

# Los hidratos de metano

Por *Patricio A. Marshall*,

consultor, Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental

En los últimos años se ha incrementado el interés por los hidratos de metano que son compuestos naturales conocidos desde el siglo XIX y se los considera como potenciales recursos energéticos. También, se comenzó a interpretarlos como un factor importante a tener en cuenta en los estudios de cambio climático global y manejo de los gases que provocan el “efecto invernadero”.

Por otra parte, y como derivación de las investigaciones que se vienen realizando, se los relaciona con su potencial capacidad para almacenar y transportar gas.

En nuestro país, las expectativas de encontrar hidratos de metano se restringen a los fondos marinos de nuestra extensa Plataforma Continental, a partir de una cierta profundidad determinada por la columna de agua que genere la presión necesaria para que los hidratos sean estables a las temperaturas reinantes.

Los hidratos de metano, un caso particular de los hidratos de gases, son compuestos naturales conocidos desde el siglo XIX, aunque el interés sobre ellos se ha incrementado en los últimos años.

Son sólidos cristalinos compuestos por agua y metano, estables en condiciones de bajas temperaturas y altas presiones, situación que se da en la naturaleza tanto en los fondos marinos como en tierra firme, en altas latitudes en zonas de suelos congelados o “*permafrost*”. Inicialmente, se los consideraba como una curiosidad científica o un inconveniente ingenieril. En efecto, el interés en los



Patricio A. Marshall

hidratos de metano para la industria del petróleo estuvo relacionado con los problemas que ocasionan al depositarse en las cañerías de producción y transporte disminuyendo el caudal y llegando a obstruir el paso en los conductos, generando altas presiones muy peligrosas. Debido a esto, ha habido avances en la investigación de su estructura, propiedades físicas y técnicas para su remoción.

Al mismo tiempo, se los comenzó a considerar como potenciales recursos energéticos y también a interpretarlos como un factor importante a tener en cuenta en los estudios de cambio climá-

tico global y manejo de los gases que provocan el “efecto invernadero”. Otra derivación de las investigaciones se relaciona con su potencial capacidad como compuesto para almacenar y transportar gas.

Los hidratos de gases son compuestos conocidos desde 1811, cuando H. Davy descubrió la existencia de hidratos de cloro y posteriormente se comprobó que otros gases también formaban este tipo de compuestos. Presentan la particularidad de presentarse como sólidos cristalinos, similares al hielo, y con una composición variable según las condiciones físicas al momento de su formación. Resultan de la combinación de moléculas de agua que se disponen en una estructura reticular de simetría cúbica que alberga entre el reticulado moléculas de un gas –que puede ser  $\text{CO}_2$ –, un hidrocarburo liviano y en menor medida otros gases. Genéricamente se los denomina *clatratos*, término que deriva del latín y significa “enjaulado”.

En la naturaleza, los más comunes

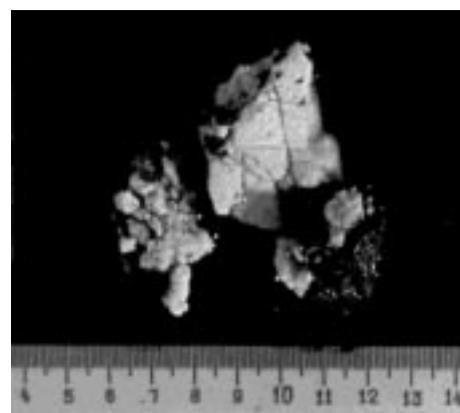


Figura 1 • Los hidratos de metano son compuestos naturales que se presentan en forma de sólidos cristalinos cuya composición es principalmente agua y metano. Su apariencia es similar a la del “hielo seco”.

