



INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

El fascinante mundo **de los yacimientos no convencionales y la protección al ambiente**

Miguel Ángel Aguilar Ramírez





El fascinante mundo
de los yacimientos
no convencionales y la
protección al ambiente



México

Diseño:

Luis Enrique Ramírez Juárez

Arte e ilustraciones:

Irán Yamil Meléndez López

Se agradece la asesoría y supervisión de:

Dra. María del Carmen Rodríguez Hernández,

Mtro. Ricardo Torres Vargas

por sus comentarios, observaciones y sugerencias.

El fascinante mundo de los yacimientos
no convencionales y la protección al ambiente

1a. edición, México, 2016

D.R. © 2016, Instituto Mexicano del Petróleo

Eje Central Lázaro Cárdenas Norte No. 152,

Col. San Bartolo Atepehuacan

Delegación Gustavo A. Madero,

07730 México, D.F.

ISBN: 978-607-7524-07-6

Todos los derechos reservados sobre la obra y sus características editoriales, queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, la fotocopia o la grabación, sin la previa autorización por escrito de los titulares de los derechos, conforme a la Ley Federal del Derecho de Autor.

Impreso y hecho en México/Printed and made in Mexico

GEM Digital, S.A. de C.V.,

Hermenegildo Galeana 113 D

Col. Guadalupe del Moral

09300 Ciudad de México.

Tel: 5556949494

ÍNDICE

4	Presentación
7	I. ¿Qué son los yacimientos no convencionales?
12	II. Cómo nacen los yacimientos no convencionales
17	III. Perforación horizontal
23	IV. Fracturamiento hidráulico
28	V. México y los yacimientos no convencionales
30	VI. Otras experiencias en el mundo
35	VII. Energías renovables
38	VIII. Protección al ambiente

Presentación

... *H*abía leído en el libro de Julio Verne que el científico islandés realizó un viaje al Centro de la Tierra y había regresado como si nada, por supuesto no lo creí, me parecía imposible. Pero yo, aunque imaginariamente, también había hecho ese viaje, debo aceptar que no regresé como si nada, muy al contrario, volví con muchos conocimientos enseñados por mi gran amigo Petro, pero sobre todo, con el gusanito de seguir aprendiendo, aún más, acerca de El fascinante mundo de los yacimientos petroleros. (Final del libro *El fascinante mundo de los yacimientos petroleros*).

Esa noche dormí espléndidamente, no sin antes haber terminado de leer *Viaje al Centro de la Tierra*, en mis sueños volví a recorrer todo lo que había vivido y aprendido con *Petro*, esa experiencia padrísima de saber cómo se forman los yacimientos petroleros.

Me levanté muy temprano, me bañé, y alcancé a mis papás en el comedor para desayunar juntos, les platicué dónde había andado el día anterior, de cómo había conocido a *Petro* y todo lo que él me había enseñado. Se voltearon a ver entre sí, moviendo las cabezas incrédulos, mi papá le guiñó un ojo a mamá y fue él quien habló:

–Nos parece muy bien que aproveches los días de vacaciones para leer y aprender cosas, aunque no sepamos en dónde hayas leído esto que nos platicas, pero eso no importa, ya nos lo contarás con lujo de detalles hoy en la noche que regresemos, ¿estás de acuerdo Axel?

–Papá, mamá, ya se los dije, me lo enseñó *Petro*.

–Correcto, –ahora fue mamá quien habló– también nos platicarás acerca de él, y puede ser que ahora en vacaciones lo invitemos a merendar, ¿te parece?, concluyó, mientras le regresaba el guiño a papá.

–Creo que no me creen, pero



cuando regresen los convenceré de cómo sucedieron las cosas.

–Así será, ya en la noche nos platicarás, ven, danos un beso de despedida y recuerda, pórtate bien, te quedas a cargo de la casa –acabaron diciendo mis padres al mismo tiempo.

–Que les vaya bien, ¿hoy es el último día que trabajan, verdad?

–Hoy es el último, probablemente lleguemos más temprano que de costumbre –dijeron y cerraron la puerta.

En cuanto lo hicieron, automáticamente regresé al librero y comencé a buscar *algo*, sin saber bien a bien ¿qué era? Mis ojos se posaron en el lomo de otro libro y leí: *Alicia en el país de las maravillas* de *Lewis Carroll*, lo abrí y ahí mismo comencé a leerlo, recién empezaba el libro cuando me sorprendió el siguiente texto:

“...cuando de pronto saltó cerca de ella un Conejo Blanco de ojos rosados.

No había nada muy extraordinario en esto, ni tampoco le pareció a Alicia muy extraño oír que el conejo se decía a sí mismo: «¡Dios mío! ¡Dios mío! ¡Voy a llegar tarde!». (Cuando pensó en ello después, decidió que, desde luego, hubiera debido sorprenderla mucho, pero en aquel momento le pareció lo más natural del mundo). Pero cuando el conejo se sacó un reloj de bolsillo del chaleco, lo miró y echó a correr, Alicia se levantó de un salto, porque comprendió de golpe que ella nunca había visto un conejo con chaleco, ni con reloj que sacarse de él y, ardiendo de curiosidad, se puso a correr tras el conejo por la pradera, y llegó justo a tiempo para ver cómo se precipitaba en una

madriguera que se abría al pie del cercado.

Un momento más tarde, Alicia se metía también en la madriguera, sin pararse a considerar cómo se las arreglaría después para salir.

Al principio, la madriguera del conejo se extendía en línea recta como un túnel, y después se



torció bruscamente hacia abajo, tan bruscamente que Alicia no tuvo siquiera tiempo de pensar en detenerse y se encontró cayendo por lo que parecía un pozo muy profundo.

O el pozo era en verdad profundo, o ella caía muy despacio, porque Alicia, mientras descendía, tuvo tiempo de más para mirar a su alrededor y para preguntarse qué iba a suceder después. Primero intentó mirar hacia abajo y ver a dónde, iría a parar, pero estaba todo demasiado oscuro para distinguir nada.”

Acto seguido, se abrió un agujero en el suelo y yo también comencé a descender, pero contrariamente a Alicia yo sí pude distinguir algo, más bien a alguien, sí, atinaron, era mi gran amigo *Petro*, me incorporé y lo saludé chocando los cinco, después cerramos las manos y nos pegamos con el puño.

–¿Pero qué estás haciendo por acá?, querido Axel.

Le platicué del asunto de *Alicia en el país de las maravillas* y de cómo me había llamado la atención el pasaje que había leído.

–Y ya ves, nuevamente ando por acá. Así que quiero aprovechar para que me cuentes algo que ayer quedó pendiente.

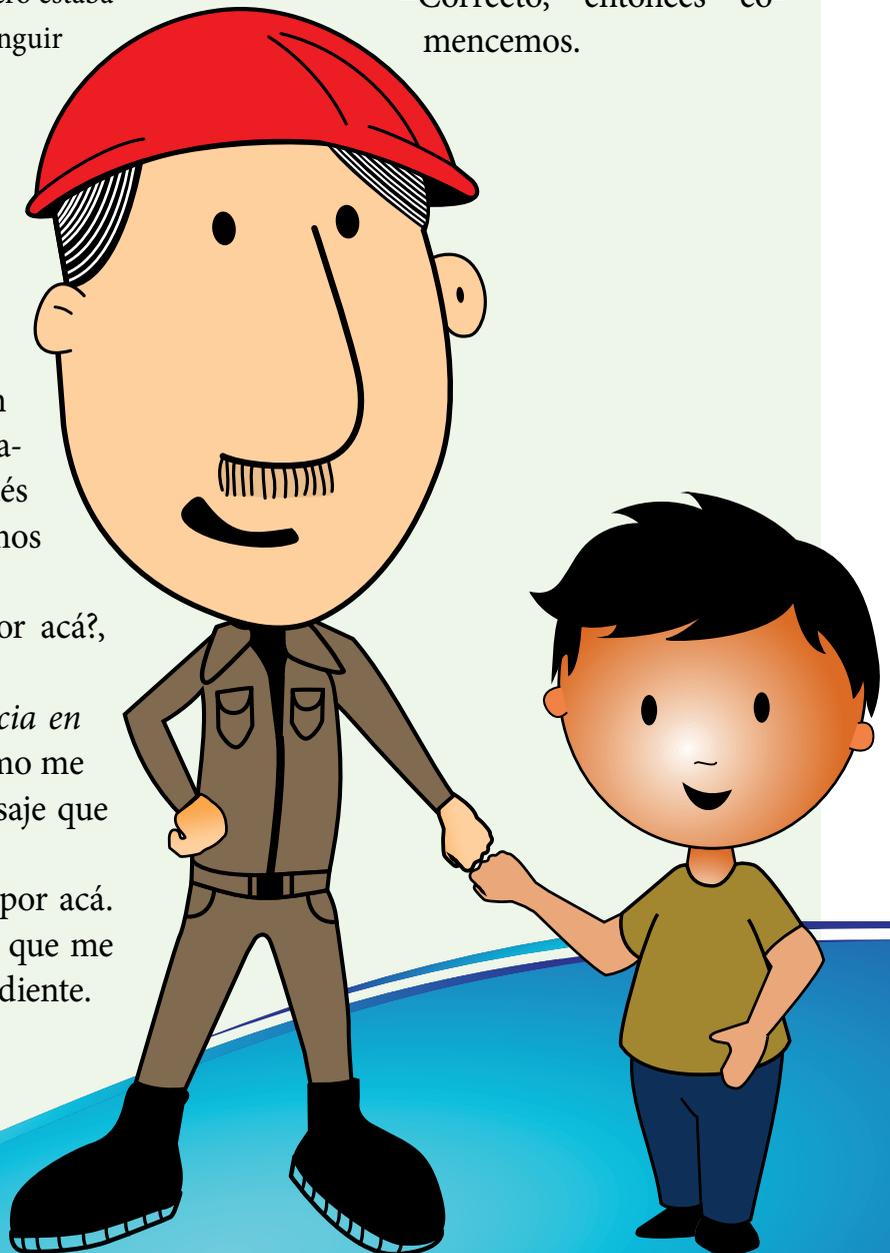
–¿En verdad te acuerdas, Axel?

–Por supuesto que sí. Así que hoy me enseñarás acerca de *El fascinante mundo de los yacimientos no convencionales y la protección al ambiente*. ¿Te parece?

–Ya lo creo que sí. Pero recuerda que debemos de comenzar a bajar. ¿No estás cansado de todo lo que recorrimos ayer?

–Para nada *Petro*, para nada.

–Correcto, entonces comencemos.



I. ¿Qué son los yacimientos no convencionales?

—Como te platicué Axel, los yacimientos convencionales deben tener una serie de **elementos** y **procesos**, y los cuales deberán estar en **sincronía**. ¿Te acuerdas?



—Por supuesto *Petro*, pues si apenas me lo enseñaste ayer. Los elementos son: roca madre, roca almacén, roca sello y trampa; y los procesos: generación, migración local de hidrocarburos, y almacenamiento, entrapamiento, y acumulación.

—Perfecto Axel, así las cosas, si llegara a faltar alguno de estos elementos, entonces tendríamos que hablar que estamos en presencia de un yacimiento no convencional, éste debe ser estudiado y explotado con técnicas diferentes a las utilizadas para los yacimientos convencionales. Más adelante te las explicaré a detalle, pero estas son: la Perforación horizontal y el Fracturamiento hidráulico

—Te preguntarás ¿cómo fue que encontraron yacimientos no convencionales o por qué los buscaron? Te respondo, el declive de la producción de petróleo y gas en los ya-

cimientos convencionales en todo el mundo generó la necesidad de buscar otras alternativas. Y ahora se dice que en el futuro cercano, los sistemas *no convencionales* van a determinar las reservas de hidrocarburos de la humanidad.

—Desde hace ya unos cuatro o cinco años en Estados Unidos de Norteamérica se explotan los yacimientos no convencionales en gran escala, pues el precio para hacerlo era menor, pero te repito, los investigadores han detectado que las reservas en los yacimientos no convencionales son varias veces mayores que las reservas probadas de gas convencional en el planeta; además de que los Estados Unidos de Norteamérica cuenta con las tecnologías para la extracción de dichos recursos. Sin embargo, el resto del mundo no se ha quedado atrás y ya ahora se comienza a tratar su explotación comercial.

