

CienciAUANL

Revista de divulgación científica y tecnológica
de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Consumo de tabaco en jóvenes universitarios
Estudio teórico del fundido de nanopartículas de Au_xCu_{1-x}
La obra científica de Rafael Martín del Campo
La modernidad de Baudelaire



Año 16, Número 61
Enero-Marzo 2013

Indexada en:



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Setena Regional de Información
en Línea para Revistas Científicas
de América Latina, el Caribe, España y Portugal



Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

PERIÓDICA

CATÁLOGO "HEMEROTÉCA LATINOAMERICANA"



Fundación
Ciencias de la Documentación

Dialnet e-revist@s



CONTENIDO

Editorial / 6

El reto de divulgar el conocimiento

Herminia Guadalupe Martínez Rodríguez

Ciencia y sociedad / 8

✦ *Sequía: causas y efectos de un fenómeno global*

David Ortega Gaucin



Línea del tiempo / 16

La obra científica de Rafael Martín del Campo en Nuevo León (1910-1987)

Jorge S. Marroquín de la Fuente



Opinión / 24

Los indicadores educativos: la clave para hacer visible el desempeño académico

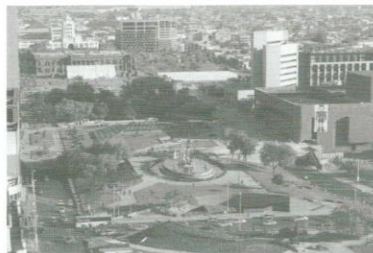
Magda García Quintanilla

Roberto Reboloso

Andamiajes / 32

El museo de arquitectura y escultura en la Gran Plaza de Monterrey

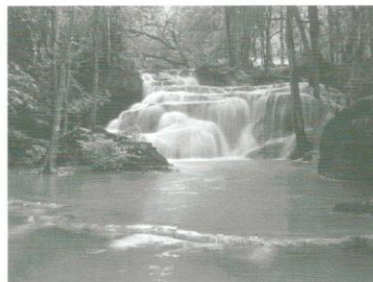
Armando V. Flores Salazar



Sustentabilidad ecológica / 38

La importancia social de los sistemas naturales para la sustentabilidad

Pedro César Cantú Martínez



Motivación para el consumo de tabaco en jóvenes universitarios / 44

Pedro García García, Santiago E. Esparza

Almanza, Maribel Ávila Medina, Laura

Hinojosa García



Análisis del uso de una plataforma virtual para cursos presenciales en el nivel superior / 51

Julieta Flores Michel



Evaluación de la Escala de estrategias docentes para aprendizajes significativos (EEDAS) / 58

Luz Marina Méndez Hinojosa, Mónica Teresa González Ramírez



Efecto de la presencia de aflatoxinas en alimentos para camarón blanco *L. vannamei* / 68

Óscar Daniel Pérez García, Mireya Tapia Salazar, Martha Nieto López, David Villarreal Cavazos, Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque-Marie



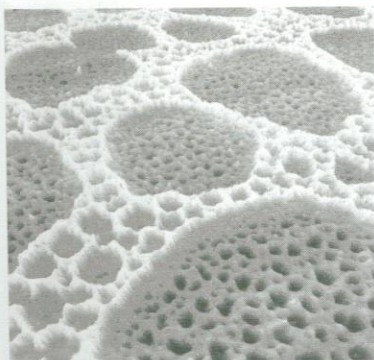
Diagnóstico de gestación temprana por medio de ultrasonografía en ovejas de pelo / 78

Fernando Sánchez Dávila, Gerardo Padilla Rivas, Rogelio A. Ledezma Torres, Alejandro S. del Bosque



