

CIENCIA Y TECNOLOGÍA
HIDRATOS DE GAS
(Segunda Parte)

*Eduardo González Pacheco **

Los hidratos de gas y su efecto en los cambios climáticos.

El venteo de metano, que es un gas de invernadero, puede contribuir al calentamiento global en la medida que escape a la atmósfera. Según el doctor R. Mc Iver de Exxon¹² en relación a los hidratos de gas del golfo de México y del Blake Plateau, mencionó que si el sello de la capa de hidratos fuera roto bruscamente produciría un gran volumen de metano que sería eyectado hasta alcanzar la superficie del mar, con un efecto similar al de un “blow out” causado en una perforación costafuera. Habría un sector del mar con aguas muy agitadas, como agua en ebullición de muy baja densidad relativa, y cualquiera embarcación que accidentalmente se encuentre en tal sector del mar perdería flotabilidad y se hundiría rápidamente. Si el flujo de gas fuera considerable, una pluma de este gas se elevaría de la superficie oceánica y podría afectar a cualquier avión que cruzara la concentración de gas y podría colapsar. (figura 18).

Si aumenta la temperatura de un depósito de hidratos, éstos se descomponen liberando metano. Debido a que el metano es 25 veces más efectivo que el dióxido de carbono, como gas de invernadero, su expulsión a la atmósfera tendería a incrementar la elevación de temperatura original. Este mecanismo puede producir un calentamiento del planeta, como ocurrió en el Paleoceno tardío. Por otra parte un descenso en el nivel del mar, causado por aumento del volumen de los glaciares durante una época glacial, reducirá las presiones del fondo marino, desestabilizará los hidratos y liberará metano a la atmósfera, dando término a la época glacial.

No obstante que los hidratos de gas son una amenaza a profundos cambios climáticos globales, éstos pueden también ofrecer un beneficio ambiental importante como es el abastecimiento de energía limpia.

Alternativas de Producción.

Los mercados mundiales de gas cambiarían dramáticamente si los depósitos de hidratos comienzan a producir metano. Cualquiera que sea el método de producción empleado, la perforación en los taludes continentales, donde se encuentran los depósitos de hidratos de gas oceánicos es técnicamente un gran desafío.

Los métodos propuestos para la recuperación de gas de los hidratos (figuras 19 y 20), usualmente comprenden la disociación de la molécula de metano del hidrato de gas, in situ mediante:

- Estimulación térmica por calentamiento del reservorio a una temperatura superior a la formación de los hidratos, mediante la inyección de agua caliente o vapor de agua.
- Disminución de la presión del reservorio a una presión menor a la de equilibrio de los hidratos.
- Inyección de un inhibidor en el reservorio como el glicol o metanol para disminuir la estabilidad de los hidratos.
- Extracción mediante sistemas de minería hidráulica.

La recuperación del gas de los hidratos ha sido obstaculizada por estar el gas en una estructura cristalina sólida y por encontrarse disperso en lugares de ambientes difíciles, como son las regiones árticas en tierra o en mares profundos.

Los métodos alternativos principales usados en las investigaciones son la inyección de vapor o agua caliente y la despresurización. Actualmente despresurizar la capa de hidratos es considerado como el método más prometedor de producción de gas en gran escala de los hidratos de gas. Tabla 1.

La alternativa de producción de metano de los hidratos de gas por despresurización requiere que los depósitos existan en un entorno geológico adecuado, donde existen asociados depósitos de gas convencional libre atrapados por los hidratos de gas (figura 14). Esto implica que deba existir un reservorio poroso y permeable cuyo sello está formado por los hidratos de gas y además debe haber una fuente generadora de metano. Las posibles fuentes generadoras pueden ser el metano migrado de estratos sedimentarios más profundos o de una grieta volcánica. El metano de una fuente más profunda es probablemente de origen termogénico, como se infiere de los estudios geoquímicos de los hidrocarburos recuperados en los testigos colectados costafuera de la península de Taitao (leg 141). La producción de metano se iniciaría en este depósito de gas libre. A medida que el metano libre convencional es removido, los hidratos de gas de sello de la trampa comenzarán a descomponerse, proporcionando más metano explotable. El método de estimulación térmica mediante inyección de calor mediante vapor o agua caliente, ha sido desarrollado para evaluar la producción de gas de hidratos en las regiones árticas. Este método que se ha investigado en Japón (figura 20) y regiones árticas,^{3,14} ha mostrado que el gas de los hidratos puede ser recuperable técnicamente en volúmenes adecuados.