—O sea *Petro*, ¿que los yacimientos no convencionales son una alternativa?

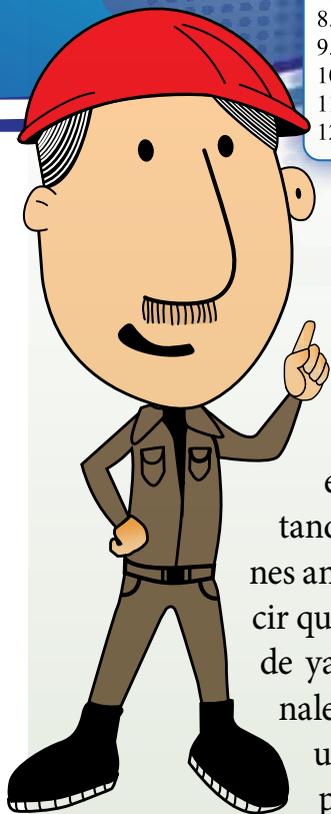
—Así es, y la principal razón por la cual comenzaron a explotar, a gran escala esos yacimientos, fue debido al alto precio del gas



OPEP

ORGANIZACIÓN DE
PAÍSES EXPORTADORES
DE PETRÓLEO

- 1.- Irak
- 2.- Iran
- 3.- Emiratos Árabes Unidos
- 4.- Qatar
- 5.- Kuwait
- 6.- Arabia Saudita
- 7.- Libia
- 8.- Argelia
- 9.- Nigeria
- 10.- Angola
- 11.- Venezuela
- 12.- Ecuador



en el año 2008 y a la necesidad de producir gas y petróleo de ellos, puesto que las áreas de exploración para los yacimientos convencionales ya se estaban agotando o limitando en su acceso por razones ambientales. Podríamos decir que el auge de la explotación de yacimientos no convencionales, el cual, ha producido una actividad enorme de perforación y explotación, se debe en parte, a que en

aquellos años los precios de los crudos oscilaban a más de los noventa dólares por barril. Pero hoy ya no es una razón de peso.

–¿Y cómo les va a los otros países del mundo? –pregunté mientras recorría aquel paisaje que cada vez se me hacía más familiar.

–En el resto del mundo se ha tratado de usar este modelo, para así comenzar con la explotación de este tipo de yacimientos.

Sin embargo, debemos recordar que en la mayoría de los países que tienen enormes reservas de hidrocarburos en yacimientos convencionales no se han acabado de explotar y por consiguiente hay todavía mucho potencial para encontrar hidrocarburos comerciales en estos reservorios convencionales. Así las cosas, los países de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo), entre otros como: Arabia Saudita, Irán e Irak, y quienes no están en la OPEP como Rusia y México tienen todavía mucho potencial para explotar yacimientos convencionales. En estos países la exploración y explotación la hace básicamente la empresa del Estado, aquí en México es Pemex.

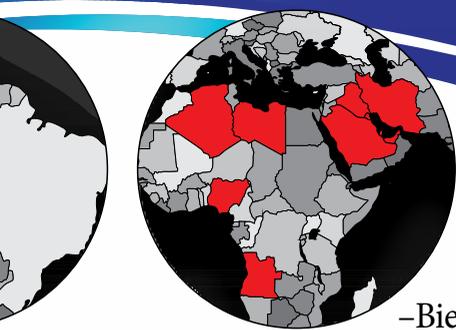
–Vamos a recapitular mi querido Axel, –dijo *Petro* con alguna mueca de duda en su cara–. Trataré de explicarte las diferencias y similitudes de los dos tipos de yacimientos (convencionales y no convencionales), si tienes dudas, me preguntas, ¿va?

–Va. Me parece.

–La roca generadora o madre es necesaria en ambos para que puedan acumular hidrocarburos.

–Así es –dije– y asentí con la cabeza.

–La roca almacén, como te expliqué ayer, es igual en ambos, aunque en los yacimientos no convencionales se pueden incluir a



las lutitas, margas, mantos de carbón, a las areniscas y calizas.

–Bien, bien, te entiendo.

–Veamos las trampas, en los yacimientos convencionales son críticas para el éxito del Sistema petrolero, pues necesitamos una trampa estructural, una estratigráfica o combinada para poder almacenar los hidrocarburos, ¿recuerdas? Mientras que para los no convencionales, éstas están completamente limitadas a dónde se encuentra la distribución de la roca madre, y sobretodo, supeditados mayormente a la calidad de la misma. En estos yacimientos el gas está dentro de los poros y de la matriz, y por lo tanto, la trampa en el sentido clásico no existe. Asimismo, la extensión física de la trampa es más grande en los yacimientos no convencionales que en los convencionales.

–Petro, vas muy bien, continúa, voy entendiendo perfectamente, –le dije mientras lo tomaba de la mano.

–Con más de 10% de porosidad se considera yacimiento convencional, con menos es no convencional. De igual manera, la permeabilidad es mayor en los yacimientos convencionales.

–Sigue, sigue.

–La roca sello, en los convencionales, se necesita forzosamente para impedir el escape de los hidrocarburos. En los no convencionales, los hidrocarburos atrapados no podrán salir, al menos que sean estimulados de alguna forma, por

ejemplo, cómo te dije hace un rato: a través del Fracturamiento hidráulico o *fracking*.

–¿Qué más?

–En los no convencionales, la migración ya no es tan importante o no se toma en cuenta. Pues estos yacimientos los encontramos directamente en la roca madre, es decir, no se considera la migración a distancia. Asimismo, y generalmente, hay una muy reducida producción de agua o ninguna.

–Mira, sigo aprendiendo, ¿y ahora continúa?

–En los yacimientos no convencionales, la gran mayoría de los pozos deben ser horizontales, de ahí que se necesite la Perforación horizontal. Aunque en los convencionales se perforan pozos mayormente

Sabías que... Una de las trampas convencionales más grandes del mundo, en cuanto a superficie, es el yacimiento de Ghawar en Arabia Saudita que tiene una extensión aproximada de 322,248 metros de largo por 29,632 metros de ancho, o sea que cubre una extensión de 9 mil millones 548 millones 852 mil 736 metros cuadrados. Y que en el sentido amplio se puede considerar que los yacimientos no convencionales cubren la totalidad de las cuencas hidrocarburíferas donde se encuentre la roca madre en el subsuelo





verticales, se han perforado pozos horizontales. También debes de aprender que el agotamiento de los pozos de gas de yacimientos no convencionales muchas veces es, anualmente, de 35%, mientras que el de los convencionales es de 20%. Por ese motivo hay que perforar, en proporción, más pozos en éstos que en aquéllos.

–Espero que ya me expliques lo de la Perforación horizontal y el Fracturamiento hidráulico.

–Claro, no comas ansias. Mientras te hablaré de las reservas o recursos, las de los yacimientos convencionales ya las conoces. En el caso de yacimientos no convencionales, sólo se tiene información, de producción masiva, a partir de poco más de quince años. En este tipo de yacimientos si no se continúa con un plan agresivo de perforación de pozos para mantener la producción, ésta, sin remedio bajará en corto tiempo. Pues si hablamos de productividad, los convencionales son mucho más productivos, diariamente, que los no convencionales.

–Petro, ¿cuál es la diferencia en costos de uno y otro yacimiento?

–Buena pregunta Axel. Te respondo:



–Los costos de perforación, pensando que sólo se perfore en tierra, son más o menos iguales en ambos tipos de yacimientos. Sin embargo, en los yacimientos no convencionales los costos aumentan bastante debido al Fracturamiento hidráulico. Pero, en yacimientos convencionales los costos de las operaciones de perforación, explotación y producción son bastante superiores en el ambiente de aguas profundas. Este es el caso de las aguas profundas del Golfo de México o de Brasil. Además, no se consideran yacimientos no convencionales en el mar. ¿Está claro?

–Creo que sí. Sino, más adelante te pregunto, ¿de acuerdo? –dije mientras le solta-

ba la mano y le tomaba la otra-. Pero una cosa sí me está quedando clara: la explotación de estos recursos energéticos, se ha ido volviendo más complicada, pues se ha explotado mucho petróleo fácilmente, y ahora que éste está en lugares cada vez más remotos o de difícil acceso, como es el caso de los campos petroleros marinos, especialmente en aguas profundas, ¿pues ya me contarás?

-Has entendido muy bien Axel. Ahora la exploración para la localización de yacimientos de hidrocarburos se realiza en lugares más remotos, de difícil acceso y bajo condiciones de trabajo más difíciles, o bien, nuestros científicos se enfrentan el reto de intentar localizar yacimientos más pequeños y dispersos. Por ejemplo, en aguas profundas y ultra-profundas, yacimientos altamente distintos, yacimientos sub-salinos o yacimientos no convencionales, entre otros. De ahí que nuestros investigadores, tanto de Pemex como del Instituto Mexicano del Petróleo, conocido también como IMP contribuyan en el desarrollo

de nuevas investigaciones y tecnologías para la exploración, explotación y protección al ambiente para los yacimientos no convencionales. También buscan aplicar y aprovechar las tecnologías más nuevas, las cuales han sido utilizadas y probadas en otros campos petroleros del mundo, y las tecnologías que no existan, tratar de desarrollarlas, lo cual permitirá explotar eficientemente los campos de aceite cada vez más pesado, el de los yacimientos no convencionales, como es el caso de Chicontepec en Veracruz, del que ya te he platicado, de esa manera se incrementaría la productividad de los pozos y se aumentaría la recuperación final en todos los yacimientos. Ilustración de una plataforma en medio del mar.

-O sea, *Petro*, que: ¿los hidrocarburos de yacimientos no convencionales, mis *nuevos amigos*, el petróleo y el gas, son más difíciles y complicados de extraer que los hidrocarburos de yacimientos convencionales?

-Pues sí Axel, en pocas palabras es eso.



II. *Cómo nacen los yacimientos no convencionales*

—Axel, cuando hablemos de hidrocarburos o gas no convencionales y de hidrocarburos convencionales, me estoy refiriendo a los productos que salen de los yacimientos no convencionales y los convencionales, ¿me entiendes, verdad?

—Claro que sí, *Petro*.

—Entonces continúo. Éstos son en su composición y en su genética idénticos, sólo se diferencian, como ya te expliqué hace un rato, en que los convencionales han migrado a una roca almacén y los no convencionales permanecen en la roca madre donde se generaron (*Shale oil* y *Shale gas*) o han migrado a rocas reservorio muy compactas (*Tight gas*). Así las cosas, las rocas generadoras y las rocas compactas (*Tight*) que contienen hidrocarburos se denominan yacimientos no convencionales.

—Entonces ¿me estás tratando de decir que los yacimientos convencionales y no convencionales nacen igual?

—Así es. Y termino diciéndote que no se ha establecido una definición más precisa del gas producido por los yacimientos no convencionales que la aportada por el *National Petroleum Council* de los Estados Unidos, el cual define al gas no convencional como: “Aquel gas natural que no puede ser producido en caudales y volúmenes económicos a menos que el pozo sea estimulado mediante Fracturamiento hidráulico a gran escala o recurriendo a la Perforación horizontal desde un pozo principal u otra técnica que haga entrar en contacto más superficie de la roca con el pozo”. Por lo cual puedes ver que esa es la diferencia más significativa.

—Correcto *Petro*.

