



SHALE GAS - LOS YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES: ORIGEN DEL SHALE GAS

JOSÉ FRANCISCO LONGORIA TREVIÑO

RESUMEN

El shale gas tiene su origen en la acumulación de materia orgánica en cuencas marinas. En Norteamérica el gas de lutita (shale gas) es una fuente emergente de gas natural de bajo costo. El gas natural es una fuente de energía abundante y relativamente limpia al quemarse. Se ha convertido en un combustible popular tanto para aplicaciones residenciales como industriales.

De acuerdo con los datos recientes se estima que el suministro de gas natural derivado de yacimientos no convencionales (gas de lutita – shale gas) durará más de 100 años. El gas natural ofrece un replazo potencial para sustituir a los combustibles fósiles que producen gases de efecto invernadero y que en la actualidad se usan en la generación de energía, calefacción y transporte. Las emisiones de gas de efecto invernadero de la combustión de gas natural son aproximadamente 30% más limpias que aquellas que se derivan del aceite y 45% más limpias que las del carbón.

Palabras clave: Shale gas, gas de lutita, hidrocarburos no convencionales, play Agua Nueva, play La Casita.

ABSTRACT

Shale gas has its origin in the accumulation of organic matter in marine basins. In North America shale gas (gas de lutita) is an emerging source of low-cost natural gas. Natural gas is a source of abundant energy and relatively clean burning. It has become a popular fuel both for residential applications as well as industrial uses. According to recent data, it is estimated that the supply of natural gas derived from non-conventional deposits (shale gas – gas de lutita) will last over 100 years. Natural gas offers a potential replacement to replace fossil fuels which produce gases with greenhouse effect and that are currently used in the generation of energy, heating and transport. The greenhouse gas (GHG) emissions of natural gas combustion are approximately 30% cleaner than those derived from oil and 45% cleaner than the coal.

Keywords: Shale gas, non-conventional deposits, play Agua Nueva, play La Casita.

DR. JOSÉ FRANCISCO LONGORIA TREVIÑO
ESI- Universidad Autónoma de Coahuila,
Instituto Longoria de Investigaciones
Científicas Aplicadas,
Earth and Environment Department,
Florida International University
Correo: longoria@ilica-mx.org

*Autor para correspondencia: Dr. José F. Longoria Treviño
Correo electrónico: longoria@ilica-mx.org
Recibido: 23 de Marzo del 2015
Aceptado: 22 de Abril del 2015
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

En tiempos recientes hay un creciente interés por la explotación de yacimientos de hidrocarburos no convencionales y en particular del shale gas (gas de lutita). Del gas de lutita se ha dicho que representa el futuro de la explotación de hidrocarburos y aún más, se piensa que el gas extraído de las lutitas dará la independencia energética a países altamente desarrollados como los Estados Unidos. Asimismo, se estima que el shale gas (gas de lutita proporcionará a México una estabilidad energética ligada a la reciente reforma energética del país. Sin embargo, al mismo tiempo que se ha detonado este boom petrolero [1] también ha emergido una fuerte oposición por parte de los ambientalistas quienes han cuestionado los beneficios de esta actividad petrolera en México, ya que están preocupados por el impacto medioambiental que la exploración y sobre todo la explotación de estos hidrocarburos no convencionales pueda causar a las regiones en donde se proyecta una actividad de exploración-explotación de gas de lutita. Fundamentalmente esta actividad se concentrará en los estados norteños incluyendo Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Por lo mismo es importante tener un conocimiento claro de lo que es el gas de lutita (shale gas), su origen, métodos de exploración y métodos de explotación y entonces poder evaluar su impacto ambiental y su impacto económico.