Otro método que se ha investigado es la extracción directa de hidratos formados en el fango del fondo marino, mediante equipos de minería hidráulica para ser procesados posteriormente, en una planta productora de metano. Los hidratos extraídos son inestables y deben ser transportados en estanques herméticos refrigerados a -10° C para evitar su disociación.

Economía de la producción de gas de los hidratos de gas.

Las publicaciones relacionadas con esta materia han sido relativamente pocas. En 1992 el National Petroleum Council (NPC), de EE.UU., publicó un importante estudio sobre la evaluación económica de producción de gas de hidratos de gas. Usando los antecedentes del estudio de NPC se hizo un análisis comparativo de costos entre la producción de gas de hidratos en tierra en la zona de "permafrost" y la de gas convencional en Alaska. El resultado de este estudio tuvo un impacto en el mercado del gas e hizo declinar los precios del gas natural convencional del North Slope y de todo Estados Unidos.³

En la Tabla 2 se acompaña el resumen de un estudio económico de la producción de gas de un yacimiento de hidratos de gas de Alaska y su comparación con la producción de un yacimiento de gas convencional en esa región.

Investigación internacional y estimación de los hidratos de gas como recurso energético.

La mayor motivación para la producción de metano de los hidratos de gas se debe a la enorme cantidad estimada de los recursos de hidratos y la alta concentración de energía. El metano es un combustible de quema limpia y los clathratos concentran más de 164 veces más metano en el mismo volumen que el gas libre a la presión atmosférica. Por esta razón se estima que los hidratos de gas natural pueden representar un recurso viable de metano, aunque no probado todavía.^{3,16}

En Estados Unidos estimaciones directas de metano en los sedimentos y de gas libre bajo las capas de hidratos se realizaron durante el crucero (leg) 164 del "Ocean Drilling Program". Los resultados de estos estudios indican la existencia de enormes cantidades de metano almacenado en hidratos de gas en el Blake Ridge en la costa del Atlántico de Estados Unidos, y en los

depósitos de gas libre bajo la capa de hidratos. El gas libre si existe en suficiente cantidad puede ser recuperado primero y eventualmente los hidratos de gas pueden ser al mismo tiempo disociados artificialmente y recuperarse el metano mediante la inyección de agua caliente o por disminución de la presión de los reservorios bajo la presión de equilibrio de los hidratos (figuras 19 y 20).

El gas "in situ" en los hidratos en Estados Unidos, en tierra y costafuera se ha estimado en una cantidad que fluctúa entre 113.000 y 670.000 trillones de pies cúbicos (10¹²) con un valor medio de 320.000 trillones de pies cúbicos (10¹²). En esta cifra no se considera el porcentaje de recuperación de gas de los hidratos.³

Las investigaciones marinas que está realizando el Ocean Drilling Program en cooperación con la National Science Foundation, con las Joint Oceanographic Institutions y los estudios de evaluación del Servicio Geológico de Estados Unidos (U.S.G.S.) y el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) proporcionan una valiosa información de la presencia de depósitos de hidratos de gas en muchos lugares de la Tierra.