Principales tipos de yacimientos no convencionales

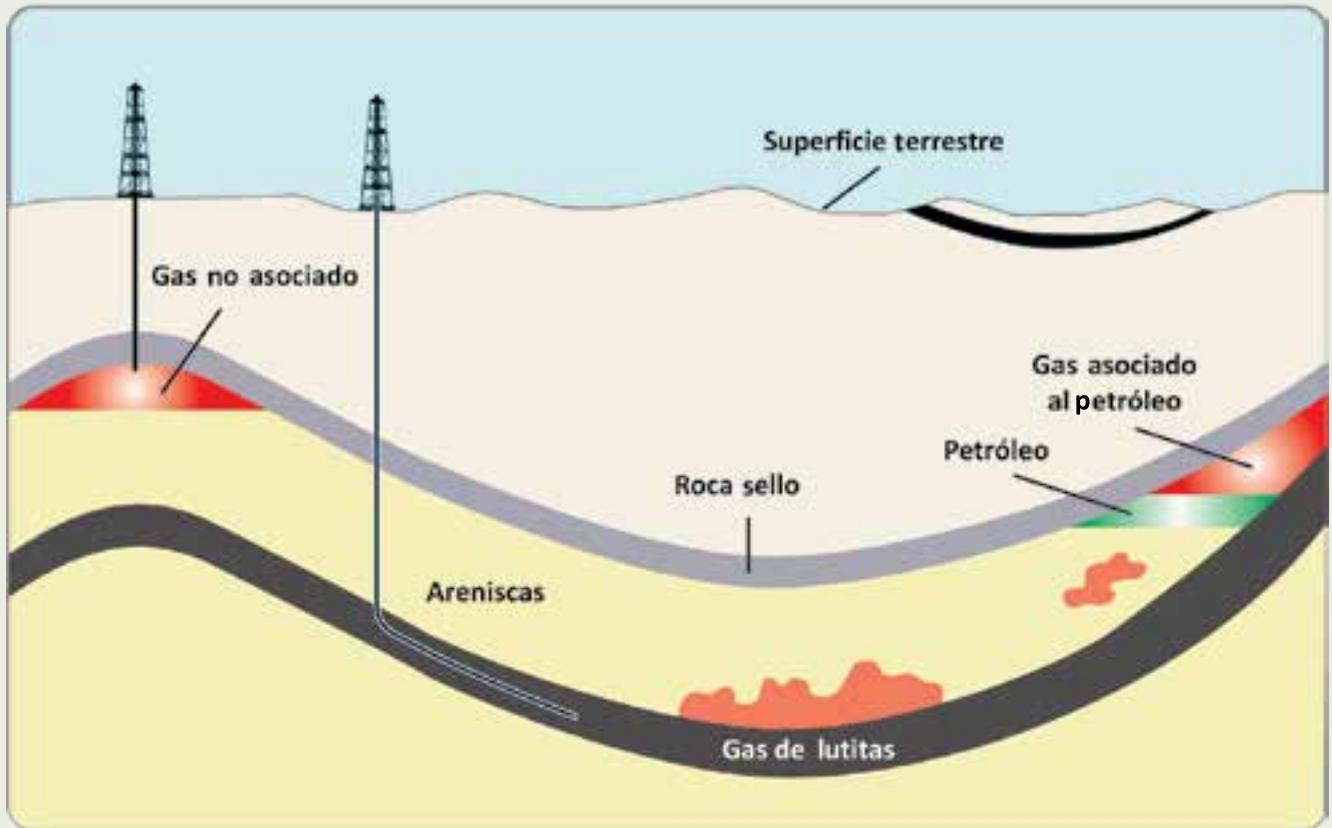
—Pasemos ahora a conocer los distintos tipos de yacimientos no convencionales, ¿te parece Axel?

—Me parece

—El primero es el *Gas Shale*, en un yacimiento no convencional del tipo *Gas Shale* (rocas ricas en materia orgánica, rocas ge-



LOCALIZACIÓN DEL GAS DE LUTITAS



Fuente: US. Energy Information Administration

neradoras con permeabilidad muy baja, que contienen gas), el hidrocarburo se encuentra de tres maneras:

Como *gas libre en los poros*, espacios abiertos de la roca.

Como *gas adsorbido*, o sea que no está fijo, en los granos minerales y fundamentalmente en la materia orgánica (querógeno y/o bitumen) que contiene la roca.

Como *gas disuelto* en la materia orgánica contenida en la roca.

–Axel, seré reiterativo, el *Gas Shale* se define como un yacimiento no convencional debido a que la roca generadora funciona también como roca almacén, a diferencia de los yacimientos convencionales que se encuentran separadas, este tipo de yacimientos

se localizan en cuencas sedimentarias a condiciones de presión y temperatura elevadas lo que ocasiona la transformación de la materia orgánica en hidrocarburo, es un tipo de gas alojado en rocas de formaciones de lutitas, el cual requiere, para su explotación, entre otras, de técnicas de Perforación horizontal, técnicas de Fracturamiento hidráulico y grandes volúmenes de agua.

–Petro, ¿ya mero me explicas lo de la Perforación horizontal y el Fracturamiento hidráulico?

–Te repito, no comas ansias, vamos paso por paso.

–El segundo tipo de yacimiento no convencional es el de *Metano ligado a bancos de carbón (Coal bed methane)*. Se trata de gas ad-

herido a las superficies de la materia orgánica blanda que se encuentra en bancos masivos de carbón en profundidad. Esto es el gas natural, metano, asociado a las capas de carbón. El gas se encuentra retenido en fracturas y, fundamentalmente, adsorbido en la matriz de la roca (carbón).

–Axel te contaré qué ha hecho nuestro país a este respecto. La Secretaría de Energía (Sener) en coordinación con Petróleos Mexicanos (Pemex) y el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), plantearon la necesidad de evaluar el potencial de gas natural almacenado en depósitos de hidratos de metano localizados en aguas mexicanas del Golfo de México y del Océano Pacífico, con el objetivo de definir si México es un potencial productor de gas a partir de dichos depósitos y

Podemos concluir que...

- ✓ Hay una demanda creciente de energía primaria.
- ✓ Los hidrocarburos de yacimientos no convencionales representan recursos importantes.
- ✓ La mayoría de los hidrocarburos no convencionales se diferencian de los convencionales por una permeabilidad baja de la roca almacén.
- ✓ El Fracturamiento hidráulico permite producir los yacimientos no convencionales pero con un costo más elevado que para los hidrocarburos convencionales.
- ✓ Los estudios técnicos y científicos indican que la explotación de gas no convencional por Fracturamiento hidráulico es viable, pero debe hacerse muy bien, por los riesgos que conlleva.

eventualmente fijar la estrategia que permita su explotación. Fue en marzo de 2007 que oficialmente se definió el inicio del proyecto con una duración hasta el 31 de diciembre de 2007 para una primera etapa. Se consideró el desarrollo de una serie de proyectos divididos en dos aspectos principales: asimilación tecnológica y aspectos operativos. Los temas operativos serían dirigidos por Pemex Exploración–Producción y la asimilación tecnológica a cargo del Instituto Mexicano del Petróleo, a través de un proyecto denominado *Los sistemas de hidratos de metano en la parte mexicana del Golfo de México: origen, distribución y potencial*.

–¿Cómo ves? Nuestros investigadores siguen trabajando.

–Ya lo creo.

–Continúo. Los objetivos consistían en entender y establecer los modelos de hidratos de metano presentes en la parte mexicana del Golfo de México con el fin de evaluar su potencial comercial futuro. Estos objetivos estaban enfocados principalmente a la adquisición de estrategias y tecnologías necesarias para la identificación, caracterización y cuantificación de los recursos provenientes de hidratos de metano y dada la complejidad y diversidad de este tipo de sistemas, se consideró la colaboración de otras instituciones tanto nacionales como extranjeras.

–¡Qué interesante, *Petro!*

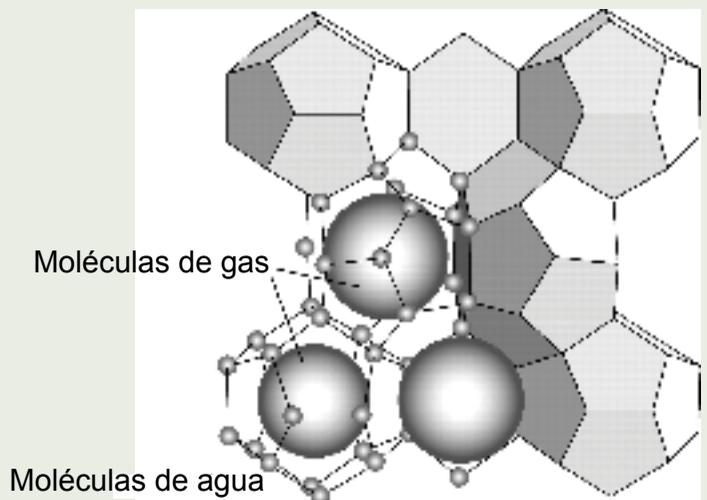
–Pero pasemos a otros tipos de yacimientos no convencionales, uno es el *Gas de centro de cuenca (Basin-centered gas)*. Se trata de acumulaciones de gas ubicadas en profundidades mayores a 3500 metros y en presiones extremas. Y el otro, *Hidratos de gas (Gas hydrate)*,



Sabías que... el primer pozo comercial de gas de lutitas se perforó en Fredonia, estado de Nueva York en 1821. Es hasta finales de los años setenta, principios de los ochenta (del siglo pasado) que, por reducciones de los recursos gaseros en los EUA el gobierno patrocinó estudios para estimar las reservas de gas no convencional y para mejorar los métodos para extraer el gas de este tipo. En los ochenta y principios de los noventa se logra extraer gas de la formación Barnett de manera comercial.

el cual se trata de un material parecido al hielo, compuesto por moléculas de agua en estado sólido, cuya estructura cristalina atrapa una molécula de gas metano. El gas de este tipo proviene de la descomposición de los microbios de la materia orgánica. Se cree que las reservas de gas en forma de hidratos congelados son enormes, incluso que duplican a todas las reservas conocidas de gas y petróleo del mundo. Los hidratos de gas se encuentran en los fondos oceánicos y en menor medida en suelos congelados en zonas árticas.

-Para redondear la explicación mi querido Axel, te diré que: en particular, *petróleo o gas de esquisto (Shale-Oil y Shale-Gas)*, es el nombre que se da a los reservorios en los que los niveles de la roca generadora o roca madre, son ricos en materia orgánica, y en donde ésta sufrió los procesos físico-químicos para convertirse en hidrocarburos, pero no llegó a darse ningún tipo de migración. El hidrocarburo, petróleo o gas, sigue atrapado



Entérate que...

De acuerdo con la Administradora de Información Energética de Estados Unidos (EIA, por sus siglas en inglés), la producción de gas de lutitas continuará creciendo en los próximos años y se espera que para el año 2035 pudiera aportar cerca de 45% de la producción total de los EUA.

en forma de gotas microscópicas dentro de la roca madre. Hay una variación de este tipo de yacimientos denominada *Tight Gas* (literalmente *Gas apretado*) en los que el gas queda atrapado en un tipo de roca que no se puede considerar reservorio al no tener permeabilidad y que, al igual que el *Gas Shale*, sólo puede ser explotado mediante el Fractuamiento hidráulico. ¿Con esto te queda claro?

-Clarisisísimo y sólo para no *regarla*: ¿el yacimiento no convencional no es lo mismo que *Gas Shale*?