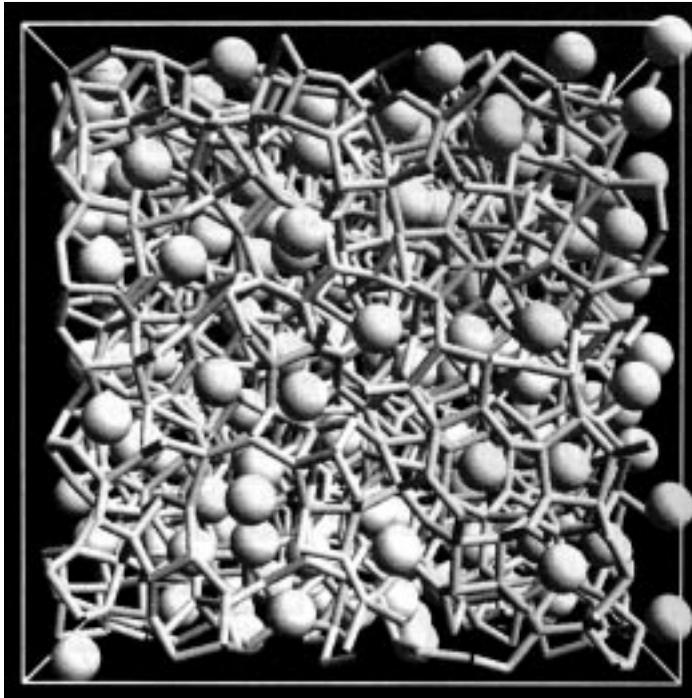


Figura 2 • Modelado por computadora de la estructura cristalina del hidrato de metano. Se observa el denso reticulado de simetría cúbica conformado por las moléculas de agua, las esferas en su interior representan las moléculas de metano.

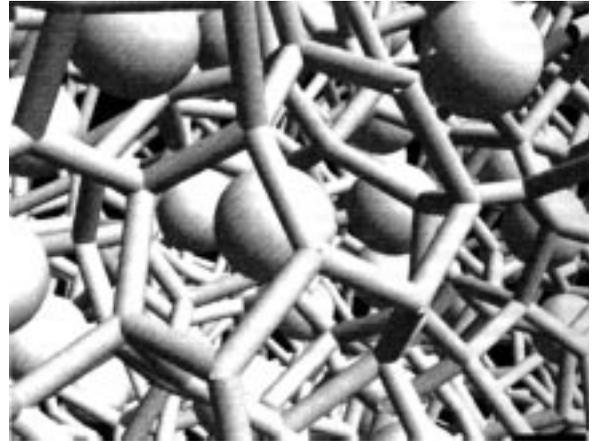


Figura 3 • Dentro del espacio reticular del agua cristalizada se alojan las moléculas (de mayor tamaño) del compuesto que normalmente se presentaría en estado gaseoso.

son combinaciones de metano y agua, por lo que generalmente se toman como sinónimos los términos hidratos de metano e hidratos de gases, pero en menor proporción pueden albergar también etano, propano y hasta butano. Como consecuencia de su composición variable, también lo son sus propiedades físicas, lo que dificulta su estudio y correcta caracterización.

Estudios sobre la composición isotópica de los gases ( $\delta_{13}C$ ) permiten afirmar que su origen puede ser tanto biogénico como termogénico, en este último caso son la expresión de un escape de gas originado en profundidad y entrampado al encontrar las condiciones de formación de los clatratos. Esta última situación lleva también a considerar su participación como elemento sellante que impide la migración y difusión gaseosa, permitiendo la acumulación de gas en trampas estratigráficas no convencionales.

La distribución de sus acumulaciones reconocidas está condicionada exclusivamente por la combinación de bajas temperaturas y relativamente altas presiones. Así hay depósitos de hidratos tanto en regiones con suelos congelados (en Siberia, Alaska y Canadá) como en fondos marinos a diferentes profundidades (Golfo de México, costas

este y oeste de los Estados Unidos, Fosa de Nankai en Japón, etc.).

La identificación de los hidratos de metano es posible en líneas sísmicas debido a que los sedimentos cementados por los hidratos representan un depósito con muy alta velocidad (aproximadamente 3,3km/seg, alrededor del doble de la del agua salada). Debajo de las zonas con hidratos las velocidades son menores debido a que los sedimentos infrayacentes contienen en sus poros sólo agua (con velocidad de alrededor de 1,5km/seg) y a veces incluso gas libre entrampado por la baja permeabilidad de las capas con hidratos. El contraste de velocidad creado entre ambas zonas produce una reflexión muy fuerte cuya traza es paralela a la del fondo

marino, y que por ello fue denominada "Reflexión simuladora del fondo" o en inglés "*Bottom Simulating Reflection*" o *BSR*.