El Servicio Geológico de Japón, basado en los estudios realizados en 1993 han estimado los recursos de hidratos de metano "in situ", en el margen continental de ese país, en aproximadamente 6 trillones de metros cúbicos.³ Dicha cifra representa alrededor de 100 veces, el consumo doméstico total de gas natural de Japón en 1992. Esta estimación de recursos de metano impactó al Petroleum Council de Japón, institución que recomendó en un informe el "Ministry of International Trade and Industry" (MITI) realizar un programa quinquenal de exploración geofísica y perforaciones entre 1995 y 1999 para la investigación de hidratos de gas. En tal programa se incluyó perforaciones en mares profundos en la fosa de Nankai, durante 1999 (figuras 20 y 21). Se especula que en esa área existirían más de 1800 trillones de pies cúbicos de metano en los depósitos de hidratos de gas.

En 1999, costafuera de Japón, se descubrió por primera vez en el mundo, la existencia de hidratos de gas saturando los poros de una arenisca en el subsuelo marino, en un pozo perforado en la fosa de Nankai, a una profundidad del mar de 945 mts. El reservorio de arenisca yace entre 200 y 270 metros bajo el fondo marino y presenta una saturación de hidratos de 60 a 80% (según información de Japan National Oil Corporation).

El MITI ha manifestado que los hidratos de metano pueden ser la futura fuente nacional de energía de Japón. La Japan National Oil Corporation (JNOC) realizó, en 1996, levantamientos sísmicos, gravimétricos y magnetométricos en los márgenes continentales de Japón para explorar los posibles depósitos de hidratos de metano.³

En la década de 1990 el Servicio Geológico de Japón y otras organizaciones nacionales iniciaron un estudio de factibilidad para la exploración y desarrollo de hidratos de gas en el presente siglo. Las investigaciones realizadas para la disociación de los hidratos de metano han demostrado que el método más apropiado en el futuro, para la explotación de gases, con control sobre los hidratos de gas, es la inyección de agua de mar, como solvente, en la subsuperficie.¹⁴

El gobierno de India, por otra parte, ha iniciado un ambicioso proyecto de hidratos de gas natural, entre Madras y Calcuta y en el mar de Andaman, entre India y Myanmar. En este último lugar se estima que existen sobre 200 trillones de pies cúbicos de gas contenido en hidratos de gas. Para el gobierno de India el proyecto de hidratos de gas tiene suma importancia para suplir la demanda creciente de energía de ese país. El National Gas Hydrate Project de India programó perforar cinco pozos para investigar los hidratos de gas, en mares profundos³ a fines de la década de 1990.

En Chile se demostró la existencia de depósitos de hidratos de gas con contenido de metano y etano en el talud del margen continental en el área costafuera de la península de Taitao, como resultado de la investigación realizada en el crucero (leg) 141 del Ocean Drilling Program.¹⁷ Se ha sugerido la presencia de hidratos de gas costafuera en el talud de las cuencas de Madre de

Dios, Valdivia, Arauco, Itata y Chanco, sobre la base de la existencia de reflexiones sísmicas anormales (BSR) que coinciden con la base pronosticada de la zona de hidratos. Estas informaciones han avivado el interés de los hidratos de gas como posible recurso energético del futuro de Chile. Sin embargo, deben resolverse incertidumbres geológicas y muchos problemas técnicos y económicos para que se pueda considerar como una opción de fuente abastecedora de metano.

El futuro, aproximación a la comercialidad.

A pesar de que la industria de los hidrocarburos ha tenido contacto desde largo tiempo, con los clathratos, por los problemas en los gasoductos y líneas de flujo en climas fríos y estudios de estabilidad de los fondos marinos, para las plataformas de perforación y producción de gas, ha tenido reparos en la investigación intensiva de los hidratos de metano como fuente de energía. Las principales desventajas son: Su distribución es a menudo errática para hacer su explotación comercialmente rentable, la creencia de muchos industriales que las estimaciones de los enormes recursos de metano son exagerados y su recuperación puede ser muy costosa. Además su explotación afectaría la estabilidad de los taludes continentales que puede ser inaceptable a las comunidades costeras por los riesgos geológicos y el impacto ambiental que podría ocasionar.^{8,21}