Estudio teórico del fundido de nanopartículas de Au_xCu_{1-x} / 86

Carlos Fernández Navarro, Sergio Mejía Rosales



El posible disparo de metano en el cambio climático / 94

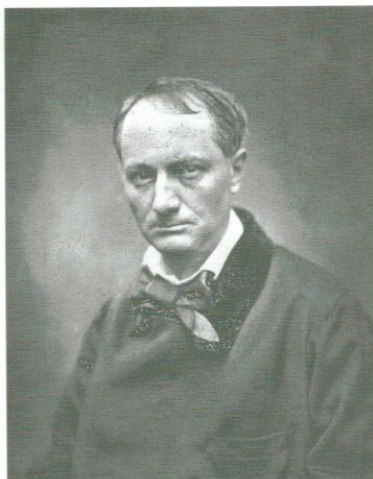
Dinorah Ofelia Mendoza Aguilar, Enrique Jurado, Marisela Pando Moreno



Ejes / 102

La modernidad de Baudelaire

Primitivo Hernández Guerrero



Bitácora / 112

La ingeniería genética, del neolítico al siglo XXI

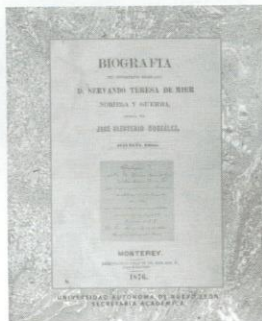
Eduardo Estrada Loyola



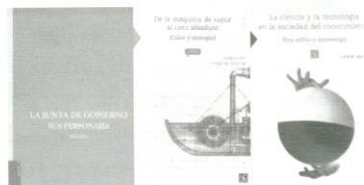
Acuse de recibo / 116

El facsímil como permanente actualización de nuestros clásicos

R. Reboloso



Al pie de la letra / 119



Ciencia en breve / 127

Tips Biostatísticos / 123

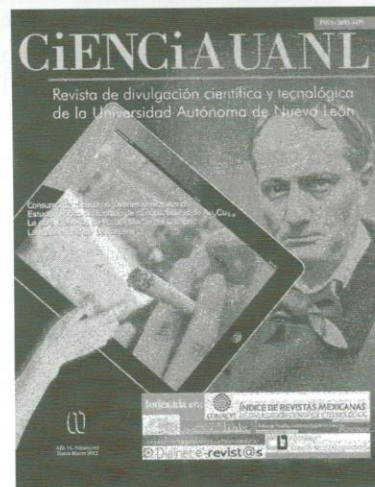
Tema 31: El procedimiento

Tukey-McLaughlin

Peter B. Mandeville

Colaboradores / 138

Nuestra portada



Al fondo una fotografía del poeta francés Charles Pierre Baudelaire, realizada por el fotógrafo, también de origen francés, Étienne Carjat. Al frente, una *tablet* mostrando una imagen de una persona fumando, y una mano operando el *gadget*. Más información en los artículos: "Motivación para el consumo de tabaco en jóvenes universitarios", de Pedro García García, Santiago E. Esparza Almanza, Maribel Ávila Medina y Laura Hinojosa García (pp. 44-59), y "La modernidad de Baudelaire" (sección Ejes), de Primitivo Hernández Guerrero (pp. 102-111). Diseño de portada: Francisco Barragán Codina.



El posible disparo de metano en el cambio climático

DINORAH OFELIA MENDOZA AGUILAR*, ENRIQUE JURADO*, MARISELA PANDO MORENO*

El gas metano presenta tres características que lo sitúan en los temas ambientales y energéticos actuales: i) su uso potencial como fuente de energía limpia, ii) riesgo de fugas por movimientos geológicos y durante la extracción de hidrocarburos, iii) su efecto en el cambio global del clima pasado y futuro.^{1,2}

De los gases que contribuyen al efecto invernadero, el CO₂ ha sido objeto de muchos estudios y monitoreos, principalmente por ser resultado de actividades antropogénicas, debido a que puede permanecer hasta 200 años en la atmósfera. El ciclo de vida del metano en la atmósfera es breve (5 a 10 años). Sin embargo, su capacidad para emitir calor es de 20 a 30 veces más efectiva que el CO₂.^{2,3} Ac-

tualmente, la atmósfera tiene 1.75 ppb de metano, lo que supone un incremento de 59% de la concentración que existía previo a la Revolución Industrial.⁴ El metano ocupa el segundo lugar en contribución al efecto invernadero por tener menor concentración que el CO₂ en la atmósfera.¹