Otra característica significativa de los sedimentos que albergan hidratos es el *blanking* o reducción de la amplitud (fuerza) de las reflexiones aparentemente causada por la cementación por los hidratos homogeneizando las capas que forman reflectores. Este efecto se produce a lo largo de toda la zona que aloja hidratos y puede ser cuantificada

Figura 4 • Los hidratos se pueden presentar en forma masiva, "cementando" los sedimentos, o en forma de láminas o nódulos. Esto depende de las propiedades petrofísicas iniciales de los sedimentos huésped (porosidad y permeabilidad) y de las condiciones físico-químicas al momento de su formación (variaciones locales de las condiciones de presión y temperatura, variaciones de salinidad, variaciones en la concentración relativa de los componentes, etc.).



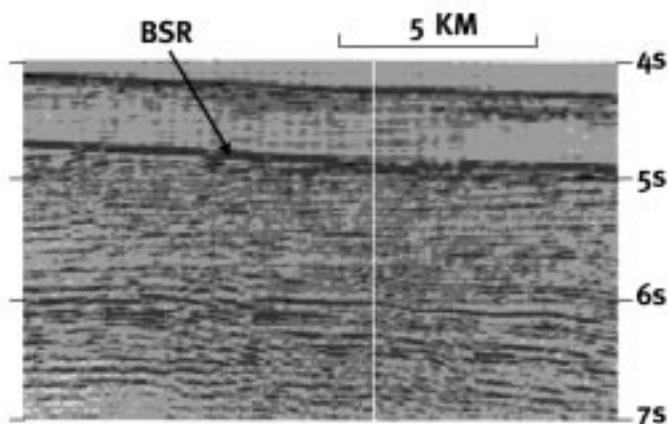
para estimar la cantidad de hidratos presentes.

A la variación en las propiedades físicas de los hidratos de metano (conductividad eléctrica, densidad, velocidad acústica, impedancia, etc.) según su composición (en el caso que nos interesa, metano puro o metano y otros hidrocarburos), hay que sumar la complejidad que resulta al combinar las mismas con las propiedades petrofísicas de las rocas que los contienen. Como particularidades se puede citar que los hidratos de gas aumentan drásticamente los valores de las resistividades eléctricas y velocidades elásticas de los sedimentos que los contienen, el valor de la densidad del hidrato de metano en sí es de  $0,91\text{g/cm}^3$ , los valores de porosidad de los sedimentos reservorio pueden ser de hasta 30%, y las saturaciones medidas pueden llegar a ser del 60%, aunque muy variables en el mismo reservorio. Los cálculos con perfiles eléctricos requieren un tratamiento especial, ya que para calcular  $R_w$  hay que tener en cuenta que al cristalizar los hidratos hay un descenso de la salinidad en el agua connata, lo que da lugar a incertidumbres en cuanto a los valores base de salinidad del agua.

Como en toda evaluación, los factores de porosidad y saturación de agua son cruciales. Aquí cabe recordar que al ser los hidratos sólidos cristalinos, la cantidad de metano alojado en los mismos, y por lo tanto en los poros del reservorio, es mucho mayor que en un reservorio convencional. El factor de expansión al liberarse el metano de la fase sólida a la gaseosa, hace que se deba considerar un factor de volumen de entre 160 y 184, es decir que de un volumen unitario de hidrato sólido se obtienen 160 a 184 volúmenes de metano en fase gaseosa (Collet 1998; Max *et al.* 1997). Este rango de valores se explica por la variación en la estructura cristalina ante la posible presencia de otros gases, que puede traducirse en la proporción del metano alojado.

En nuestro país, no hay zonas donde se desarrolle con características de "permafrost", de manera que las expectativas de encontrar hidratos de metano se restringen a los fondos marinos de nuestra extensa Plataforma Continental,

Figura 5 • Ejemplo de BSR.



a partir de una cierta profundidad determinada por la columna de agua que genere la presión necesaria para que los hidratos sean estables a las temperaturas reinantes.