La intención del presente artículo es dar a conocer de una forma sencilla y explícita, sin las complicadas terminologías técnico-geológicas y geofísicas que se utilizan en el trabajo de exploración de los yacimientos no convencionales, sino más bien, con un lenguaje que esté al alcance del lector neófito de la ciencia geológica con el objetivo de hacer énfasis en la distribución del conocimiento a nivel general acerca del gas de lutita (shale gas). La adquisición de este conocimiento general sobre el gas de lutita, su origen, exploración y explotación, es de fundamental importancia para así lograr tener una opinión

y puntos de vista informados que coadyuven a tomar decisiones y opiniones educadas. El presente análisis del gas de lutita se enfoca en el origen y caracterización los yacimientos de gas de lutita

EL ORIGEN Y CARACTERIZACIÓN DEL GAS DE LUTITAS

En el norte-noreste de México con mucha frecuencia se encuentran depósitos de rocas ricas en materia orgánica que se reconocen a simple vista por su coloración gris oscura a negra y por su olor fétido al golpe del martillo (Figura 1). Se trata de lutitas gasíferas (shale gas) por lo que surgen las preguntas: ¿Cuál es el origen de los depósitos ricos en materia orgánica? y ¿Qué es el gas de lutita (shale gas)?



Figura 1. Fotografía de campo mostrando un afloramiento (exposición de campo) típico de lutita gasífera en el estado de Nuevo León. Las capas de lutita están intercaladas con estratos de calizas arcillosas. Nótese la coloración gris oscura a negra de las rocas, denotando la riqueza en materia orgánica.



El origen de los depósitos de rocas ricas en materia orgánica

Para entender el origen de las lutitas gasíferas (shale gas) es necesario recurrir al pensamiento geológico de que el presente es la clave para entender el pasado por lo mismo en estudios geológicos es frecuente recurrir a modelos análogos recientes, en caso de los depósitos de rocas ricas en materia orgánica recurrimos al Mar Negro (Figuras 2 y 3) como modelo análogo para entender cómo se formaron las lutitas gasíferas que de origen son ricas en materia orgánica. En la figura 3 se muestra una representación de la zonificación de las aguas en una cuenca tipo Mar Negro. Se observa que las aguas superiores (en azul claro) mantienen una circulación abierta, claramente oxigenadas, mientras que las aguas más profundas delimitadas por la morfología de la cuenca (en verde claro) son aguas desprovistas de oxígeno, es decir, son anóxicas. En el fondo o piso de la cuenca se acumula la materia orgánica junto con sedimentos finos los cuales darán origen a las lutitas gasíferas de color gris oscuro a negro.

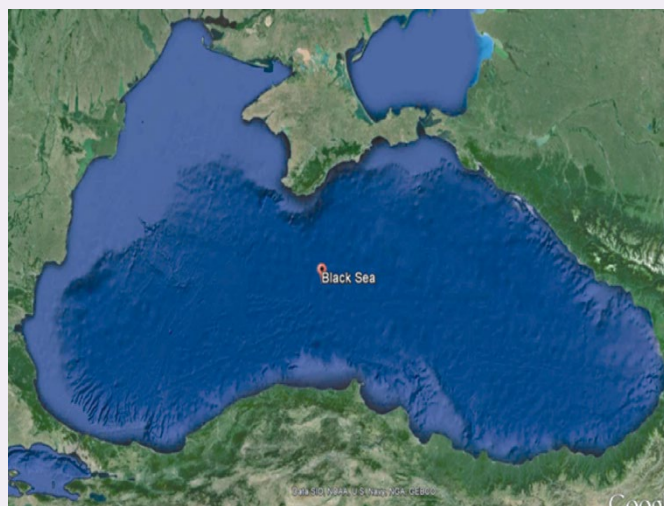


Figura 2. Mapa índice del Mar Negro y su caracterización oceánica. Imagen tomada de Google Earth.

La existencia de cuencas marinas con la morfología y dinámica requerida para la acumulación de materia orgánica asociada a sedimentos finos (lutitas) está controlada por la paleogeografía, es decir por la distribución de masas de aguas y tierras positivas. Cabe mencionar que la configuración paleogeográfica del mundo ha sido muy cambiante y regulada por la dinámica de las placas tectónicas. En el caso del continente norteamericano el avance de las aguas marinas desde el Golfo de México/ Atlántico ha sido constante entre el intervalo de tiempo geológico comprendido entre 152 a 94 millones de años correspondientes al Jurásico Superior y al Cretácico Superior respectivamente. Esos intervalos corresponden a la generación de lutitas gasíferas en el norte de México.