Existen grandes depósitos de metano, en forma de hidrato de metano, en las capas de permafrost y bajo el sustrato del margen continental en el océano. Se estima que en los sedimentos de los océanos se almacenan de 1,600 a 2,000 GtC, y en el permafrost Ártico se almacenan aproximadamente 400 GtC

*Universidad Autónoma de Nuevo León, FCF.
Contacto: dinorah2741@hotmail.com

de metano en los clatratos.^{5,6} Otras estimaciones han establecido un inventario global de hasta 10,000 GtC de hidratos de metano, lo que equivale al doble de lo estimado para los combustibles fósiles.^{7,8} Cuando los clatratos de metano se disocian, el volumen de gas que estaba contenido a presión se libera, obteniendo 164 veces el volumen inicial,⁹ lo cual hace más atractiva su extracción.

El cambio climático global, el ciclo del carbono, las consecuencias de la aportación de CO₂ por actividades humanas y la forma de mitigarlo son tópicos de muchas investigaciones. Sin embargo, poco se aborda el tema de las emisiones de metano resultantes de los hidratos, debido a procesos naturales o inducidos por la actividad humana. Los artículos de difusión e investigación se enfocan principalmente en las bondades de los hidratos de metano como fuente de energía limpia, en diseñar tecnología para su extracción y conocer la ubicación exacta y tamaño de los depósitos.

Una de las posibilidades para la liberación extensa del metano desde los hidratos es el cambio de presión por el adelgazamiento de las capas del permafrost. Algunos modelos sugieren que si la temperatura global aumenta 3°C podría ser liberado entre 35 y 940 GtC de gas metano desde los hidratos, lo cual a su vez añadiría hasta 0.5 grados centígrados a la temperatura global de la Tierra. Se han detectado liberaciones esporádicas de metano, a partir de hidratos, a través de los poros del suelo, a las cuales se les denomina *plumas*.

A la liberación del gas metano, a partir de los clatratos, se le denomina *disparo de metano* o, en inglés, *methane trigger*. La hipótesis del disparo de metano (*the methane trigger hypothesis*) postula que los hidratos de metano que se encuentran en el fondo marino tuvieron un rol significativo en el cambio climático del Cuaternario tardío, esta teoría partió de observar que las emisiones de metano

proveniente de la disociación del gas de los clatratos del fondo marino se asocia con el incremento del metano atmosférico y el rápido calentamiento global.¹⁰ Hay otra hipótesis que coincide con la del disparo de metano, y sugiere que una masiva disociación del metano contenido en los hidratos del océano explica el aumento de temperatura del máximo térmico del Paleoceno tardío (Late Palaeocene Thermal Maximum, LPTM).¹¹

Los registros paleoclimáticos indican que los cambios climáticos han ocurrido muchas veces en el pasado (grandes cambios en corto tiempo), como estos cambios ocurren relativamente rápido se les ha denominado *cambios climáticos abruptos*.^{11,12} Es decir, ocurren cuando el sistema climático es forzado a una transición que lo lleva a un nuevo estado, causando sustanciales disturbios en la naturaleza. Un mecanismo esencial para el cambio climático abrupto es la retroalimentación positiva.¹³

Algunos de los eventos paleoclimáticos abruptos durante la glaciación fueron: i) ciclos glaciares-interglaciares, ii) eventos de Heinrich y oscilaciones Dansgaard-Oeschger, se considera que este último inició con un rápido aumento de temperatura (5-10°C) en un lapso máximo de décadas, iii) el Dryas reciente, último evento de enfriamiento que marca el final de la última era glacial.¹² Durante el Holoceno, ocurrieron cambios climáticos considerados rápidos (en miles de años o menos)¹⁴ como: i) el enfriamiento posglacial en el que se presentó un evento de sequía durante un periodo húmedo en latitudes bajas, ii) la formación de glaciares en los polos, lo que marcó el final del periodo húmedo africano, iii) durante el imperio Acadio presentándose sequía en bajas latitudes, iv) la sequía en el periodo del colapso del Maya clásico, en el cual casi desaparece esta civilización.¹⁴