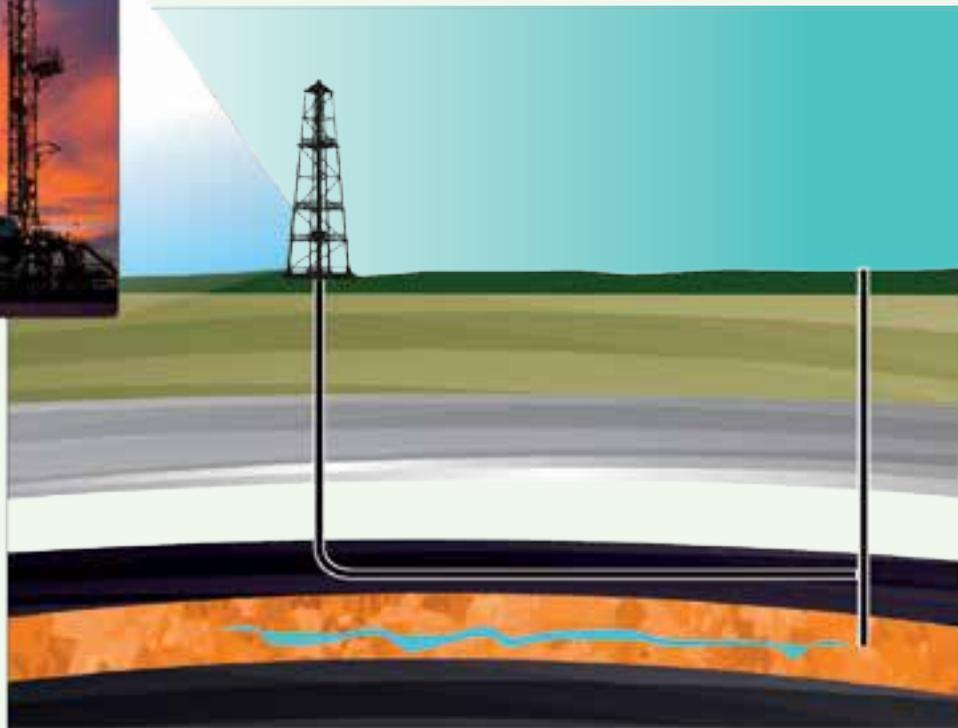
-No; *Shale* es un tipo de yacimiento no convencional, entre los otros que ya te mencioné.



III. Perforación horizontal



TECNOLOGÍA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL



—Bueno Axel, ahora sí llegamos a la explicación de lo que son la Perforación horizontal y el Fracturamiento hidráulico, ¿listo?

—Por supuesto, comienza por favor.

—Muy bien, pues te diré que la Perforación horizontal combinada con el Fracturamiento hidráulico a grandes profundidades, es una técnica agresiva usada para explotar las últimas reservas de gas natural. Son tecnologías complejas y costosas, y la extracción es menos rentable que en las reservas que se explotan convencionalmente, por ello, debemos

de estudiar sus consecuencias sobre el medio ambiente, la gente y las reservas de agua dulce. En la Unión Europea se está empezando ahora a considerar la explotación de recursos fósiles no convencionales mediante estas tecnologías. En varios países, como Francia, Alemania o Gran Bretaña, ya se cuestiona la legitimidad de esas técnicas que, para alargar la vida de recursos que de todos modos están inexorablemente destinados a agotarse, ponen en grave peligro el suministro de otro recurso realmente indispensable: el de agua dulce. Aquí en México, tanto las Secretarías

de Energía (Sener), de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), como Pemex y el IMP, están trabajando acerca de los lineamientos a seguir para la protección del medio ambiente pues para todas esas instituciones es primordial salvaguardar el ambiente en donde vivimos, de ahí que se esté actuando con total responsabilidad en la explotación de los yacimientos no convencionales. Ya verás

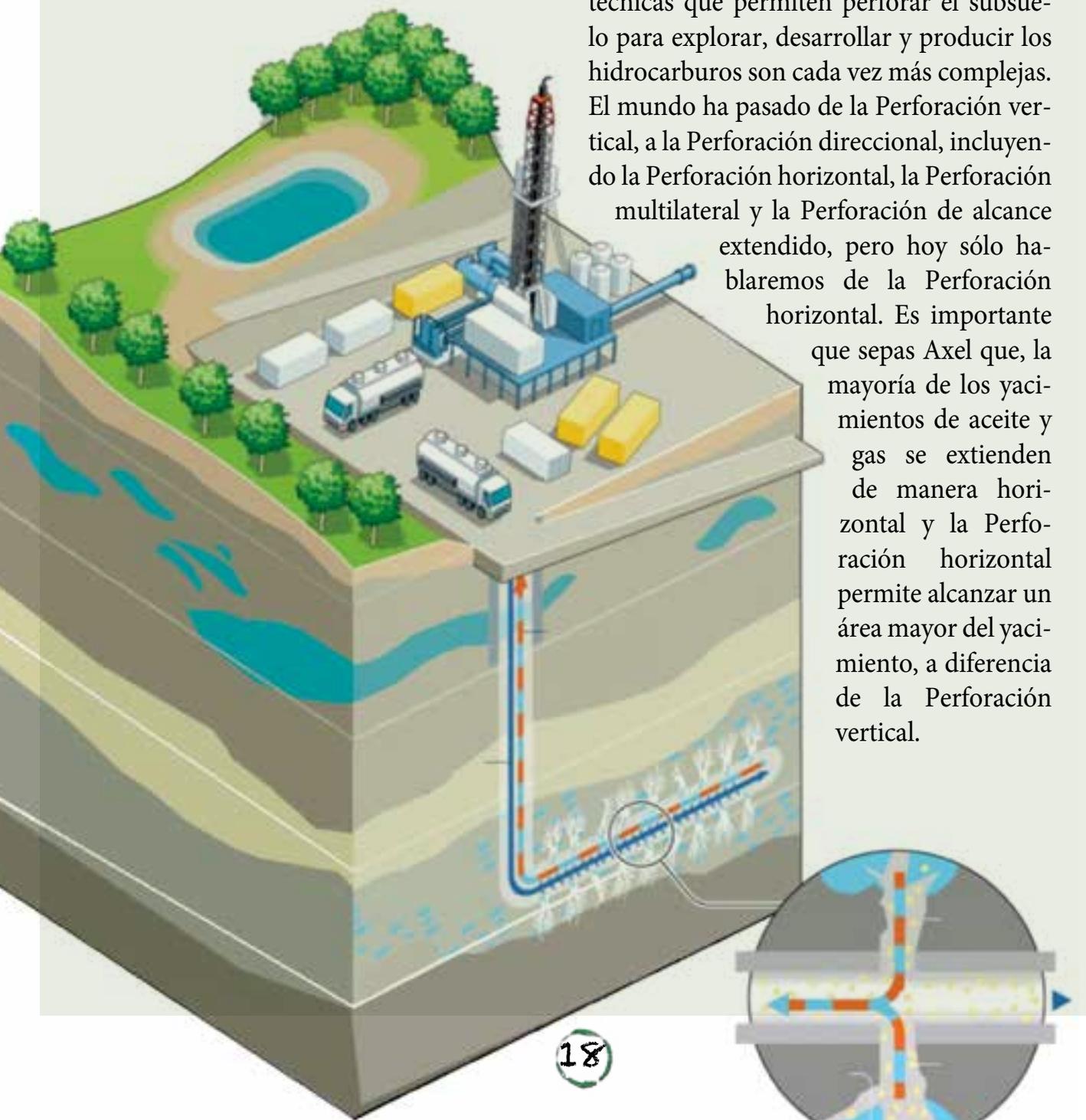
que, conforme te vaya explicando las cosas lo irás entendiendo mejor. De hecho al final de nuestro recorrido hablaremos de las Energías renovables, y la Protección al ambiente.

–Perfecto *Petro*, ahora sigue, esto se pone cada vez más interesante –dije mientras me frotaba las manos.

–La Perforación horizontal es una parte fundamental de la industria petrolera. Las técnicas que permiten perforar el subsuelo para explorar, desarrollar y producir los hidrocarburos son cada vez más complejas. El mundo ha pasado de la Perforación vertical, a la Perforación direccional, incluyendo la Perforación horizontal, la Perforación multilateral y la Perforación de alcance

extendido, pero hoy sólo hablaremos de la Perforación horizontal. Es importante

que sepas Axel que, la mayoría de los yacimientos de aceite y gas se extienden de manera horizontal y la Perforación horizontal permite alcanzar un área mayor del yacimiento, a diferencia de la Perforación vertical.

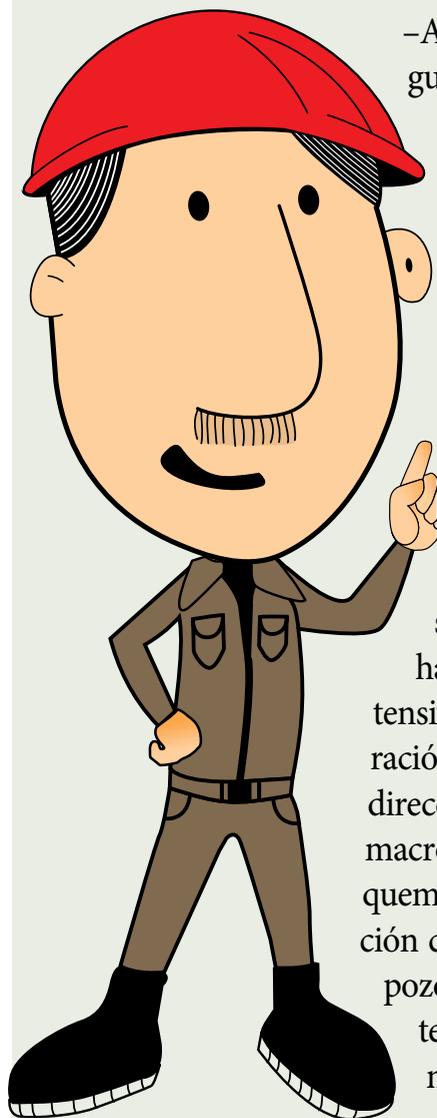


-¿Me vas siguiendo?

-Sí.

-Una vez iniciada la recuperación económica, la Perforación horizontal se incrementó en gran medida, casi duplicando prácticamente a la Perforación vertical. Después de diversas pruebas se ha comprobado que la Perforación horizontal es comercialmente viable; aunque, como te dije antes en un principio no lo era, ¿te acuerdas?

-Claro que me acuerdo, no tiene ni dos minutos que lo comentaste, ¿crees que no pongo atención? -respondí entre en serio y en broma.



-Axel, sólo te pregunto porque no son temas fáciles, no porque crea que no entiendas, -habló mientras me extendía los cinco dedos- ahora continúo:

-Otro elemento que se requiere para hacer un uso extensivo de la Perforación horizontal y direccional son las macroperas. Este esquema de perforación concentra varios pozos en un solo terreno cuyas dimensiones son

debidamente adecuadas, con la finalidad de reducir el impacto ambiental; que como también acabamos de decirlo es de suma importancia para nuestro país.

-Petro, ¿en qué consiste la Perforación horizontal?

-Buena pregunta Axel, trataré de explicarlo lo más simple y sencillo que pueda. Dependiendo de las características de los yacimientos y de su localización, se puede optar por el uso de la Perforación horizontal. Esta tecnología consiste esencialmente en iniciar la Perforación vertical de un pozo hasta llegar a la formación rocosa donde encontraremos el yacimiento no convencional, la perforación se desviará curvando los instrumentos hasta llegar a aproximadamente 90 grados y de esta forma avanzar de manera horizontal. Este tipo de perforación permite tener acceso a grandes secciones del yacimiento, permitiendo una mayor área de drenaje y una mejor recuperación de hidrocarburos.

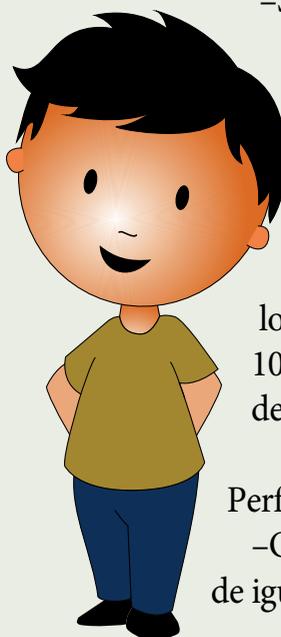
-¿Me sigues?

-Sí, continúa por favor.

-Con las tecnologías modernas de Perforación horizontal, actualmente se tiene que, el máximo desplazamiento horizontal que se ha logrado va más allá de los 10,000 metros desde la boca del pozo.

-Petro y ¿para qué sirve la Perforación horizontal?