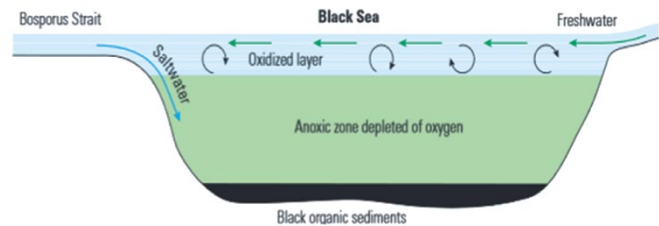


Figura 3. Origen de los yacimientos de hidrocarburos. Nótese la zonificación vertical de las aguas marinas en una cuenca tipo Mar Negro y la acumulación de materia orgánica.

Las reconstrucciones paleogeográficas establecidas por Scotese [2] sirven de modelo de trabajo para visualizar la distribución de aguas marinas someras en el continente Norteamericano, destaca la distribución de mares que resultó en la extensión de las aguas marinas a lo largo de Norteamérica y su clara presencia en el norte de México en donde se llevó a cabo la acumulación de sedimentos finos (lutitas) ricas en materia orgánica.

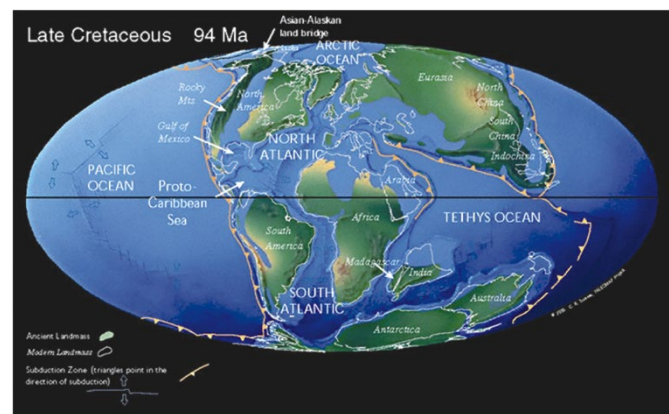


Figura 4A. Reconstrucción paleogeográfica del mundo en el Cretácico tardío (94 millones de años). Mapa paleogeográfico por Scotese [2].

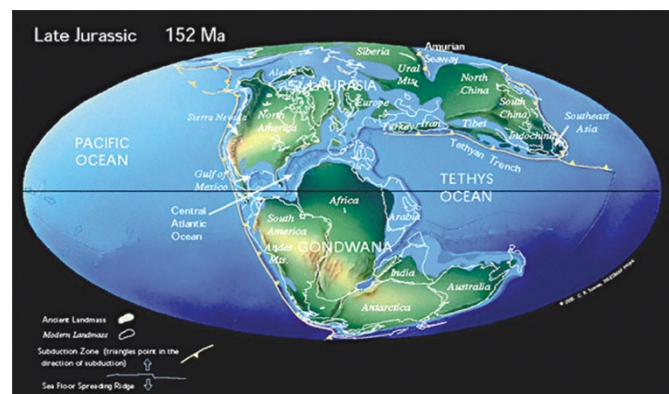


Figura 4B. Reconstrucción paleogeográfica del mundo en el Jurásico tardío (152 millones de años). Mapa Paleogeográfico por Scotese [2].

En el norte de México durante el Cretácico Superior (Figura 4A) se acumularon grandes espesores de sedimentos finos derivados de la erosión de las masas continentales adyacentes a los cuerpos de agua (cuencas). Estos sedimentos finos, a través del tiempo geológico, miles a millones de años, se depositan en el fondo marino para luego compactarse y formar una roca muy densa y compacta conocida como *lodolita*, dando lugar a las acumulaciones de rocas que son designadas con diferentes nombres: Formación Ojinaga en Chihuahua, Formación Eagle Ford en Coahuila, y Formación Agua Nueva en Nuevo León y Tamaulipas.