Para reconstruir las variaciones del sistema climático en el tiempo se usan registros naturales que

pueden proporcionar esta información, como núcleos de hielo, anillos de los árboles, sedimentos y corales. La principal dificultad en el estudio del clima es la incertidumbre en la reconstrucción de éste a partir de estos grabadores naturales de información.^{15,16}

En este trabajo queremos explorar la relación del metano contenido en los hidratos y su papel en el escenario del cambio climático global, desde dos perspectivas: i) la teoría del disparo de metano, ii) las tendencias en su aplicación como fuente de energía.

Hidrato de metano, ¿qué es?

Existen fuentes potenciales de metano de origen natural como los hidratos de metano. Los hidratos de gas son un compuesto no estequiométrico formado por un elemento huésped y moléculas de agua, que a escala molecular forman una red o jaula. La conservación y estabilidad de los clatratos se da en condiciones de alta presión y baja temperatura.^{17,18} Los hidratos que se encuentran en el fondo marino requieren agua de mar a 0°C o menos, y presión derivada de la columna de agua de más de 250 m de

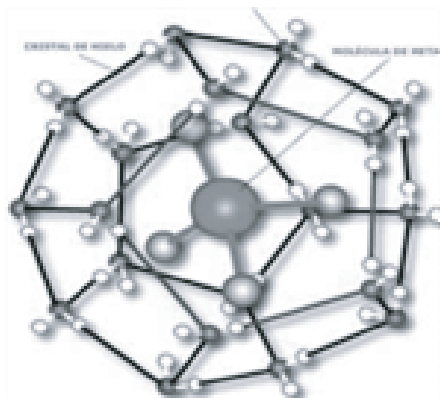


Fig. 1. Esquema de una molécula de hidrato de metano. Se observa la molécula de metano representada por un círculo central, con cuatro círculos de color gris claro, rodeada por moléculas de agua (representadas por círculos más pequeños). Imagen de González.²¹

profundidad, es decir, de más de 26 Atm.^{18,19} Cuando el gas contenido en esta estructura es metano, se le denomina hidrato de metano (figura 1).

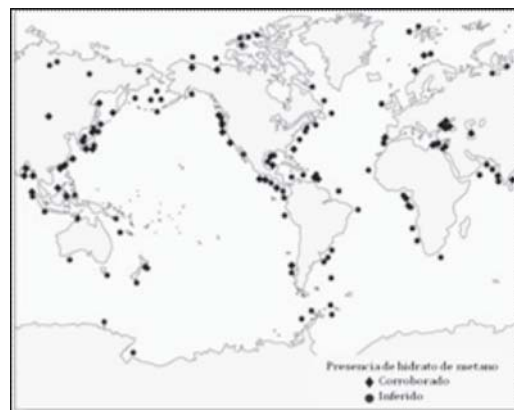


Fig. 2. Sitios donde se ha comprobado y donde se ha estimado que se localizan depósitos de hidratos de metano (mapa de Timothy S. Collett⁹).

La presión, la temperatura y la disponibilidad de cantidades suficientes de agua y gas son los principales factores que controlan la formación y la estabilidad de los hidratos de metano.^{17,20} La geoquímica y el tipo de sedimento, así como la salinidad, la presencia de hidrocarburos pesados y otros gases como CO₂ o H₂S también influyen en la estabilidad de los hidratos de metano. Los hidratos de metano son estructuras sólidas y se encuentran en depósitos terrestres en el permafrost de las regiones polares, en ambientes marinos se encuentran a diferentes profundidades en los sedimentos del margen de la plataforma continental. La ubicación de los depósitos de hidratos de metano no es completamente conocida (figura 2).