En efecto, la existencia de hidratos

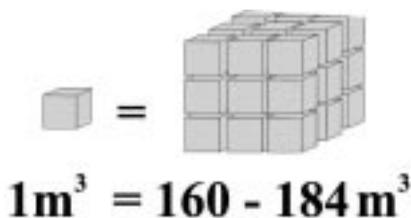


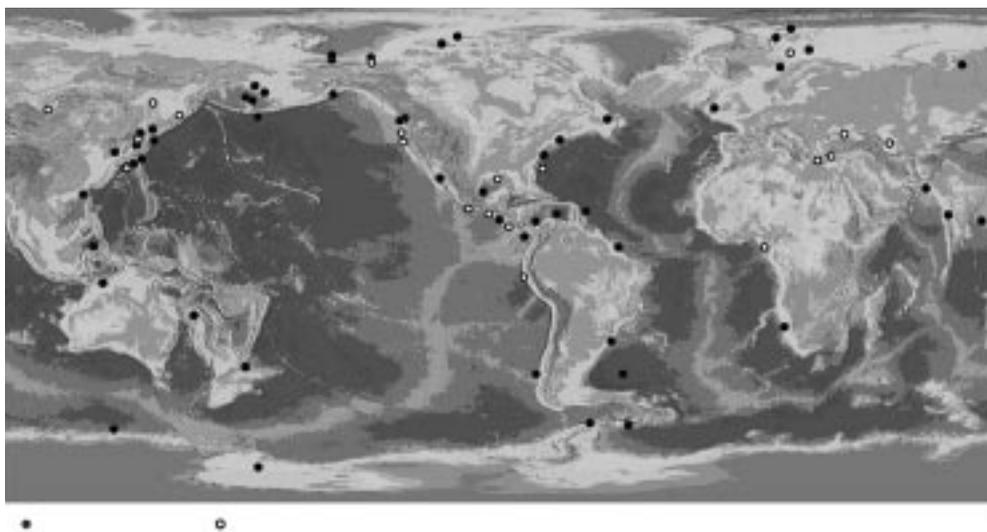
Figura 6 • Relaciones volumétricas.

de metano está condicionada por los rangos de presión y temperatura que permiten su existencia. En un gráfico de Presión (o lo que es lo mismo, Profundidad de la columna de agua y sección superior de sedimentos) vs. Temperatura, la línea que une los puntos de equilibrio entre el hidrato (sólido) y el gas disuelto, marca los límites y cómo varían éstos con la profundidad considerada y el gradiente térmico presente.

En el agua, el gradiente térmico varía gradualmente desde la superficie hasta que se estabiliza la temperatura en un valor casi constante hasta el fondo marino. A partir de ese punto, comienza a intervenir el gradiente geotérmico presente en el área.

En la figura 8, se observan dos cur-

Figura 7 • Distribución mundial de hidratos de metano identificados (modificado de Kvenvolden, 1993).



vas de equilibrio, una de ellas determinada para un hidrato de metano y otra para un hidrato de metano + otros hidrocarburos más pesados, que hacen que su densidad sea  $0,6\text{g/cm}^3$ . Obsérvese que este último es estable a temperaturas más elevadas que los hidratos de metano puro.

Se observa que la zona de estabilidad para cada caso (Zona de Estabilidad del Hidrato de Gas o ZEHG), o intervalo de profundidad en que es posible encontrar hidratos, queda definida por los dos puntos en la curva de equilibrio: la profundidad del fondo (presión y temperatura imperantes en la superficie del lecho marino) y la intersección con la curva de gradiente geotérmico. Es evidente que en el caso de gradientes más elevados el espesor de la ZEHG será menor que en el caso de gradientes más bajos.