Sin embargo se ha investigado últimamente, depósitos extensos de hidratos de gas en el golfo de México y costafuera de Carolina, en la costa del Atlántico de Estados Unidos. En estos últimos se ha estimado que contienen cerca de 70 veces el consumo anual de gas natural de Estados Unidos. Los nuevos depósitos de hidratos de gas, encontrados en el golfo de México son concentrados y se encuentran a profundidades que fluctúan entre 425 y 2000 metros. Estos recursos de gas son enormes y están situados en áreas cercanas a la costa.¹⁶ El Presidente del Consejo de Asesores en Ciencias y Tecnología, recomendó en 1998 a la Casa Blanca destinar un presupuesto de 44 millones de dólares, en un período de cinco años, para ser dedicado a la investigación de los hidratos de gas Methane Hydrate Research and Development Act of 2000. Esta cifra ha sido considerada muy reducida por el Departamento de Energía y el Servicio Geológico de Estados Unidos.¹⁶

El gobierno de Japón está haciendo esfuerzos para estudiar la extracción comercial de los gases de los hidratos de metano del margen continental de Japón. Compañías petroleras japonesas (JNOC y JAPEX) han comprado tecnología de Canadá, obtenido en los pozos perforados en la zona de "permafrost" del delta del río Mackenzie, mediante un convenio con el Servicio Geológico de Canadá (G.S.C.). En la región del delta del Mackenzie se ha encontrado, en el pozo Mallik 21-38 (figuras 14 y 15), hasta 10 capas de hidratos de más de 110 metros de espesor, que se encuentran en profundidades que fluctúan entre 819 metros y 1111 metros. El Servicio Geológico de Canadá está coordinando la investigación en la citada área del norte de Canadá y está actuando como consultor del grupo de compañías japonesas.¹⁶

Los requerimientos mundiales de un combustible fósil, con una mínima contaminación, requerirá una gran producción y uso del metano e impulsará la creación de tecnologías para encontrar y extraer este combustible de los depósitos de hidratos de gas. Posiblemente el siglo XXI puede ser la era del metano. El metano obtenido, ya sea como gas libre bajo la capa de sello de los hidratos o por gasificación de los hidratos puede ser producido económicamente en los años futuros. Mucho va a depender de la habilidad para fijar los equipos de producción a las capas con hidratos de los fondos marinos y producir el gas o convertirlo a líquido en las instalaciones marinas de superficie. (Tecnología GTL "gas to liquid").

En el caso de Chile, la mayor dificultad en el desarrollo de los recursos de metano que pueden existir en los sedimentos oceánicos profundos del margen continental, para ser usado como fuente de energía en la próxima década será la creación de una relación de trabajo entre el Estado de Chile y el dueño del capital de inversión para desarrollar las tecnologías, con el fin de extraer el metano en forma sustentable y económica.

Mejoramientos tecnológicos.

La falta de tecnologías adecuadas ha sido el mayor impedimento en considerar la factibilidad de la explotación de los recursos de metano de los hidratos de gas, situados en la parte profunda del talud y elevación continental.

Sin embargo en los últimos años de la década de 1990 en especial en los dos últimos años han habido dramáticos mejoramientos en las tecnologías de perforación, de terminación y puesta en producción de yacimientos de petróleo y gas en aguas profundas, en el golfo de México (EE.UU.), Brasil, Angola, Nigeria e Indonesia, cuyas profundidades de agua fluctúan entre 488 metros y 2.000 metros bajo la superficie del mar.^{26,27} La industria petrolera actualmente acepta límites operacionales de exploración superiores a los 4.000 metros de profundidad del mar. Esta disponibilidad de barcos, equipos y medios de operación ha reducido notablemente los costos de operaciones en aguas profundas.²⁸ Estos avances tecnológicos en yacimientos de petróleo y gas en aguas profundas pueden ser adecuados para el desarrollo de los recursos de hidratos de metano marinos.