Metano y el cambio climático

Estudios paleoclimáticos correlacionan de forma positiva los cambios en la concentración del CH₄ y CO₂ con los cambios de temperatura.^{10,22,23} Además, coinciden en que el detonador del cambio abrupto

en el sistema climático se relaciona con el metano liberado a partir de los clatratos en diferentes periodos geológicos de la Tierra.^{10,22,24}

Se han elaborado tres diferentes escenarios que incluyen el efecto de disparo de metano como el iniciador de los eventos que resultaron en un cambio climático global abrupto, a consecuencia de la liberación de este gas a la atmósfera. Dos escenarios se consideran como causa principal de los periodos de calentamiento, la desestabilización de los hidratos de metano; mientras que un tercer escenario propone los suelos de turba como el emisor del metano causante del calentamiento. La figura 3 esquematiza, a partir de los resultados de varias investigaciones, las posibles interacciones del gas de los hidratos de metano y el cambio climático.

Los escenarios propuestos son los siguientes: i) liberaciones poco significativas de CH_4 almacenado en hidratos, originado por el deslizamiento del sedimento marino, fusión de permafrost sin cambio de temperatura en el fondo marino, que ocurre en un periodo de tiempo de miles de años, con una posterior estabilización de los clatratos por aumento de presión o disminución de temperatura o continuación del evento hasta derivar en el caso ii.

ii) Liberaciones breves pero masivas de CH_4 desde los sedimentos del margen continental, originado por aumento de temperatura del agua profunda del océano y otros eventos relacionados, como deslizamientos del sedimento, disminución de presión, cambios en las corrientes, cambios en el nivel del mar y en la concentración de sales; estos eventos ocurren en un lapso de décadas.

iii) Liberación de concentraciones significativas de gas metano a partir de humedales; sin embargo, no hay suficiente evidencia geológica de que esto originara un cambio climático abrupto.¹¹

La importancia de los hidratos de metano en el sistema climático radica en su rol en el ciclo global

del carbono, debido a su capacidad radiactiva y la cantidad de carbono almacenado.⁹ El metano es un potente gas de efecto invernadero que permanece en la atmósfera, aproximadamente, diez años, antes de convertirse en dióxido de carbono.² El metano liberado a partir de hidratos presentes en el permafrost de bajas latitudes, debido al calentamiento y al deshielo, actuó como precursor de la liberación de metano de altas latitudes. Así, la desestabilización de hidratos de metano se considera como una fuente de retroalimentación positiva del incremento de temperatura y precursor del cambio climático.²²

Se ha estimado que en el Paleoceno la liberación de 1,000 a 2,100 GtC de metano de los hidratos y aproximadamente 30,000 GtC en el Holoceno desencadenó la desestabilización de los hidratos y fungió como disparador de metano en estas eras geológicas. Estas etapas de desestabilización de hidratos coinciden con los límites críticos del cambio climático en el registro geológico del periodo Ediacárico,²² en el Precámbrico; el periodo del Paleoceno tardío, en la deglaciación del Merinoan y en los eventos más recientes en el Cuaternario.

La relevancia de la teoría LPMT se debe a que es el primer caso documentado que explica cómo una masiva entrada de combustibles fósiles se relaciona con el ciclo del carbono. Además de la posibilidad de liberación del gas metano, por cambios globales de temperatura, hay que considerar que el sistema de los hidratos es dinámico con flujos continuos de carbono, desde y hacia el océano-atmósfera.¹¹

El flujo actual de metano a la atmósfera equivale a 570 Tg. Se ha estimado que una cantidad equivalente a 0.2% de esta cantidad de metano fue liberado en etapas que corresponden a la situación: (i) cuando los hidratos se vuelven a estabilizar. Mientras que el equivalente a 1.3% del flujo actual corresponde a etapas en las que se presentó el escenario de liberación masiva de metano de los clatratos