-Otra magnífica pregunta, de igual manera, como lo he he-





cho con las anteriores, trataré de contestar lo más simple posible:

–La mayoría de yacimientos de petróleo y gas natural convencionales son mucho más amplios en sus dimensiones verticales que en las horizontales, mientras que los no convencionales se localizan horizontalmente en el subsuelo en extensas superficies de poco

espesor. Conseguir los objetivos técnicos a través de la Perforación horizontal, tiene su precio y también sus beneficios. Un pozo horizontal puede llegar a costar hasta 300% más para perforarlo, pero se abarca una mayor superficie de explotación del yacimiento. Por ello, la Perforación horizontal se limita actualmente a situaciones en las que los pozos verticales no serían tan productivos, ya que para extraer el petróleo y gas no convencional habría que perforar cientos de pozos verticales; pero como ya te lo dije, se está trabajando con respecto a eso, pues los costos se deben de reducir, de manera que se vuelvan rentables.

–Te contaré que la experiencia de Pemex en la Perforación horizontal y bajo balance es actualmente menor comparada con otros países de América del Norte. Por esa razón es necesario que se desarrollen esquemas que le permitan adquirir un mayor conocimiento y experiencia en la perforación no convencional. Ya verás, Axel, que los nuevos contratos integrados para explorar y producir petróleo y gas serán excelentes medios para ayudar a Pemex a incorporar este tipo de tecnología, lo cual se verá reflejado en la disminución de los costos. Es importante señalar que Pemex enfrentará en los próximos años retos cada vez más complejos, la reactivación de los campos maduros, el desarrollo de proyectos como Chicontepec, y el desarrollo de campos en aguas profundas son grandes áreas de oportunidad que requerirán el uso de tecnologías de punta en la parte de perforación para obtener los mayores beneficios y los menores costos para el país. El sector ener-

gético requiere la constante adaptación e innovación en el desarrollo tecnológico bajo un esquema enfocado a las necesidades y prioridades del sector.

–Pero me dijiste hace un rato que ya se estaba trabajando en ello, ¿o lo imagina?

–No lo imaginaste y cada vez tu atención me sorprende más Axel, así es, nuestros investigadores están trabajando muy duro para estar a la vanguardia dentro de la industria petrolera. Pero todo lleva un proceso y en ese camino están nuestros amigos científicos.

–Bueno, en pocas palabras dime, ¿cuáles serían los beneficios de la Perforación horizontal?

–¡Pero qué preguntón te has vuelto! No te creas, ya te dije, lo mejor es siempre preguntar, no quedarse con dudas –decía *Petro*, mientras, como ya se le había vuelto costumbre, me acariciaba la cabeza.

–En primer lugar, quienes se dedican a llevar a cabo este trabajo, casi siempre son capaces de explotar un yacimiento con un número significativamente menor de pozos, ya que cada pozo horizontal puede drenar un volumen mayor que un pozo vertical. La superficie total utilizada de una operación de petróleo o gas puede reducirse mediante el uso de pozos horizontales; ¿ves? nuevamente sale a *colación* la reducción de costos.

–En segundo lugar, el uso de un pozo horizontal puede revertir o retrasar significativamente la aparición de problemas



de producción que provoquen tasas de producción bajas, baja eficiencia de extracción o abandono prematuro. La Perforación horizontal puede mejorar significativamente la recuperación de petróleo y gas, así como el retorno de inversión y la rentabilidad total.

–Y en tercer lugar, teniendo el pozo entubado durante la perforación de la sección horizontal, a los trabajadores se les permite utilizar fluido de perforación de menor densidad.

–Pues seguiré con mis preguntas, ¿hay peligros o riesgos en la Perforación horizontal?

–Y yo te seguiré respondiendo, mi querido Axel. Como te comenté anteriormente, las plataformas de Perforación horizontal permiten alcanzar depósitos de petróleo de difícil acceso. Al llegar al depósito de petróleo, los operadores de perforación dirigen el taladro hacia un lado hasta que comienza a taladrar en horizontal. Una vez que el instrumento está en la posición adecuada, es capaz de atravesar cientos de metros horizontalmente. Sin embargo, aunque esto facilita la extracción de petróleo en algunos casos, la Perforación horizontal tiene algunos peligros que deben tenerse en cuenta:

–Algunos de los productos químicos utilizados para el Fracturamiento hidráulico pueden ser peligrosos, no todos; pero recuerda que en todas las etapas de las operaciones la Perforación horizontal

sólo se utilizan fluidos de perforación, ya sea base agua o base aceite y éstos no son peligrosos, –como te dije cuando comencé a hablar de la Perforación horizontal, ésta y el proceso de Fracturamiento hidráulico se combinan para explotar los yacimientos no convencionales–, para dicho proceso se requiere, en cada operación, de varios millones de litros de agua mezclada con sustancias químicas. Entre 30 y 70% del fluido utilizado reaparece tras la fracturación del suelo, a esto se le conoce como fluido de retorno.

–El Fracturamiento hidráulico requiere el uso de millones de litros de agua dulce que se extraen de acuíferos profundos previa autorización de la Comisión Nacional del Agua; es por ello que se utiliza tratamiento y reúso del fluido de retorno con la finalidad de disminuir el volumen de agua requerido en siguientes procesos de fracturamiento.

–Axel, como lo vimos anteriormente se está trabajando en los lineamientos ambientales adecuados, pues muchas organizaciones ambientalistas aseguran que debemos proteger el medio ambiente y la integridad de los acuíferos y el agua de la superficie. Y debemos estar seguros de que esto suceda.

–Pues sí que se debe de tener mucho cuidado en esos asuntos, pues éste es el mundo en que vivimos y debemos preservarlo, ¿no crees, *Petro*?

–Claro que sí.



IV. Fracturamiento hidráulico

Ahora pasaremos a hablarte del Fracturamiento hidráulico.

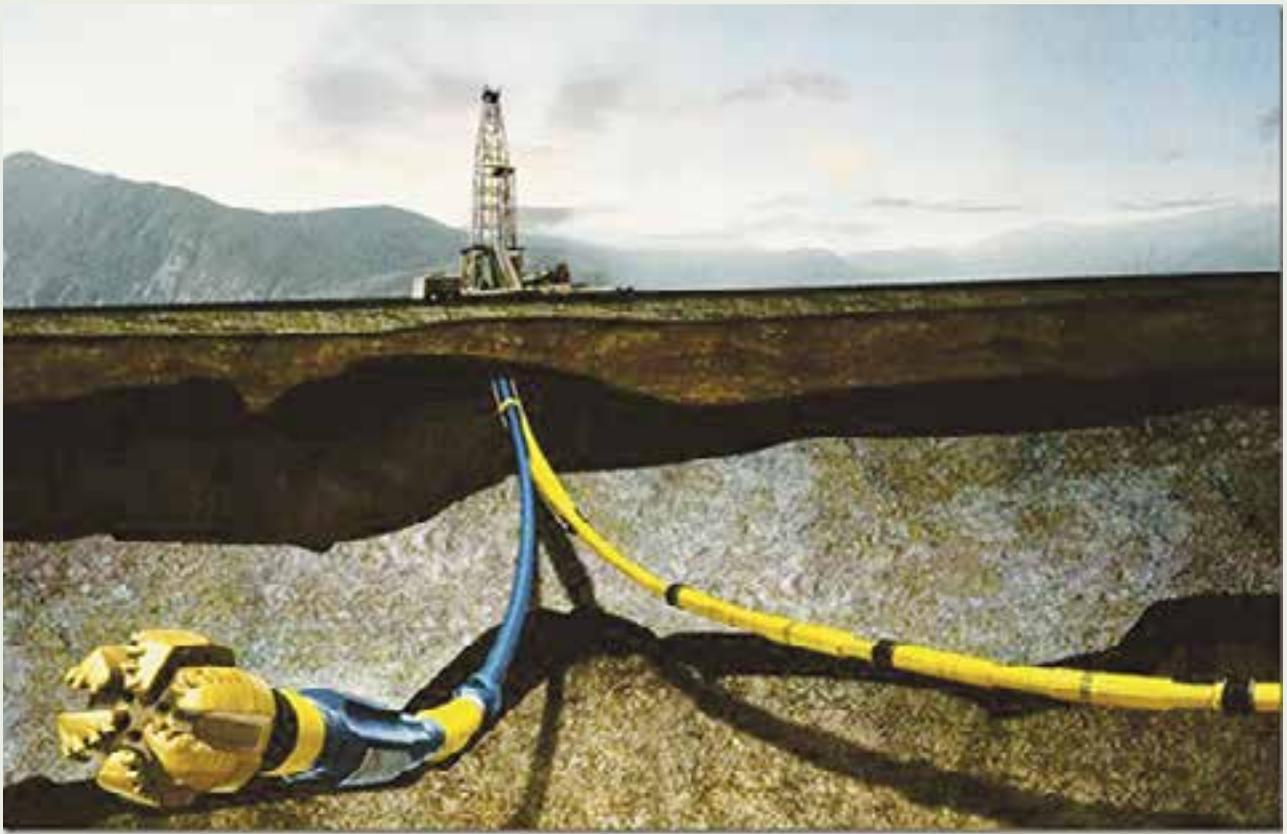
–Adelante –dije, mientras hacía una reverencia.

–Perdón por ser reiterativo Axel, pero es importante que tengas claro que en los yacimientos convencionales, el gas natural está contenido en rocas muy porosas y con una permeabilidad media-alta (arena, roca caliza o dolomita), que a su vez están delimitadas por roca impermeable. Por tanto, al perforar la capa impermeable que encierra el gas, tiende a salir por el pozo hasta la superficie, donde se recoge. La extracción de gas en estos

yacimientos es relativamente sencilla y muy rentable. Esto no ocurre en los yacimientos no convencionales, donde el gas está contenido en estratos de roca poco porosa y de menor permeabilidad (arenas compactas y lechos de carbón). A menor porosidad y permeabilidad, más complejas y agresivas son las técnicas requeridas para extraer el gas. El caso del *Gas Shale* es el más costoso y menos productivo, debido a que las lutitas son muy poco porosas y prácticamente impermeables. Al ser poco porosa, el gas contenido en un volumen de roca determinado es mucho menor que en los yacimientos convencionales. Por

CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO





lo tanto, es necesario utilizar la Perforación horizontal para adentrarse largas distancias y poder acceder así a una cantidad de gas significativa. Esto hace imprescindible romper la roca para poder liberar el gas y extraerlo, lo que se consigue gracias al Fracturamiento hidráulico.

–*Petro*, no importa que me repitas las cosas, de esa manera lo tendré más claro.

–Ahora te platicaré de la técnica, la cual consiste en generar uno o varios canales que incrementen la permeabilidad de la roca a través de la inyección de agua u otros fluidos a alta presión, de modo que abran miles de micro-fracturas en el yacimiento. Con el fin de evitar el natural cierre de las micro-fracturas, en el momento en que se reduce la presión hidráulica que la mantienen abierta, se bombea junto con el agua, un agente apunta-

lante comúnmente arena y otros agentes químicos, que mantiene las fracturas abiertas.

–Así las cosas, el Fracturamiento hidráulico o *fracking*, es el proceso mediante el cual se extraen de la tierra hidrocarburos como el gas de la roca de lutita o *Gas Shale*, y consiste en inyectar agua a alta presión (entre 680 y 1,360 atmósferas, que es una unidad de medida de presión, Axel) en línea vertical y luego horizontal, a profundidades que superan los 6 mil metros. Para esta perforación se usa un volumen de agua que va de los 8 mil a los 100 mil metros cúbicos por pozo. El agua se mezcla con sustancias químicas que, según algunos autores, llegan a ser 700, mientras que la Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) reconoce una lista de 930 sustancias, entre las cuales hay sales sódicas, potásicas, metales pesados,

solventes, biocidas, glicoles, gomas, alcoholes y naftalenos, entre otros. Como resultado de la perforación y fracturación de la roca se obtienen el gas y aceite de lutita.

–¿No te has cansado Axel?

–Para nada, sigue por favor.

–Pues el Fracturamiento hidráulico y la Perforación horizontal, son conocidas desde la década de los setenta del siglo XX, pero sólo desde hace 15 ó 20 años se utilizan de una forma aproximada a como se usan ahora. Estas explotaciones han llegado a ser económicamente viables gracias a tres factores: a) Los progresos técnicos en la Perforación horizontal y en el uso intensivo del Fracturamiento hidráulico con la adición de productos químicos; b) un incremento sustancial del precio del gas debido a la declinación de la producción de los pozos tradicionales y; c) a un aumento de la demanda mundial.