El empleo de nuevos dispositivos geofísicos de avanzada tecnología en la exploración de hidratos de gas, como la sonda de resonancia nuclear magnética, serán de gran ayuda para determinar la concentración de metano en los reservorios individuales saturados de hidratos en los fondos marinos y verificar donde estos recursos pueden ser explotados comercialmente.

Demanda y abastecimiento de gas natural en Chile.

Actualmente sólo en la cuenca de Magallanes, en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, se han desarrollado y están en producción comercial yacimientos de gas natural. Estos yacimientos abastecen parcialmente la demanda de gas para las industrias, plantas termoeléctrica y distribución domiciliaria regional.

En el resto del país, la demanda de gas natural para las plantas termoeléctricas, industria, minería y distribución domiciliaria es abastecida con gas importado de Argentina.

En 1999 la producción de gas natural de Magallanes alcanzó a 2.957.300 Mm³, de los cuales 7.028 Mm³ fueron reinyectados en los yacimientos para conservación energética. En ese período se importaron en el país 10.4 MMm³/d de los cuales 3.11 MMm³/d corresponden a Magallanes para el abastecimiento de la industria petroquímica y 7.3 MMm³/d restantes, destinados a las zonas norte y centro de Chile.

Los consumos de gas en Chile se incrementarán significativamente en los próximos años. Se usará más gas en plantas termoeléctricas, en vehículos que usen gas comprimido, en industrias y en distribución domiciliaria.

Los consumos de gas natural en Chile, según pronósticos de Repsol-YPF ²⁵ se estiman aproximadamente en: 27 millones de m³/día para el año 2005 y 42 millones de m³/día para el año 2010.

Estas proyecciones implican tener avances tecnológicos, impulsados por la demanda creciente de gas, aumento de reservas desarrolladas y reducción de costos para encontrar y producir nuevos depósitos de gas, que pueden estar contenidos en los hidratos de gas. Estos esfuerzos de investigación y desarrollo deben ser realizados en asociación conjunta de organizaciones de gobierno, universidades y empresas industriales.

Conclusiones.

Desde el punto de vista de las perspectivas geológicas, los hidratos de gas constituyen un importante rasgo de la geosfera poco profunda. Si las actuales estimaciones de recursos de hidratos de gas son correctas, éstos contienen mayor potencial de energía de combustibles fósiles que el existente en los depósitos convencionales de petróleo, gas natural y carbón. Hay una

incertidumbre respecto a qué porción de esta fuente energética puede ser realmente explotable, debido a falta de tecnología para la recuperación de metano. Sin embargo, los notables avances tecnológicos alcanzados en los últimos años de la década de 1990, por la industria petrolera mundial en el desarrollo y explotación de yacimientos de petróleo y gas en aguas profundas, podrán ser aplicados a la exploración y desarrollo de los depósitos de hidratos de gas, en el próximo decenio.

Debido a que el metano es obtenido y liberado por desestabilización de los hidratos de gas, por variaciones del régimen de presión y temperatura, es posible el escape del metano a la atmósfera. Por ser el metano un gas de efecto invernadero, su expulsión de los hidratos de gas, puede tener una importante influencia en los cambios climáticos globales. Además en algunos sectores de los márgenes continentales, el escape brusco e incontrolado del metano de los hidratos puede producir deslizamientos, derrumbes y avalanchas submarinas en el talud, con gran riesgo para la navegación e instalaciones costeras.

El estudio de los hidratos de gas, en el margen continental de Chile, requiere la participación de instituciones y centros de investigación y la asociación con socios estratégicos de la industria, en un esfuerzo concertado multidisciplinario. Las investigaciones de los hidratos de gas deben estar relacionadas con las siguientes materias:

1. Fuente potencial de recursos energéticos.
2. Riesgos geológicos submarinos y estabilidad del margen continental, con peligro para la navegación e instalaciones costafuera y
3. Medio ambiente y cambios climáticos.

* Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile. Miembro Vitalicio del Colegio de Ingenieros de Chile.

Figura 18. Iniciación de un flujo turbidítico por disociación de hidratos de gas inestables que causan un escape de metano, potencialmente destructivo. Reproducida de 7 Op. cit.

Figura 19. Métodos de producción de hidratos de gas. Reproducida de 3 Op. cit.

Figura 20. Exploración de hidratos de gas en Japón. Método de producción de gas mediante inyección de agua de mar caliente. Reproducida de 14 Op. cit.

Figura 21. Barco de perforación exploratoria para mar profundo. Reproducida de Joides Journal, Volume 24, November 2, 1998.

Figura 22. Diagramas de situaciones geológicas en los cuales se muestra la formación de trampas acumuladoras de metano libre, con el sello de hidratos de gas. Reproducida de 21 Op. cit.

MÉTODO DE PROCESO DESAFÍOS Y PRODUCCIÓN CONSIDERACIONES

Depresurización. *Los hidratos se disocian con la *Bajo condiciones normales, los presión. procesos de depresurización, se limitan por sí mismos.

*El proceso es endotérmico, *Puede ser factible cuando los absorbiendo energía y reduciendo hidratos forman l sello de un la temperatura del reservorio, el reservorio de un depósito de gas proceso requiere flujo calórico al libre convencional. reservorio desde las rocas que lo circundan.

Inyección de calor *Los hidratos se disocian con la *Se registran altas pérdidas de (vapor, agua caliente). temperatura. calor en el reservorio y estratos de rocas circundantes.

*Se tiene un balance de energía *Se necesita una alta permeabilidad positiva, en un sistema cerrado y para permitir el flujo del vapor o del un reservorio de hidratos de alta agua caliente entre los pozos de calidad. inyección y producción. Inyección de inhibidores. *Los inhibidores bajan la *Muy caro, usando materiales temperatura de formación de los actuales (glicol, metanol, etanol) hidratos en las superficies de contacto, inhibidores/hidratos. *Dificultades con los solventes en las superficies de contacto solventes/hidratos.

Reciente. *Sistema de minería hidráulica. *Teórico.

*Estimulación electromagnética. *Teórico

TABLA 1
MÉTODOS ALTERNATIVOS DE PRODUCCIÓN DE GAS

DE LOS HIDRATOS DE GAS

INYECCIÓN DEPRESURIZACIÓN GAS DE CALOR CONVENCIONAL

1. Inversión en millones de US dólares. 5,084 3,320 3,150
2. Costo anual, incluyendo capital, 3,200 2,510 2,000 en millones de US dólares.
3. Producción total, millones 900 1,100 1,100 de pie cúbicos/año (+).
4. Costos de Producción, US 3.60 2.28 1.82 dólares/mil pie cúbicos.
5. Precio de quiebre en cabeza de pie 4.50 2.85 2.25 pozo, incluyendo las regalías y derechos en US dólares/mil pie cúbicos.

TABLA 2.