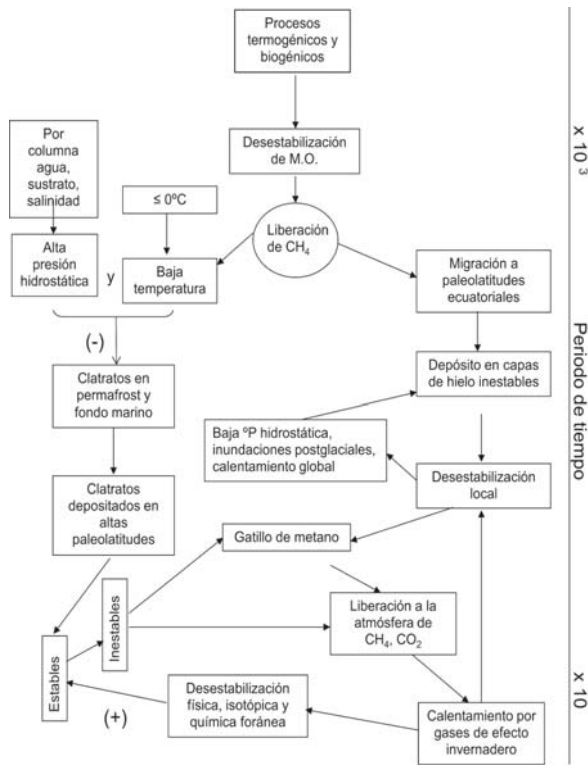


Fig. 3. Diagrama de flujo que muestra cómo pudo haber actuado el metano como disparador del cambio climático, a partir de la liberación del gas metano procedente de clatratos y su influencia en paleolatitudes altas y ecuatoriales.^{2,10,15,16,22} Los signos entre paréntesis indican el tipo de retroalimentación.

en periodos cortos, escenario (ii).¹⁰ A pesar de lo anterior, el tema de hidratos de metano y clima fue pobremente abordado en el último reporte del IPCC.^{25,26}

Hidratos de metano y energía

Los hidratos de metano son una gran fuente de energía y un factor en el cambio climático. Se ha calculado que 1 m³ de hidrato se disocia en 164 m³ de gas metano. El atractivo para la industria de los energéticos radica en que se encuentran a poca profundidad en el subsuelo marino y los países más desarrollados y que carecen de reservas de petróleo sí cuentan con reservas de clatratos en el borde de la plataforma continental o en el permafrost. Canadá ha com-

probado la existencia de depósitos de hidrato de metano en Terranova y Nueva Escocia, Vancouver, Kugmallit, Mackenzie Bay y Mallik,⁴ mientras que EE.UU. los ha encontrado en el norte del Golfo de México, la vertiente norte de Alaska y Blake Ridge.⁹

El potencial de los hidratos como fuente de energía se descubrió hace cuatro décadas, desde entonces se han hecho muchos estudios para su extracción.²⁷ En 2000, el DOE²⁸ (*U.S. Department of Energy*) destinó casi medio millón de dólares para identificar, explorar y evaluar los hidratos de metano para la obtención de energía.⁷ En el programa de investigación para la producción del Mallik (*Production Research Program*) se demostró con éxito que es posible la producción del gas metano de los hidratos por despresurización.²⁰

Escenario actual

El cambio climático global, a través de la historia de nuestro planeta, ha repercutido en los ciclos biogeoquímicos y, por consecuencia, en la biota y su capacidad de respuesta a estos cambios.²⁹ Además de las implicaciones ecológicas, algunas desventajas técnicas del uso de hidratos de metano como fuente de energía es que, además del cambio de presión para su disociación, se puede requerir una fuente adicional de calor o el uso de inhibidores químicos que causen riesgo ecológico.²⁰

Las fugas detectadas, también denominadas plumas de gas metano desde los sedimentos del océano,³⁰ se han utilizado como un argumento de la industria de extracción de hidrocarburos para convencer a la sociedad y justificar el uso del recurso de forma industrial o doméstica, porque, dicen, esa energía ya naturalmente se está perdiendo. Japón y China planean iniciar la extracción de gas de los hidratos de metano, en 2016. Mientras que EE.UU. probó la producción a gran escala en los depósitos

de hidrato del Ártico en 2012.²⁸ Los hidratos de metano pueden ser una fuente de energía y al mismo tiempo un factor en el cambio climático, ante la proximidad del inicio de su extracción es necesario conocer su dinámica ante los diferentes escenarios de cambio climático.

Y en el futuro, ¿qué?