–Cuanto mayor sea la interconexión de la red de fracturas generadas, más eficiente será el drenaje del gas y aceite, y por lo tanto, mayor el factor de recuperación. El agua es comúnmente utilizada a nivel mundial como el componente principal del fluido de fracturación, por su bajo costo, fácil manejo y excelentes propiedades.

–Como lo vimos en el libro *El fascinante mundo de los ya-*

cimientos petroleros, el gas natural es una mezcla de gases orgánicos, compuesto principalmente por metano y en menor proporción por CO₂, sulfuro de hidrógeno, radón radiactivo, etano, propano, butano y otros gases. Es inodoro, incoloro y altamente inflamable y una fuente de energía que se explota desde hace siglos. Tradicionalmente se han venido explotando las reservas de más fácil acceso y mayor rendimiento (explotaciones de yacimientos convencionales).

Sin embargo, en los últimos años están cobrando relevancia en términos productivos los yacimientos no convencionales, los cuales suponen un reto cada vez mayor por su elevada dificultad

técnica y escasa rentabilidad. Esto sucedió hace unos pocos años debido a un contexto económico favorable que había disparado el precio de los hidrocarburos, a la irreversible declinación de las reservas tradicionales y a avances en las técnicas de Perforación horizontal y Fracturamiento hidráulico.

–Muy bien *Petro*, creo que todo va quedando muy claro, ahora plátame del Fracturamiento hidráulico en México, ¿se puede?

–Por supuesto que se puede.

–El Fracturamiento hidráulico en México se aplica desde que fue patentado en los años cincuenta del siglo pasado. En algunos campos como Tamaulipas-Constituciones



la mayoría de los pozos fueron fracturados. Los yacimientos gasíferos de la cuenca de Burgos han y siguen siendo estimulados por el Fracturamiento hidráulico. Desde los años sesenta del siglo pasado y hasta la fecha, los campos de yacimientos en el paleocanal de Chicontepec han sido productores sólo a través del Fracturamiento hidráulico. Asimismo, se ha podido incrementar la producción de campos del mesozoico Chiapas Tabasco y la tecnología también se ha aplicado en pozos de la Sonda de Campeche. En el paleocanal de Chicontepec se han experimentado todas las tecnologías disponibles a nivel mundial, como el empleo de fluidos base agua, base aceite, fluidos combinados, apuntalantes de todo tipo, técnicas de colocación en baches sustentantes (*High Way*), etcétera. Se está

trabajando junto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) para crear el *Fondo Conacyt-Sener-Hidrocarburos* para el desarrollo del proyecto *Fracturamiento Hidráulico de Pozos Usando Materiales Inteligentes*. Proyecto liderado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) conjuntamente con la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y una empresa privada de servicios a la industria petrolera.

–Como ya lo hemos venido viendo, existe un gran potencial para el uso del Fracturamiento hidráulico en México. Los campos pertenecientes al proyecto Aceite Terciario del Golfo son en su mayoría de baja permeabilidad por lo que el uso de esta tecnología es adecuada para mejorar su explotación, –repi-to Axel–, la extracción de hidrocarburos no

Primer fracturamiento hidráulico



Imágen tomada del documento de la CNH, La tecnología de exploración y producción en México y en el mundo: Situación actual y retos, Pág. 151, diciembre 20, 2011.

convencionales en las aguas profundas del Golfo de México y *Gas Shale* o de lutitas en varias regiones del país ha cobrado una mayor relevancia. El sector energético mexicano comenzó a identificar las provincias geológicas para exploración en México, así como los proyectos de inversión. De acuerdo con las estimaciones oficiales, para este año se perforarán 172 pozos, para el 2023 se pretenden perforar 590 pozos, mientras que para el 2045 se pretenden perforar 27 mil pozos. La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) ha manifestado que se requiere de mayores estudios exploratorios para poder definir claramente el potencial de gas de lutitas en México, así como las reservas recuperables.

–Interrumpí a Petro preguntándole, ¿Qué es la CNH?

–Aunque no lo creas mi querido Axel, aquí traigo una tarjeta que responderá tu pregunta, tómala.

–Axel, para finalizar de hablar acerca de la Perforación horizontal y el Fracturamiento hidráulico podemos decir que han contribuido fuertemente al desarrollo y producción de gas natural en formaciones geológicas de baja permeabilidad, particularmente en formaciones de lutitas, aunado al desarrollo de equipos, materiales y tecnologías como la telemetría.

–En conclusión, el dominio de la Perforación horizontal y el Fracturamiento hidráulico serán tecnologías cruciales para el éxito en el desarrollo de este tipo de campos.

–¿Cómo ves Axel?, ¿quedó claro?

–Ya lo creo, *Petro*.

–**P**ues ahora pasemos a hablar de México y los yacimientos no con-

La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH)

se creó el 28 de noviembre de 2008 como un organismo con autonomía técnica para regular y supervisar la exploración y extracción de hidrocarburos en México. La CNH quedó formalmente instalada el 20 de mayo de 2009, a partir del nombramiento de los siete comisionados integrantes de su Órgano de Gobierno. Sus objetivos estratégicos son:

- a) Licitación y suscripción de los contratos para la exploración y extracción de hidrocarburos;
- b) Administrar técnicamente las asignaciones y los contratos para la exploración y extracción de hidrocarburos para asegurar la maximización de valor;
- c) Regular y supervisar el reconocimiento y exploración superficial, así como la exploración y extracción de hidrocarburos, incluyendo su recolección, desde los puntos de producción hasta su integración al sistema de transporte y almacenamiento;
- d) Desarrollar la información y el conocimiento del subsuelo de México.

La CNH se encuentra en proceso de construcción del Centro Nacional de Información de Hidrocarburos, el cual contendrá los estudios sísmicos, gravimétricos, magnetométricos, entre otros, obtenidos de los trabajos de exploración y extracción. Además, resguardará y preservará los núcleos de roca, recortes de perforación y muestras de hidrocarburos que se consideren necesarios para el acervo del conocimiento histórico y prospectivo de la producción de hidrocarburos del país.



V. México y los yacimientos no convencionales

vencionales, ¿estarías de acuerdo?

-De acuerdísimo.

-Pemex inició los trabajos exploratorios de *Shale Gas-Oil* a principios del año 2010. Identificó 5 provincias geológicas con potencial para producir hidrocarburos contenidos en *Shale* : 1) Chihuahua, 2) Sabinas-Burro-Picachos, 3) Burgos, 4) Tampico-Misantla, 5) Veracruz.

En 2013, México tenía una de las bases de recursos de gas de lutita más grandes del mundo, lo que podría apoyar el aumento de las reservas de gas natural y la produc-

ción. De acuerdo con la Administradora de Información Energética de Estados Unidos, (EIA, por sus siglas en inglés), en su evaluación de recursos de gas de lutita a nivel mundial, México tenía un estimado de 545 billones de pies cúbicos de recursos en gas de lutita técnicamente recuperables, sexto más grande de entre los países examinados en el estudio. La mayor parte de los recursos de gas de lutita en México se encuentran en las regiones noreste y centro-este del país. La Cuenca de Burgos, es la que representa la mayor parte de los recursos de México



Fuente: Pemex Exploración y Producción (PEP). 2012

Notas: Las provincias de Chihuahua están en estudio, y aún sin estimación.

técnicamente recuperables de gas de lutita, partes de la obra de *Shale Gas de Eagle Ford*, considerado como el prospecto más prometedor de México y una fuente prolífica de producción de gas natural en Texas.

–¡Qué cara, Axel! ¿Voy muy rápido?

–No, es que es mucha información.

–Pues como siempre te dejo una tarjeta, toma.

–Gracias.

–Ahora prosigo. La tendencia



En 2011, Pemex estimó un potencial, considerando principalmente recursos de gas natural, en un rango de 150 a 459 TCF (trillones de pies cúbicos), con un recurso medio de 297 TCF, semejante a alrededor de 60 mil millones de barriles de petróleo equivalente (MMMbpe). En 2012, la paraestatal actualizó sus estimaciones para la cuenca de Sabinas-Burro-Picachos-Burgos y Tampico-Misantla, en donde los resultados arrojaron que la proporción de aceite y gas de lutitas es más de la mitad de los recursos totales. Cabe mencionar que el recurso medio en términos de crudo equivalente, de 60 MMMbpe, es el mismo que el de las estimaciones de 2011. Pemex ha identificado un área prospectiva de 43 mil km². En la fase de evaluación, contempló estudios sísmicos en un área de 10 mil 320 km².

convencionales como el *Gas Shale*. Para ello, se invertirán tres mil millones de pesos a la exploración de cuencas lutíferas en el norte del país, principalmente en las regiones de Burgos, Sabinas y Tampico-Misantla. De esta manera, se incrementarían los recursos prospectivos, que ascienden a un estimado de sesenta mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente sólo en ésta zona. En un escenario idóneo, la producción total de gas de nuestro país podría subir de mil 780 billones de pies cúbicos a 3 mil 204 billones de pies cúbicos para el año 2035, con 37% de ese volumen proviniendo de gas no convencional (*Gas Shale /Gas Tight*).

Según datos de la Comisión Nacional de Hidrocarburos de 2014, en México se lograron hallazgos en recursos de *Gas Shale* tras cinco años de investigación y dos de perforaciones. Esto quiere decir que se puede asegurar que nuestro país cuenta con esos recursos en el subsuelo y que en el futuro se podrían constatar desarrollo y aportes a la oferta de hidrocarburos.

–Con todo esto, *Petro*, se ve un buen panorama para nuestro país, ¿o entendí mal?

–No entendiste mal, pero recuerda: la explotación de estos hidrocarburos requiere de un adecuado manejo de la seguridad ambiental, particularmente del agua. Estos aspectos son grandes preocupaciones a nivel mundial que actualmente se encuentran en discusión y análisis. Y como ya lo platicamos México no está exento de estos debates y por lo tanto deberá establecer sus propias políticas.

–Ya que dijiste a nivel mundial, pláticame de:

en México durante los próximos años para incrementar la competitividad en el sector petrolero será la explotación de recursos no