Durante el Jurásico tardío (Figura 4B) en el norte de México se acumularon potentes espesores de lutitas gasíferas que se conocen como Formación La Casita.

Por su naturaleza paleogeográfica estos dos intervalos estratigráficos (Jurásico Superior y Cretácico Superior) son en México los tiempos de mayor acumulación de lutitas ricas en materia orgánica y consecuentemente es donde se concentra la generación de hidrocarburos tanto de gas como de aceite. Esto se debe a que los asentamientos geológicos en el norte de México durante esos tiempos fueron ideales. En las figuras 5 y 6 se muestra la reconstrucción ambiental que prevaleció durante esos intervalos en el norte-noreste de México.

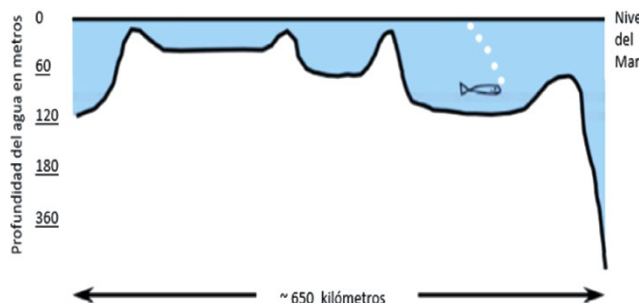


Figura 5. Perfil batimétrico generalizado que muestra las profundidades de las aguas marinas en el norte de México durante el Cretácico Superior. Este esquema es aplicable a las acumulaciones de lutita rica en materia orgánica del norte de México. Este asentamiento paleogeográfico da origen al depósito de las formaciones gasíferas conocidas como Agua Nueva en Tamaulipas y Nuevo León, Indidura, Parras y Eagle Ford en Coahuila, y Ojinaga en Chihuahua.

En la figura 4A se muestra el mapa de la reconfiguración geográfica del mundo hace 152 millones de años, es decir, durante el Jurásico Superior, en el cual se observa que las aguas marinas del antiguo Golfo de México habían iniciado una transgresión, es decir, avanzado sobre el continente migrando en dirección de sureste al noroeste, por lo que las aguas marinas avanzaron al oeste-noroeste en lo que corresponde al norte de México y sur de Texas.

En la figura 6 se muestra la reconstrucción de la Cuenca de Sabinas durante el Jurásico en donde se

observa que en ese tiempo existieron varias áreas en las cuales la circulación de las aguas marinas era restringida, dando así origen a los depósitos ricos en materia orgánica de la Formación La Casita. Esta es una de las unidades estratigráficas generadoras de hidrocarburos de México y se considera como la roca generadora de los grandes yacimientos de aceite del sureste de México, sobre todo de la sonda de Campeche (Ángeles-Aquino) [3]