Nuestro sistema climático es dinámico y responde de forma sorprendente a la retroalimentación de los ciclos que lo integran. Aún es incierto qué evento desencadenó la liberación masiva del metano; la evidencia apunta a que el gas proveniente de los hidratos localizados en el permafrost y fondo marino fue el disparador de los cambios climáticos en eras pasadas.^{22,23} La estabilidad de los hidratos depende principalmente del aumento de temperatura del agua del océano. De acuerdo al IPCC,²⁶ la temperatura media mundial aumenta debido a las emisiones de gases de efecto invernadero originado por seres humanos, y repercute en el sistema climático, el cual presenta un cambio abrupto, debido a la retroalimentación positiva por sucesos similares a los que han presentado en eventos climáticos abruptos anteriores.

Alrededor de 60 por ciento de metano proviene actualmente de actividades humanas (vertederos, cría de ganado o los campos de arroz) y de fuentes naturales poco conocidas, en esta última categoría quedan los clatratos. Sin embargo, la desestabilización del hidrato del metano es una realidad latente que anticiparía la liberación del gas. Al ser el metano uno de los principales gases de “efecto invernadero”, su liberación sería un generador del cambio climático global.^{1,11} Ante el interés de los países sin reservas de petróleo de extraer el metano almacenado en los hidratos, es muy probable que a corto plazo se inicie la obtención de energía a partir de éstos.³¹

Las posturas optimistas consideran que no se llegará a extraer el metano de los hidratos, por las implicaciones geológicas y ambientales que conlleva, o porque este gas se disociará en la columna de agua antes de llegar a la atmósfera, o que de la atmósfera migrará a la hidrósfera, como CO₂, y que el mayor riesgo de la disociación de los hidratos son eventos como movimientos o deslizamientos por actividad geológica marina.³² Sin embargo, la obtención de energéticos a partir del metano quizá no se encuentre más allá de la próxima década. Se requiere aún encontrar soluciones técnicas para que la disociación de los hidratos de metano y su aprovechamiento en las actividades humanas sea económicamente viable, pero, sobre todo, biológicamente seguro para el ecosistema y la vida humana.

CONCLUSIONES

Podríamos llegar a un cambio climático abrupto, si el sistema climático se retroalimenta positivamente con gas metano. Los hidratos de metano son la fuente más probable de emisión significativa de metano en un lapso geológicamente corto. El tema de la participación de metano en el sistema climático se ha abordado poco en los grupos de investigación y evaluación sobre cambio climático. Asimismo, parece transmitirse hacia la población la idea del potencial que tienen los hidratos de metano como combustible. Además de ser energía limpia, están libres de riesgos ambientales y traerán beneficios colaterales al ofrecer una solución de captura a gran escala del CO₂ derivado de actividades humanas. Esta idea parece demasiado optimista y no se sustenta en un buen análisis.

Aunque el metano proveniente del permafrost no se considera un detonador directo, sí puede participar en los eventos que desestabilicen los hidratos oceánicos, a los cuales se les ha relacionado con eventos *disparadores de metano*. Coincidimos con la pos-

tura de que el tema de cambio climático abrupto requiere aún de investigación adicional, antes de que se hagan predicciones sobre eventos futuros.^{2,5,8,11,14,28} La sociedad debe ser consciente de que estamos en una etapa de calentamiento global, el cual pudiera derivar en cambio climático abrupto.

RESUMEN

La evidencia señala que el cambio climático abrupto de eras pasadas fue desencadenado por un evento que responde a la hipótesis de *disparador de metano*. Actualmente existen condiciones que podrían provocar una situación similar. El metano almacenado en los hidratos es una prometedora fuente de energía para países industrializados que no tienen reservas de petróleo, por lo que están programando su extracción en la presente década. Esta situación podría generar la liberación de metano a la atmósfera, con la posible consecuencia de aumentar la temperatura global y de actuar como disparador de metano al desestabilizarse los hidratos.

Palabras clave: Gatillo de metano, Calentamiento global, Hidratos.