VI. Otras experiencias en el mundo

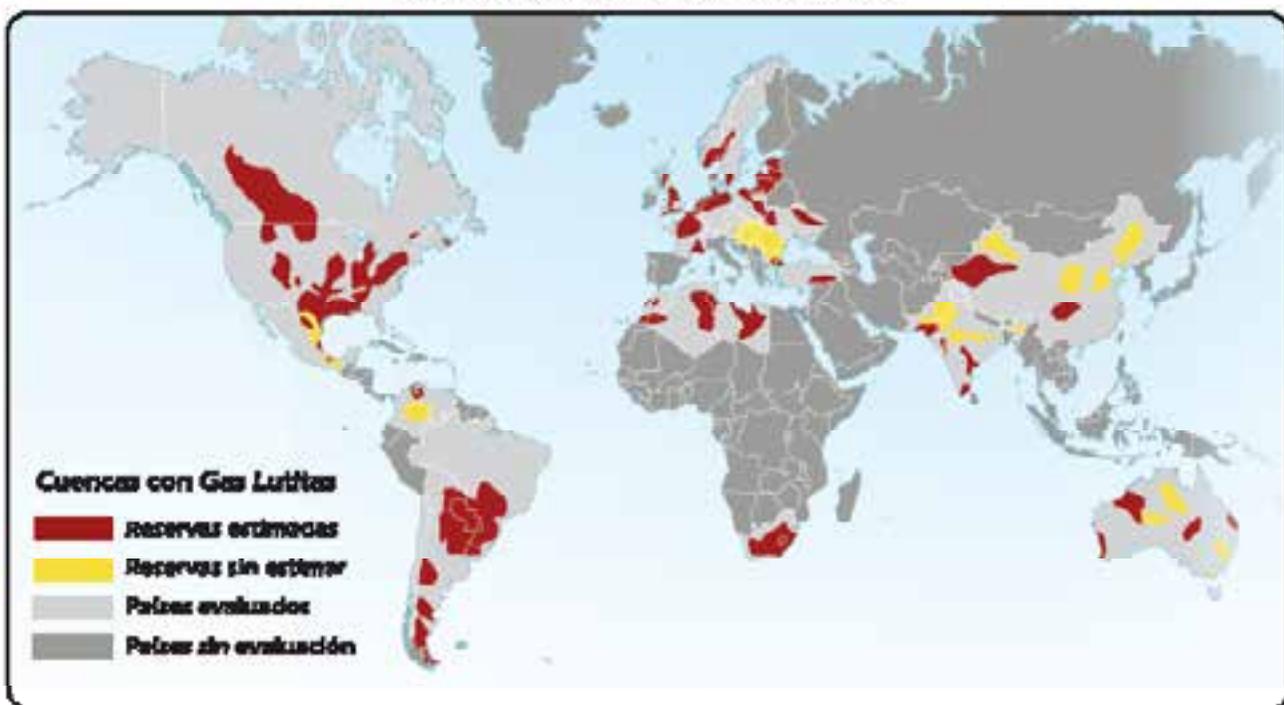
—Estás en todo Axel, comienzo. De acuerdo con la EIA, ésta divide a los países estudiados en dos grupos según si poseen o no recursos: el primer grupo posee algún tipo de producción e infraestructuras, pero es dependiente de las importaciones de gas natural (Chile, Francia, Sudáfrica, Marruecos, Polonia o Turquía). El segundo incluye países con recursos superiores a los 200 TCF (trillones de pies cúbicos); allí figura Argentina, junto con Brasil, Canadá, China, México, Australia, Libia y Argelia. Los analistas se preguntan si será fácil exportar la tecnología adecuada a países donde aún no la tienen.

—Europa presenta estimaciones de más de 500 TCF. Polonia representa el blanco de las compañías petroleras ante este concepto, con casi 90 concesiones aprobadas, seguida de Alemania. Podría ser una solución a una matriz basada en 80% en importaciones y que se debate acerca de su futuro nuclear, en la era post-Fukushima.

—Axel, toma una tarjeta más, pues es mucha información y así podrás leerla cuando la requieras.

—Gracias, todo lo que me acabas de decir me deja ver que el gas natural está *súper bien*.

MAPA DE RECURSOS NO CONVENCIONALES DE 40 CUENCAS EN 32 PAÍSES



Fuente: E.A. U.S. Energy Information Administration Department of Energy

Para el día de hoy, la situación de la exploración-producción de hidrocarburos no convencionales, más específicamente para el caso concreto del Gas Shale, es la siguiente:

- ✓ En los Estados Unidos de Norteamérica, el principal país productor, la actividad de exploración y producción está plenamente consolidada, con producción anual del orden de 4,87 TCF (trillones de pies cúbicos) y creciendo, lo que representa ya 23% de la producción de gas natural en los Estados Unidos. Este volumen de gas producido proviene solamente de las siete principales formaciones geológicas (reservorios no convencionales tipo Gas Shale). Considerando la producción conjunta de gas no convencional en los Estados Unidos (*Gas Shale* más *Gas Tight* y *Coal Bed Methane*), el porcentaje sobre la producción total de gas alcanza 46%. Las cifras de reservas recuperables de gas natural que actualmente se manejan para los Estados Unidos aseguran el suministro del país para los próximos 90 años. Estas cifras, muy probablemente, aumentarán a medida que se descubran y cuantifiquen nuevas reservas de gas no convencional y que los métodos de extracción mejoren. Hay otro aspecto que no es insignificante y que debe enfatizarse: en la actualidad, en los Estados Unidos de Norteamérica, el costo de extracción de gas no convencional se sitúa en el mismo rango que el del gas convencional. Sencillamente, es ya un proceso perfectamente viable, tanto desde el punto de vista técnico, como económico y medioambiental.
- ✓ En el resto del mundo, sólo muy recientemente (cuatro o cinco años), se han empezado a cuantificar las potenciales reservas recuperables de gas no convencional. Sin embargo, las cifras que se están obteniendo son espectaculares, inimaginables hace solamente una década. Fuera de los Estados Unidos de Norteamérica, únicamente se ha realizado el análisis de muy pocas cuencas geológicas (14), en las que no están incluidas las formaciones productoras de regiones como Rusia, Oriente Medio, la costa oeste de África, entre otras, es decir, ninguna de las grandes cuencas productoras de hidrocarburos convencionales, incluyendo las de México. Con esta evaluación, absolutamente preliminar, geológica y geográficamente muy restringida, las reservas extraíbles de gas no convencional han igualado a las reservas extraíbles de gas convencional. A nadie se le escapa que, cuando se incluyan las reservas existentes en otras muchas cuencas geológicas, y muy especialmente las correspondientes a las principales regiones productoras de hidrocarburos convencionales (que dispondrán también de importantes reservas no convencionales), es muy posible que las reservas de gas no convencional superen muy ampliamente a las reservas de gas convencional.

–Así es, empieza a vislumbrarse gran potencialidad en los hidrocarburos no convencionales, y en particular en el gas no convencional, lo cual está generando el convencimiento de que el mundo está a las puertas de una verdadera revolución energética. Incluso con anterioridad al descubrimiento de la potencialidad del gas no convencional, la humanidad, especialmente los países occidentales, ya había puesto sus esperanzas en que, a lo largo de las próximas décadas, el gas natural jugase un papel preponderante en el rubro energético. Para esto se basan en que el gas natural posee una serie de ventajas con respecto al resto de los combustibles fósiles, los cuales pueden resumirse en los siguientes puntos:

Es un combustible *limpio*, el más limpio de todos los combustibles fósiles. Quemarlo produce casi exclusivamente agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2).

Mayores reservas extraíbles de gas convencional que las correspondientes al petróleo. Se estima que, a ritmos de consumos actuales, las reservas de gas natural convencional pueden cubrir el consumo de la humanidad para los próximos sesenta años,

la disponibilidad de petróleo solamente alcanzaría para cuarenta años.

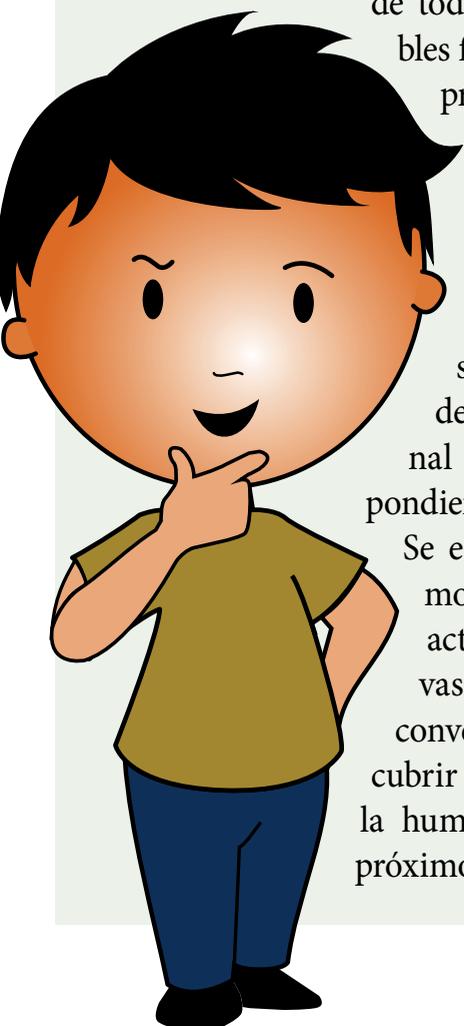
Las reservas de gas natural convencional ya presentan la ventaja, frente a las de petróleo, de poseer una más amplia distribución geográfica, garantizando una menor dependencia de unos pocos países productores.

–Lo anterior, unido a la versatilidad que presenta el gas natural, su alto poder calorífico y la existencia de una tupida, moderna y relativamente bien desarrollada infraestructura de transporte, habrá generalizado ya el uso del gas natural en amplios sectores industriales y domésticos, incluyendo la generación de electricidad.

–El gas natural se está configurando como una de las fuentes de energía, quizás la principal, para las próximas décadas. El gas natural no convencional es una oportunidad que los países que posean reservas, y por ende el resto de la humanidad, no deben desaprovechar. Parece llamado a jugar un papel fundamental en la transición de las energías fósiles, de las cuales, la humanidad en su conjunto, es hoy, altamente dependiente (especialmente del carbón y del petróleo), a las energías del futuro, renovables o no, que puedan propiciar un sistema energético sostenible para la humanidad.

–Creo que por hoy es todo Axel, ya se hizo tarde y ya te noto cansado, pues recuerda que todavía te debo de platicar acerca de las Energías renovables, y de la Protección ambiental.

–Está bien *Petro*, además es probable que mis papás vuelvan temprano, ¿mañana antes de que se levanten puedo regresar?



–Por supuesto, aquí te estaré esperando.

Regresé a mi casa minutos antes que mis papás, no quise tocar el tema de lo platicado con ellos en la mañana, pues todavía debía volver al día siguiente con *Petro*. Después de cenar, me despedí, me cepillé los dientes y me metí a la cama. Entonces me asaltó la enorme inquietud de compartir mis lances y nuevos conocimientos con alguien más; una persona a la que le tuviera una enorme confianza, pues tendría por fuerza que hacer pública la existencia de *Petro*. En esas estaba cuando llegó a mi mente un nombre... el de mi gran amiga Marinora, con ella había compartido largas tardes de juegos, películas y palomitas, pero con quien también me unía nuestro gran interés por los conocimientos científicos, pero sobre todo por la protección al ambiente, a ambos nos interesaba mucho ese tema, y de eso *Petro* nos hablaría al día siguiente, además quería comentarle mis dos previas aventuras.

Eso es –me dije– Marinora tiene que saber acerca de las cosas y los lugares que me ha enseñado *Petro*.

Fue así que, sin que mis papás se dieran cuenta le llamé por

teléfono, le dije que no hiciera preguntas y que la esperaba, al día siguiente en mi casa a las siete de la mañana en punto. Yo estaría atento para abrirle la puerta y de esa manera no despertar a mis papás. Marinora llegó puntual, nos dirigimos al librero nos llamó la atención otro gran libro. Entonces lo tomé del entrepaño y nos sentamos a hojearlo; en él aparecían fotografías del globo terráqueo como tomadas desde una nave espacial y en las que se observaban claramente la superficie de la Tierra, con sus continentes y océanos.



–Axel, ¿qué habrá debajo de la Tierra, bajo esas manchas de agua y tierra que ves en las fotos?

Como si no hubiera oído la pregunta, comencé a platicarle, rápida y atropelladamente, quién era *Petro* y sobre los aventuras que habíamos vivido juntos en el mundo de los yacimientos petroleros. También le conté que ese día regresaría para continuar con la aventura que habíamos dejado inconclusa y a la cual quería que ella nos acompañara; no sin antes prometerme que no le contaría nada a nadie hasta que los dos lo acordáramos.

–Prometido.

–Empecemos, como debe ser, por el principio de la historia; primero es necesario que te cuente la forma de llegar a *Petro*. Te acuerdas de los libros de *Narnia*, de cómo los hermanos tenían que entrar a un ropero tras el cual les esperaban maravillosas, aunque a veces peligrosas aventuras. Pues algo así tendremos que hacer para contactarnos con *Petro*, así es que agárrate y cierra los ojos, que sólo con la fuerza de nuestra curiosidad científica y nuestras ganas de aventuras hallaremos la palanca o puerta que nos ha de llevar a *Petro*. Relájate y déjate llevar por tu imaginación.

En ese trance nos encontramos cuando tras una ligera sacudida nuestros pies tocaron tierra, y llegamos donde gustoso nos esperaba *Petro*.

–Hola Axel, me dijo *Petro*, así que ahora decidiste venir acompañado.

–Ella es mi mejor amiga, se llama Marinora, espero no te moleste que la haya invitado.