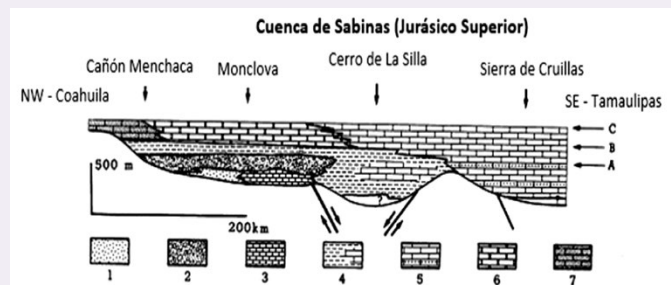


Figura 6. Reconstrucción paleogeográfica con orientación SE (norte de Tamaulipas) al NW (centro de Coahuila) de la Cuenca de Sabinas mostrando los tipos de rocas sedimentarias marinas depositadas durante el Jurásico Superior. Las unidades líticas reconocidas en esa región son: (1) El Yeso Minas Viejas, (2) la Formación La Gloria, (3) la Caliza Zuloaga, (4) la Formación La Casita, (5) la Caliza San Ángel, (6) la Formación Taraises, (7) la Formación Menchaca. Las líneas de tiempo están marcadas por los biohorizontes definidos por (a) la primera aparición de la amonita *Idoceras*, (B) la primera aparición del *calponellido* *Calpionella alpina*; (C) la primera aparición de *Calpionella elliptica*. Se infiere que durante ese tiempo existieron varias áreas en las cuales la circulación de las aguas marinas era restringida dando así origen a los depósitos ricos en materia orgánica de la Formación La Casita, la cual es considerada como la roca generadora de los grandes yacimientos de hidrocarburos del sureste de México. En la actualidad se considera la Formación La Casita como una de las principales rocas potencialmente explotable como yacimiento de hidrocarburos no convencionales tanto de gas como de aceite en el norte de México [4].

Origen de las lutitas

Una lodolita está formada por partículas muy pequeñas del tamaño del limo y la arcilla, es decir, la lodolita tiene partículas o granos menores de 0.0625 mm, el límite de tamaño de grano entre el limo y la arcilla se sitúa en 0.0039 mm. La acumulación de esos sedimentos sin compactar se les conoce como lodo. La lodolita es una roca compacta de la acumulación de lodo, con fractura concoide y de coloración variable dependiendo de su contenido de minerales secundarios, pero aquellas ricas en materia orgánica tienden a ser de color gris oscuro a negro. La lodolita al estar expuesta a fuertes presiones y temperaturas se sigue compactando para dar origen a



una laminación muy pronunciada o fisilidad y entonces se convierte a lutita (shale) la cual se caracteriza por su marcada fisilidad y fracturación en láminas delgadas. La lutita expuesta a más compactación por presión y temperatura se transforma a pizarra o argilita la cual ha sufrido metamorfismo de bajo grado. Las rocas de grano fino, lodolitas y lutitas comprenden el 65% de todas las rocas sedimentarias de la corteza terrestre, de ahí su impacto como rocas potencialmente generadoras de yacimientos de hidrocarburos no convencionales.

La lutita contiene minerales de grano muy fino los cuales están separados por espacios conocidos como POROS. Las moléculas de gas natural y el aceite que están almacenados en la lutita son muy variables dependiendo de: 1) la cantidad de espacio poroso vacío, 2) la cantidad de materia orgánica presente, 3) la presión de yacimiento y, 4) la madurez térmica de la roca. La madurez térmica de la roca mide la presión y temperatura a la que está expuesta la roca. También mide si la generación de aceite y gas se llevó a cabo durante este proceso.

Durante el pasado geológico hubo depósitos de estos sedimentos finos tanto en lagos como en aguas marinas los cuales con frecuencia contenían fragmentos de plantas y animales. A través de los años (miles a millones de años) los sedimentos que contenían material orgánico se compactaron y solidificaron a través del sepultamiento y con el aumento de la temperatura y presión formaron lodolitas y luego lutitas ricas en materia orgánica. Esta materia orgánica finalmente genera aceite y gas por el proceso de descomposición influenciado por la temperatura y la presión, esos hidrocarburos en muchos casos migran hacia otras rocas más porosas tales como areniscas y calizas fracturadas formando de esta manera un yacimiento convencional de aceite y gas (Figura 7).



Figura 7. De Lodolita a Lutita. Foto superior: Ejemplar típico de lodolita del Cretácico Superior de Nuevo León.

Foto inferior: Las lodolitas originales cuando se ven expuesta a procesos estructurales adquieren fisilidad y se convierten en lutitas las cuales pueden llegar a fracturarse con lo que se forma un sistema natural de flujo para el aceite y el gas natural hacia el pozo. El color puede variar de café oscuro a gris hasta completamente negro tal y

como se observa en muchos ejemplos de lodolitas negras del Jurásico del noreste de México las cuales se asignan a la Formación La Casita. Mientras que las lodolitas de la Formación Agua Nueva varían de café pardo a gris oscuro.

¿Qué es el gas de lutita (shale gas)? ¿Cuál es la diferencia entre gas natural, gas natural líquido, shale gas, oil shale y metano?