ESTUDIO ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE GAS DE LOS HIDRATOS DE GAS, EN ALASKA *

Se asumen las siguientes características del reservorio: espesor = 25 pies; porosidad = 40% y permeabilidad = 600 milidarcys. (+) Se asume en el proceso una inyección de 30.000 barriles por día de agua a 300° F.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bagirov, Elchin and Lerche, Ian. Hydrates represent gas source, drilling hazard. Oil and Gas Journal, Dec. 1997.
2. Collett, T.S., Natural gas hydrate of the Prudhoe Bay and Kuparuk River area. North Slope, Alaska. A.A.P.G. Bull Vol 77 N° 5, 1993.
3. Collett, T.S. and Kuuskraa, V.A. Hydrates contain vast store of world gas resources. Oil and Gas Journal, Ivlay 11, 1998.
4. ENAP Líneas sísmicas costafuera_ F9-28, Cuenca Madre de Dios, (Prakla.1981) y E4-90, Cuenca de Arauco. (Western Beacon, 1979).
5. ENAP Líneas sísmicas costafuera ENAP-I y ENAP-6 registradas por el R.V. Conrad, enero de 1988.
6. Galimov, F.M. and Kvenvolden, K. 1983, Concentrations and carbon isotopic composition of CH₄ and CO₂ in gas from sediments of the Blake Outer Ridge, Deep Sea Drilling Project Leg 76, in Sheridans R.E. et al. Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 76, Washington, D.C., U.S. Printing Office.
7. Gruy, H.J., H.J. Gruy and Associate Inc., National Gas Hydrates and The Mystery of the Bermuda Triangle. Hart's Petroleum Engineer International. March 1998.
8. Haq, B.U., Gas Hydrates: Greenhouse Nightmare?, Energy Panacea or Pipe Dream? GSA Today (Geological Society of America) Vol. 8 N° 11, Nov. 1998.
9. Kvenvolden, K.A., Gas hydrates as a potential energy resource - A review of their methane content, in Howell, D.G. (ed). The future of energy gases. U.S.G.S. Professional Paper 1570, 1993.
10. MacLeod, M. K., Gas Hydrates in Ocean Bottom Sediments. A.A.P.G. Bulletin V.66, N° 12, Dec. 1982.
11. Markl, R. et al., 1970, Structure of the Blake - Bahamas outer Ridge. Journal of Geophysical Research, V.75.
12. Mc Iver, R. D., Hydrocarbon gas (methane) in canned Deep Sea Drilling Project core samples, in J.R. Kaplan ed., Natural gases in marine sediments New York Plenum Praps, 1974.
13. Offshore Next 50 years. May 1997.
14. Okuda Yoshihisa Introduction to exploration research on gas hydrates in Japan Bulletin of the- Geological Survey of Japan. Vol. 49 (10), 1998.
15. Paull, C.K. et al., 1995, Methane rich plumes on the Carolina continental rise: Associations with gas hydrates; Geology V. 23.
16. Petroleum Economist. Methane hydrates, approaching commerciality Nov., 1998.
17. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Volume 141, 12 Nov. 1991-12 January 1992. National Science Foundation and Joint Oceanographic Institutions, Inc. 1992.
18. Shipley, T.H. Seismic Evidence for the widespread occurrence of possible Gas Hydrate Horizons on Continental Slopes and Rises. A.A.P.G. Bulletin, V. 63, N° 12 (December, 1979).
19. Krason, Jan Methane hydrates impetuss for research and exploration Offshore, March, 1999.
20. Shipley, T.1{. & Didyk, Borys. Occurrence of Methane Hydrates offshore Southern Mexico. Deep Sea Drilling Project, Volume 1, XVI Washington, 1981.

21. Henriot, J.P. & Mienert J., editors Gas Hydrates. Relevance to world margin stability and climatic change. Geological Society, (Publication N° 137, 1998).
22. Suess E., et al. Fammable Ice. Scientific American. November 1999.
23. Díaz Naveas, Juan L. Sediment Subduction and Accretion at the Chilean Convergent Margin Between 35° and 40° S.Christian - Albrechts - Universität, Kiel 1999.
- 24 . Miller, John; Lee, Myung; von Huene, R. 1991 Analysis of a Seismic Reflection from the Base of a Gas Hydrate Zone, Offshore Peru.The A.A.P.G. Bulletin V75 N°S (May 1991).
25. Petroleum Economist. South America: A flair for gas May 2000.
26. Offshore Record 25 deepwater discoveries worldwide in 1999. September 1999.
27. Petroleum Economist Brazil's new super-giant provides investor opportunities. April 1999.
28. Offshore 1999 Gulf of Mexico survey of DSV, MSV, RSV vessels, and global ADS units. March 1999.

Agradecimientos:

A la empresa Nacional del Petróleo por el valioso apoyo logístico para hacer efectiva esta publicación.