–Pero cómo crees, tus amigos son mis amigos, además es una niña que refleja inteligencia. Me imagino que ya le contaste lo que has vivido aquí, ¿no es cierto?

–Rápidamente, pero ella lo ha entendido inmediatamente, como dices, es muy inteligente.

–Pues entonces... comencemos por conocer las:



VII. Energías renovables

–**M**éxico cuenta con un gran potencial en cuestión de recursos energéticos renovables, su desarrollo permitirá al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, así como ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en el futuro, y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales y no convencionales.

–Hablemos de los beneficios ambientales: al usar energía renovable económica y tecnológicamente viable, hay una reducción en mantenimiento. Asimismo, los programas de energía renovable son adoptados más fácilmente por la mayoría de las personas que las quieran utilizar. Hay mayor eficiencia energética. Al participar económicamente quienes se benefician, se involucran en el proceso tecnológico *y le echan más ganas*. Se hace que se conjunten: la institución que apoya, el beneficiario y el proveedor; pues los tres comparten esfuerzos y beneficios. Así las cosas, pueden observar que existen grandes beneficios ambientales cuando se usa la energía renovable, por ello se debe promover y fomentar su utilización. La idea de esto que les comento es que a las personas las orientemos para hacerlo. Asimismo, esperamos que la gente determine cuál es la fuente renovable más adecuada para ellos y su comunidad. Con el uso de energías renovables se obtienen ahorros sustanciales en todos los aspectos.

–*Petro*, –habló Marinora– ¿cuáles serían las Energías renovables que más se podrían utilizar en nuestro país?

–Buena pregunta, amiguita. Te respondo:

–Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias, y contaminantes. Entre las primeras se encuentran:

- *El sol: energía solar*

La energía solar es la obtenida directamen-



te del sol a través de la radiación electromagnética, la cual puede aprovecharse por su poder calórico, o bien para generar electricidad.

Se estima que el sol produce 4 mil veces más energía de la que los seres humanos somos capaces de consumir, por lo cual su potencial es realmente ilimitado. La radiación solar se capta mediante paneles solares.

- *El viento: energía eólica*

La energía eólica es obtenida de la fuerza del viento. Está relacionada con el movimiento del aire. La electricidad generada con recursos eólicos se produce con un equipo denominado aerogenerador.

- *Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica*

La energía hidráulica se obtiene a partir de un volumen de agua en movimiento, y/o al-

macenada. La energía hidráulica se puede obtener en un arroyo, un canal u otra forma de corriente de caudal moderado. Otra forma de producir energía eléctrica consiste en hacer en el río una presa pequeña y desviar parte del caudal por un canal con menor pendiente que el río.

- *El calor de la Tierra: energía geotérmica*

La energía geotérmica se genera del calor del interior de la Tierra (5.000°C) y la cual llega a la corteza terrestre a través de las aguas subterráneas, las cuales pueden alcanzar temperaturas de ebullición. La energía geotérmica se puede usar de forma directa, para calefacción de hogares, temperar invernaderos y criaderos de peces, deshidratar vegetales, secar madera, entre otras aplicaciones, y de forma indirecta, para producir electricidad.



- *Los mares, océanos y olas: energía mareomotriz y energía undimotriz*

Existen varios tipos de energía oceánica; entre éstos destacan: las energías mareomotriz, undimotriz y de las corrientes marinas. La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas. Se origina en las fuerzas gravitatorias entre la luna, la tierra y el sol, es decir, en la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o esteros, utilizando turbinas hidráulicas. La energía de las olas, o energía undimotriz, es la más prometedora fuente de energía renovable para los países con grandes litorales. Las olas se forman en cualquier punto del mar por la acción del viento; cuando el viento sopla con violencia, las olas alcanzan un tamaño gigantesco y por el impulso de aquél corren sobre la superficie marina a gran velocidad y descargan toda su potencia sobre los obstáculos que encuentran en su camino. Los efectos de es-

tos choques son enormes, lo que produce una gran cantidad de energía. En México aún no se desarrollan proyectos de este tipo.

La fuente de energía renovable que se considera contaminante es la que se genera en la transformación de:

- *La materia orgánica o biomasa.*

La bioenergía o energía de biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica, generalmente obtenida de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos. La energía proveniente de la biomasa se obtiene de cuatro fuentes energéticas: biomasa sólida, biogás y biocombustibles. La energía proveniente de la biomasa sólida se obtiene mediante el aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal. La energía proveniente de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos se obtiene por incineración de residuos provenientes de jardines y parques, alimentos de hogares, bares, restaurantes, proveedores, y plantas de tratamiento de alimentos. El biogás puede proceder del uso del metano natural de los residuos sólidos urbanos, o puede ser producido en digestores anaerobios. Los biocombustibles son combustibles líquidos de origen biológico que por sus características físico-químicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o al diésel, bien sea de manera total, en mezcla con éstos, o como aditivos.

–Una vez que ya vimos qué otro tipo de energías puede utilizar el ser humano para evitar problemas con el medio ambiente, ahora pasemos, –Marinora y Axel– a hablar acerca de la:



VIII. Protección al ambiente

—Como ya les comenté, la protección del ambiente es un punto fundamental. Así que un propósito de la Reforma Energética en nuestro país es promover la inversión en el sector bajo criterios de responsabilidad social y protección al medio ambiente. Es por ello que, debido a que se conocen los impactos ambientales que la actividad de explotación de los yacimientos no convencionales trae consigo y los cuales pueden prevenirse, evitarse o atenuarse, es que México, a través de distintas instituciones elaboró los *Lineamientos en materia de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para realizar las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales*, y en donde se señalan obligaciones y recomendaciones para con el medio ambiente.

—Marinora y Axel, estamos llegando al final de nuestra charla, —dijo Petro con un dejo de tristeza— y mientras nos abrazaba continuó hablando:

—Entonces para que me entiendan y terminemos por el día de hoy les quiero decir que: el proceso de extracción por Fracturamiento hidráulico, de no hacerse bajo condiciones de protección ambiental, puede provocar diversos impactos; entre éstos, los más relevantes son: *Competencia por el uso del agua entre la explotación de hidrocarburos, la agricultura, el uso doméstico y el con-*

sumo humano; Contaminación de los acuíferos; Contribución al Calentamiento Global; Contaminación del suelo; Contaminación atmosférica; Afectación a la infraestructura carretera y habitacional; así como Pérdida de la biodiversidad. Pero como les he venido diciendo, nada de esto deberá suceder, pues se está trabajando en y entre las distintas instituciones de forma responsable.

—Dejándoles claro esto, les explicaré a qué se refiere cada uno de los temas:

—*Disminución de disponibilidad del agua en ecosistemas y para uso y consumo de los seres humanos.* Debido a que se requieren de 9 a 29 millones de litros para la fractura de sólo un pozo, en función de la profundidad, extensión y permeabilidad del yacimiento, cuando se perforan varios pozos en una región determinada, se compite por el agua para otros usos, comprometiendo el derecho humano al agua, es decir al agua para consumo doméstico, así como el agua destinada para la producción agrícola y el sostenimiento de ecosistemas.

—*Contaminación de los acuíferos.* Cuando llega a presentarse un fallo en la estructura del pozo inyector (cementación y revestimiento), y éste se encuentra en la proximidad de los acuíferos, éstos pueden contaminarse con las sustancias químicas adicionadas al agua del fracturamiento o por el hidrocarburo extraído. Existen más de 750 tipos diferentes de químicos en el fluido de perfora-

ción, entre los cuales algunos se consideran cancerígenos, otros pueden afectar al sistema endócrino, causar daños en el sistema nervioso, o provocar alergias. Es importante tomar en consideración que, además de los químicos citados antes, el líquido de perforación se combina en el proceso de fractura con sustancias disueltas en el sedimento de la lutita, como son metales pesados, metaloides, y metano lo que provoca reacciones químicas imprevistas de naturaleza nociva para la salud humana y de otros organismos. Pero, como les he repetido hasta el cansancio, nuestras instituciones están trabajando sin descanso en la protección al ambiente. Que de eso, no les quede duda.

-*Contaminación del suelo.* Los insumos tóxicos utilizados en el proceso de Fracturamiento hidráulico y los lodos que brotan del pozo deben ser tratados en apego a consideraciones de seguridad, ya que de no hacerlo, al producirse derrames, éstos pueden afectar severamente al suelo deteriorando su vocación productiva, y pueden llegar a contaminar los acuíferos subyacentes.

-*Contaminación por radiactividad de aguas de retorno en procesos de extracción de hidrocarburos a partir del Fracturamiento hidráulico.* La mezcla utilizada en po-

zos de fractura hidráulica es reutilizada en el mismo pozo en múltiples ocasiones. En el subsuelo, entra en contacto con el agua milenaria que se encuentra en la roca. Cuando estas aguas contienen altas concentraciones de bromuro y son tratadas en las plantas de tratamiento comunes, al entrar en contacto con el cloro de las últimas etapas del tratamiento, éste reacciona creando trihalometanos, un químico que causa cáncer y aumenta el riesgo de que los seres humanos en contacto con este líquido presenten problemas reproductivos y de desarrollo.

-*Contaminación del aire y contribución al Calentamiento Global.* La explotación del gas y aceite de lutitas puede contribuir a la aceleración del Calentamiento Global debido a las emisiones de gas metano, carbón negro y bióxido de carbono, que pueden producirse por ineficiencias en la extracción, procesamiento, almacenamiento, traslado y distribución. El metano es un gas que presenta un efecto invernadero veinticinco veces más potente que el dióxido de carbono (CO₂).





–*Afectación a la infraestructura carretera y habitacional.* El intenso tránsito de camiones de carga por carreteras y caminos vecinales ocasiona su deterioro acelerado; asimismo, los trabajos de reinyección de fluidos pueden ocasionar movimientos telúricos.

–*Pérdida de la biodiversidad.* El desmonte de grandes áreas, la construcción de caminos, el intenso tráfico de vehículos, el polvo, el ruido e intensidad lumínica, pueden afectar a las especies vegetales y animales inhibiendo su capacidad reproductiva, de alimentación, de resistencia a condiciones adversas y a depredadores naturales.

–Como pueden concluir, si nuestras instituciones no trabajaran en conjunto y no

se ponen las pilas, podríamos tener problemas con la protección al ambiente, pero para nuestra tranquilidad sí lo están haciendo.

–*Petro*, no sé qué decirte, sólo que te agradezco infinitamente todo esto que me has... nos has enseñado. Me queda claro que es fascinante este mundo de los yacimientos petroleros convencionales y el de los no convencionales. Mil gracias. Brinqué para alcanzarlo, me colgué de su cuello y le di un beso en el cachete. En cuanto terminé de hacerlo él se agachó, puso una rodilla en el suelo y besó en ambas mejillas a Marinora. Y así, sin más ni más se esfumó... desapareció. Aunque en mi vida siempre estará presente mi gran amigo *Petro*.



A migos, este libro es el tercero de una serie de cuatro, la cual inició con *El fascinate mundo del petróleo*. Es un intento que hace el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para que ustedes se interesen en conocer qué sucedió, sucede y sucederá en *El fascinante mundo de los yacimientos no convencionales y la protección al ambiente*; pero asimismo y de mayor valor, lo que el IMP desea, es que a ustedes se les despierte la curiosidad o el gusanito para querer saber más sobre estos temas, y por lo tanto, se interesen en estudiar carreras relacionadas a la industria del petróleo y el gas natural; pues estas profesiones les podrán dar un sinfín de satisfacciones, logros y orgullo de trabajar para ustedes y su familia, pero sobre todo para y por nuestro querido México. Así las cosas, nos vemos en la siguiente publicación: *El fascinante mundo de la transformación industrial del petróleo*. Hasta entonces.

Miguel Ángel Aguilar Ramírez, estudió Ciencias de la Comunicación en la UNAM. Colaboró en diversas revistas como: *Información Científica y Tecnológica* del Conacyt; *Desarrollo sustentable*; y *Yacimiento*. Una de sus novelas, tiene como eje central el *Proyecto Genoma Humano*.