Shale gas es gas natural, no tan diferente como el que usamos en las casas tanto para calefacción como para cocinar, o para generar electricidad. Este gas se entrapa en las lodolitas que al compactarse y transformarse en lutitas conservan e incluso concentran la cantidad de gas atrapado en los poros.



Figura 8. La clásica flama azul del gas natural tan utilizada en usos domésticos. Fuente: Google Images.

El gas natural (Metano) es un gas inodoro e incoloro, formado en gran parte durante millones de años en el subsuelo. Está hecho de una variedad de compuestos, pero el metano es el más significativo. El gas natural es un combustible fósil, liberando gases de efecto invernadero cuando es quemado (Figura 8), pero es menos contaminante para la atmósfera que el carbón, liberando aproximadamente la mitad de sus emisiones de carbono. La fórmula química del metano es CH_4 (Figura 9). Cuando se extrae del subsuelo, el gas natural además de metano puede contener otros gases tales como etano, propano y butano, también incluye impurezas como agua y azufre todos esos compuestos se remueven para otras aplicaciones.

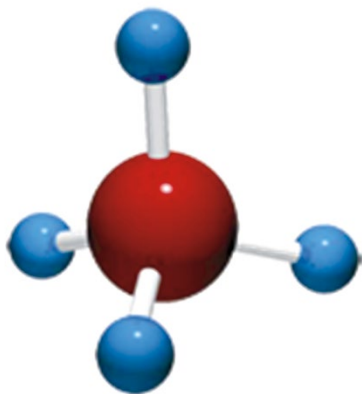


Figura 9. Representación gráfica de la molécula de metano formada por CH_4 . Fuente: Google Images

El shale gas (gas de lutita) se extrae por el método de fracking o fracturamiento hidráulico de la lutita. Se estima que un 35 por ciento de rocas superficiales del mundo son lutitas de ahí el impacto comercial potencial; sin embargo, la explotación de gas de lutita por el método de fracking es considerado como potencialmente dañino para el medio ambiente (ver discusión más adelante en este artículo). Como ejemplo, se calcula que tan solo en el norte de Inglaterra hay 1300 trillones de pies cúbicos de gas de shale gas.

De acuerdo a la International Energy Agency [5] la explotación de shale gas tiene el potencial de traer consigo una transformación total de sistema energético mundial a medida que diferentes países desarrolla este recurso.

Aceite de lutita shale oil, por medio del fracking, usado en la extracción de shale gas, se puede también obtener el shale oil o aceite de lutita. En Estados Unidos la Energy Information Administration [6] estima que el shale oil representa un 10 % de los recursos de crudo.

Gas natural licuado (gas LP) o Liquefied natural gas (LNG). El gas natural líquido se obtiene por el enfriamiento del gas natural a temperaturas del orden de los $-160^{\circ}C$, con lo cual se crea un líquido incoloro, no tóxico que es 600 veces más pequeño que el gas natural, lo cual reduce el volumen y facilita su transportación sea por tierra o por mar. En el noreste de México el gas LP se procesa en el Centro de Procesado de Gas Burgos en el estado de Tamaulipas (Figura 10) [7]. En la actualidad el exportador más grande de gas natural líquido es Qatar el cual envía grandes buques tanques a todo el mundo.



Figura 10. Centro de Procesado de Gas Burgos en el estado de Tamaulipas [7].

Diferencia entre el gas LP (LPG Liquefied Petroleum Gas) y el gas natural. El gas LP (LPG) incluye más de un tipo de gas, por lo que hay varios hidrocarburos gaseosos que caen en la categoría de gas LP, la característica de ellos es que pueden ser comprimidos a líquido a presiones relativamente bajas de ahí su nombre LPG (Liquefied

Petroleum Gas). Los dos gases LP más comunes (Figura 11) son el propano (C_3H_8) y el butano. (C_4H_{10}). La diferencia entre LPG y gas natural incluye:

- 1.- *El contenido de energía:* el LPG tiene un valor calorífico o contenido de energía más alto de tal forma que se necesita menos gas para producir la misma cantidad de calor.
- 2.- *La proporción de oxígeno para la combustión:* El gas LP requiere una proporción de oxígeno a gas de 25:1. El gas natural requiere de una proporción de 10:1.