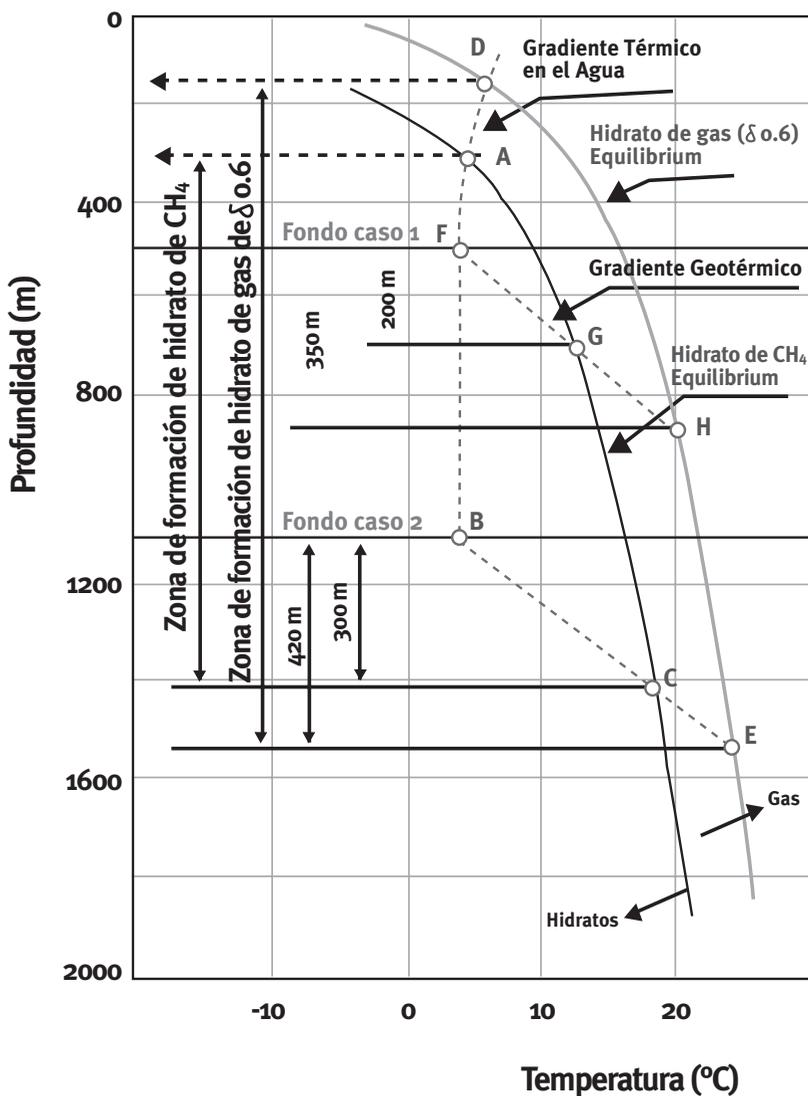
Esta situación de la existencia y espesor de las zonas donde los hidratos son estables resulta entonces de la combinación de: la temperatura del fondo, magnitud del gradiente geotérmico, presión hidrostática, composición del gas involucrado y capacidad de los sedimentos como reservorios. Como se puede apreciar, algunas de estas variables, en el estado actual del conocimiento de la Plataforma Continental Argentina, son altamente conjeturales, y se hace necesario emplear analogías con zonas que poseen estudios más avanzados.

A las dificultades en cuanto a la perforación en depósitos de hidratos (inestabilidad de los fluidos de perforación por incorporación del gas que se disocia al perforarse, problemas de presiones y riesgos implicados) se deben sumar las inherentes al sistema de producción en sí.

Los sistemas de producción propuestos generalmente se basan en la disociación o “fundido” de los hidratos *in situ*, mediante alguno de los siguientes métodos:

1. **Calentando el reservorio** por encima de las temperaturas de estabilidad de los hidratos empleando inyección de agua o vapor.
2. **Inyectando inhibidores**, tales como metanol o glicol, para disminuir la estabilidad de esos hidratos; y

Figura 8 • Gráfico de estabilidad de hidratos de metano.



3. **Disminuyendo la presión** del reservorio por debajo de la de equilibrio, permitiendo la liberación del gas metano contenido.

Todos estos métodos son técnicamente posibles, pero inicialmente antieconómicos, aunque hay avances que permiten estimar que en algunos casos se podrán poner en producción en un futuro cercano algunas de las acumulaciones estudiadas. Los mayores avances se han registrado en Japón, Canadá, Estados Unidos y la India con proyectos que antes eran subeconómicos y ya son considerados marginales o cercanos a ser económicamente viables (Milkov *et al.* 2002).

En los últimos tiempos se comenzó a considerar a los hidratos de gas no sólo como potenciales recursos energéticos sino también a interpretarlos como un factor importante a tener en cuenta en los estudios de cambio climático global. El metano es segundo en importancia de los gases que provocan el “efecto invernadero”, y su liberación a partir de depósitos de hidratos de los fondos marinos puede aumentar ese efecto. Se está evaluando la situación paradójica que al aumentar la temperatura media de las masas de agua, los depósitos de hidratos estables a una cierta profundidad y temperatura dejarían de serlo, liberando metano, que a su vez provocaría un nuevo aumento de la temperatura. Por otro



Figura 9 • **Pellets de hidratos de metano, que permitirían su transporte en modo seguro y económico desde instalaciones en alta mar.**

lado, también las variaciones en el nivel del mar (y consecuente presión de la columna de agua) afectan la estabilidad de los hidratos.

