-en-mexico-la-privatizacion-que-no-dice/>
- CIDAC (2013), 3 dilemas. Un diagnóstico para el futuro energético de México, Centro de Investigación para el Desarrollo, Red Mexicana de Competencia y Regulación, México, http://cidac.org/esp/uploads/1/3Dilemas_FuturoEnergetico16.pdf
- COMIMSA (2013), Fracturación de pozos para extracción de gas, México, Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
- CNH (2014a). Reporte de Volumen Original, Producción Acumulada y Reservas al 1° de enero de 2015, Comisión Nacional de Hidrocarburos: http://www.cnh.gob.mx/_docs/Reservas/Reporte_reservas_agregada_activo_2014.pdf
- _____ (2014b), Seguimiento a la exploración y extracción de aceite de lutitas, Comisión Nacional de Hidrocarburos: http://www.cnh.gob.mx/_docs/Aceite_gas_lutitas/Ficha_Shale_Gas_Junio_2014.pdf
- _____ (2011), La tecnología de exploración y producción en México y en el mundo: situación actual y retos, México, SENER, http://www.cnh.gob.mx/_docs/dt2_tecnologia.pdf
- EIA (2013), Recursos de shale gas en el mundo, Departamento de Energía de Estados Unidos. <http://informe21.com/agencia-internacional-energia>
- _____ (2012), Estrategia Nacional de Energía 2012-2026. Secretaría de Energía, México, http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/ENE_2012_2026.pdf
- _____ (2011), Perspectiva anual de energía 2011, Agencia Internacional de Energía, Departamento de Energía de Estados Unidos [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2011).pdf)
- Estrada, Javier (2013), Desarrollo del gas lutita (shale gas) y su impacto en el mercado energético de México: reflexiones para Centroamérica, Cepal y Cooperación Alemana DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/51438/Desarrollodelgaslutita.pdf>
- Garza, A. (2014), Gas de Lutitas. Prospectiva en México. Documento de trabajo para los talleres de consulta para la Agenda Sectorial de innovación de Hidrocarburos en Coahuila, Cambiotec, A.C., México, D.F.
- Hughes GSR Inc. (2014), Actual Gas Shale production.
- Lajous, A. (2012), Nuevas perspectivas del gas natural en México, Foro Internacional 209, LII(3): 658-694, http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/922XDSQ3P14H6N25RLU2SN48V81KHQ.pdf
- Muciño, Francisco (2013), Reforma energética se olvida del gas shale?, Revista Forbes, México, 04 de agosto. <http://www.forbes.com.mx/sites/gas-shale-el-otro-dilema-de-la-reforma-energetica/>
- PEMEX (2014), *Reforma Energética en México y PEMEX como Empresa Productiva del Estado*, México, PEMEX, SENER.

- Pérez, Lucía (2014), “Coahuila con déficit de 26 mil profesionistas para gas shale”, México, *El Siglo*, 14 de noviembre, <http://elsiglodocoahuila.com.mx/noticia/28646.coahuila-con-deficit-de-26-mil-profesionistas-para-gas-shale.html>
- ProMéxico [2015], *Mapa de inversión*, México, Secretaría de Economía, http://mim.promexico.gob.mx/Documentos/PDF/mim/FE_COAHUILA_vf.pdf
- Railroad Commission Texas (2014), Eagle Ford Shale Information. <http://www.rrc.state.tx.us/oil-gas/major-oil-gas-formations/eagle-ford-shale/#general>
- Rodríguez, I. (2011), Pemex no tiene recursos ni capacidad para explotar el shale gas. *La Jornada*, 8 de noviembre, <http://www.jornada.unam.mx/2011/11/18/economia/029n1eco>
- Schumberger (2011), “Shale Gas Production Decline Trend Comparison over time and Basins”, SPE Internacional.
- SENER (2013a), *Prospectiva de gas natural y gas LP 2013-2027*, México, Secretaría de Energía, http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_Gas_Natural_y_Gas_LP_2013-2027.pdf
- _____ (2013b), Fondo Sectorial CONACYT - SENER – Hidrocarburos (FH). Recuperado el 23 de abril de 2015, <http://fondohidrocarburos.energia.gob.mx/porta/DefaultH.aspx?id=2496>
- _____ (2013c), Fondo de Hidrocarburos. Informe Cero, SENER, México, http://fondohidrocarburos.energia.gob.mx/res/Libro_Hidrocarburos_VP18.pdf
- _____ (2012), ¿Qué es el Shale/Gas Oil y cuál es su importancia?, recuperado el 30 de febrero de 2015, de sitio web de SENER. Secretaría de Energía.: http://www.energia.gob.mx/webSener/shale/shale_sp.html
- _____ (2011), Balance Nacional de Energía, México, Secretaría de Energía.
- UAN (2014), El shale gas y el fracking, *Ciencia*, 17(67), mayo-junio.
- Vielma, Luis (2012), Shales: la nueva frontera de los hidrocarburos II, *Global Energy*, junio. http://www.cbmx.com.mx/articulos/articulo_junio2012.pdf
- Valdés, Luis (2014), “Gas shale incentiva nuevas carreras en la UA deC”, México, *Milenio*, 28 de febrero, http://www.milenio.com/negocios/Reforma_Energetica-gas_shale-UAdC-geologos-Conacyt_0_253774835.html
- Villavicencio, Daniel; Jorge Carrillo; Ismael Plascencia; y Saúl de los Santos [2012], *Sonora: Ecosistema de Innovación*, México, FRONCYTEC, COLEF, CONACYT.
- WEC (2013), Recursos Energéticos Globales. Encuesta 2013: Resumen. World Energy Council. Recuperado el 25 de abril de 2015, de World Energy Council: <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/Traduccion-Estudio-Recursos-Energeticos1.pdf>