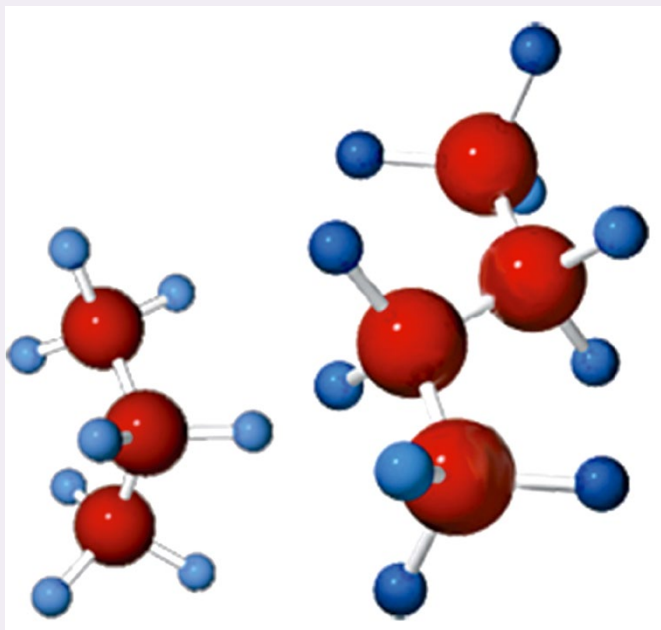


Figura 11. Representación gráfica de la molécula de propano (C_3H_8) y el butano. (C_4H_{10}). Fuente: Google Images.

El etano. (C_2H_6) Es un gas incoloro, inodoro de la serie del metano presente en el gas natural y en el petróleo crudo. Se usa principalmente en la síntesis orgánica y como gas combustible.

El metano de los estratos de carbón o Coal bed methane (CBM) El metano se encuentra en forma natural en el subsuelo dentro de las reservas de carbono. Este gas se puede extraer usando una variedad de técnicas. En comparación con el shale gas la cantidad de gas que se puede obtener de depósitos de carbón es muy pequeña.

CONCLUSIONES

Con base en las características litológicas, de contenido de materia orgánica y su origen marino se considera que en México existe un potencial alto para localizar yacimientos de shale gas en el noreste de México en donde la historia geológica permite identificar el desarrollo paleogeográfico de cuencas ricas en lutita con alto contenido en materia orgánica durante el Jurásico Superior (Formación La Casita)

y el Cretácico Superior (Formaciones Agua Nueva/Eagle Ford). Sin embargo, aún hacen falta estudios estratigráficos-estructurales detallados y análisis geoquímicos de esas rocas que permitan conocer la naturaleza de la materia orgánica contenida en las lutitas y determinar su evolución a través de la historia térmica de la región durante el sepultamiento. Esto permitirá entonces evaluar los prospectos y definir los plays existentes.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los dos revisores del manuscrito de este trabajo por sus atinadas sugerencias y comentarios. El presente trabajo se realizó con el apoyo de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila a través de una beca PROMEP.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Ziemkiewicz, P.F; Quaranta, J.D.; Darnell, A. and Wise, R. 2014. Exposure pathways related to shale gas development and procedures for reducing environmental and public risk. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 16, p. 77-84.
- 2) PALEOMAP Project. www.scotese.com
- 3) Ángeles Aquino, F. 1996. Estratigrafía del Jurásico Superior del subsuelo de la sonda de Campeche (Golfo de México), Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Tesis de Maestría.
- 4) Longoria, J.F. 1984. Stratigraphic studies in the Jurassic of northeastern Mexico: Evidence for the origin of the Sabinas Basin. GCSSEPM Foundation Third Annual Research Conference Proceedings, March 1984, p 171-193.
- 5) International Energy Agency. <http://www.iea.org/>
- 6) U.S. Energy Information Administration (EIA). <http://www.eia.gov/>
- 7) Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2012-2026. http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PGLP_2012_2026.pdf