Al haberse desarrollado una tecnología de producción de metano a partir de hidratos, disociándolos y reemplazando el metano por CO<sub>2</sub>, se ha comenzado a especular sobre el uso de los hi-

dratos como repositorios de CO<sub>2</sub>, como secuestrantes del mismo.

Además, y como derivación de las investigaciones actuales, se ha desarrollado una tecnología relacionada con su potencial capacidad como compuestos para almacenar y transportar gas de una manera económica.

**Patricio A. Marshall** es licenciado en Ciencias Geológicas egresado de la Universidad de Buenos Aires (1983). Desde 1978 hasta 1988 se desempeñó como docente en el Departamento de Ciencias Geológicas de la UBA, y entre 1983 y 1988 en el CONICET. Entre 1985 y 1988 realizó varias campañas geológicas en la Antártida. En 1988 ingresó en Pluspetrol S.A., donde se desempeñó como geólogo de operaciones y más tarde como geólogo de proyectos. Participó en la

evaluación de diversas áreas en la Argentina, en las Cuencas Neuquina y del Noroeste, y de áreas en Bolivia, Túnez y Libia. Desde 1998 hasta la actualidad se desempeña como consultor independiente realizando trabajos de evaluación de prospectos exploratorios y de desarrollo de yacimientos, evaluación de formaciones y estimaciones de reservas, y modelados de generación de hidrocarburos. Actualmente, es secretario de la AAGyGP (Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos Petroleros), miembro activo de la AAPG (American Association of Petroleum Geologists), de la AGA (Asociación Geológica Argentina) y miembro personal del IAPG, donde participa de las actividades de la Comisión de Exploración. Ha publicado diversos trabajos en Congresos y publicaciones especializadas. Desde marzo del año 2001 es consultor geológico de la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma.

## Referencias

- Collet, T.S., 1998. "Well log evaluation of gas hydrate saturations". SPWLA 39th Annual Logging Symposium, May 26-29, 1998: 1-14.
- Collet, T.S., 2002. "Energy resource potential of natural gas hydrates". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 86, N° 11, Nov. 2002: 1971-1992.
- Desa, E. and Gas Hydrates Research Group, 2000. "Submarine Methane Hydrates Potential Fuel Resource of the 21st Century". Workshop on Mineral Resources of the International Seabed Area, Kingston, Jamaica 26-30 June 2000.
- Kostadinoff, J., 2002. "Hidratos de metano en el margen continental argentino". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (3): 392-395.
- Kvenvolden, K.A. and T.D. Lorenson, 1993. "A Global Inventory of Natural Gas Hydrate Occurrence". *U.S. Geological Survey*.
- Lee, M.W. and T.S. Collett, 2001. "Gas Hydrate Estimation Error Associated with Uncertainties of Measurement and Parameters". *U.S. Geological Survey Bulletin*, 2182.
- Majorowicz, J.A. and K.G. Osadetz, 2001. "Gas hydrate distribution and volume in Canada". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* v. 85, N° 7 (July 2001) pp. 1211-1230.
- Makogon, Y.F., 1981. *Hydrates of natural gas*. PennWell Publishing Co., Tulsa, Oklahoma.
- Manley, P.L. and R.D. Flood, 1989. "Anomalous sound velocities in near-surface, organic-rich gassy sediments in the central Argentine Basin", *Deep-Sea Research*, v. 36: 611-623.
- Max, M.D.; Pellanbarg R.D. and B.G. Hurdle, 1997. *Methane Hydrate, A Special Clathrate: Its Attributes and Potential*. Naval Research Laboratory, NRL/MR/6101-97-7926, Washington, DC.
- Milkov, A.V. and R.S. Sassen, 2002. "Economic geology of offshore gas hydrate accumulations and provinces". *Marine and Petroleum Geology* 19: 1-11. Elsevier.