ABSTRACT

Evidence indicates that abrupt climate changes from past eras were triggered by an event that meets with the trigger methane hypothesis. Currently there are conditions that could induce a similar situation. Methane hydrates are a promising source of energy for industrialized countries that lack oil reserves, and are scheduling extraction of methane hydrates for this decade. This situation could generate methane release into the atmosphere and likely increase global warming with methane acting as a trigger to destabilize methane hydrates.

Keywords: Methane trigger, Global warming, Hydrates.

REFERENCIAS

1. Marshall, A. 2002. Los hidratos de metano, un potencial recurso de la plataforma continental argentina. *Petrotecnia* 6:72-76.
2. Kvenvolden, A. 1993. Gas hydrates, geological perspective and global change. *Rev. of Geophys.* 31(2):173-187.
3. Hyndman, D. y S. Dallimore. 2001. Gas Hydrates Natural gas hydrate studies in Canada. *Canadian Society of Exploration Geophysicists* 26.
4. Baird, C. 2004. *Química ambiental*. Ed. Reverté. España.
5. Maslin, M., M. Owen, R. Betts, S. Day, T. Dunkley Jones y A. Ridgwell. 2010. Gas hydrates: past and future geohazard? *Philos. T. R. Soc. A.* 368(1919):2369-2393.
6. Archer, D., B. Buffett y V. Brovkin. 2009. Tipping Elements in Earth Systems Special Feature: Ocean methane hydrates as a slow tipping point in the global carbon cycle. *PNAS* 106(49):20596-20601.
7. Bohannon, J. 2008. Energy: weighing the climate risks of an untapped fossil fuel. *Science* 319(5871):1753.
8. Krey, V., J. Canadell, N. Nakicenovic, Y. Abe, H. Andruleit, D. Archer, A. Grubler, N. Hamilton, A. Johnson, V. Kostov, J. Lamarque, N. Langhorne, E. Nisbet, B. O'Neill, K. Riahi, M. Riedel, W. Wang y V. Yakushev. 2009. Gas hydrates: entrance to a methane age or climate threat? *Environ. Res. Lett.* 4(3):4007-4013.
9. NETL, National Energy Technology laboratory. 2011. Energy Resource Potential of Methane Hydrate, An introduction to the science and energy potential of a unique resource. U.S. Department of Energy.
10. Kennett, P., K. Cannariato, I. Hendy y R. Behl. 2000. *Carbon isotopic evidence for methane hydrate instability during Quaternary interstadials*. *Science* 288(5463):128-133.
11. Dickens, R. 2003. Climate: A Methane Trigger for Rapid Warming? *Science* 299(5609):1017.

12. Rahmstorf, S. 2002. Ocean circulation and climate during the past 120,000 years. *Nature* 419:207-213.
13. NRC, National Research Council. 2002. Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises. National Academy Press, Washington, D.C., 230 pp.
14. Mayewsky, P., E. Rholing, J. Stager, W. Karlén, K. Maasch, L. Meeker, E. Meyerson, F. Gasse, S. van Kreveld, K. Holmgren, J. Lee-Thorp, G. Rosqvist, F. Rack, M. Staubwasser, R. Schneider y E. Steig. 2004. Holocen climatic variability. *Quaternary research* 62:243-255.
15. Kennett, P., G. Cannariato, I. Hendy y R. Behl. 2003. Methane Hydrates in Quaternary Climate Change: The Clathrate Gun Hypothesis. American Geophysic Union, Washington, D.C.
16. Broecker, W. 2003. Does the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the atmosphere? *Science* 300:1519-1522.
17. Sloan, D. 2003. Fundamental principles and applications of natural gas hydrates. *Nature* 426:353-359.
18. Park, Y., D-Y. Kim, J-W. Lee, D-G. Huh, K-P. Park, J. Lee y H. Lee. 2006. Sequestering carbon dioxide into complex structures of naturally occurring gas hydrates. *PNAS* 10(34):12690-12694.
19. MacDonald, J. 1990. Role of methane clathrates in past and future climates. *Clim. Change* 16, 247-281.
20. CCA, Council of Canadian Academies 2008 Energy From Gas Hydrates: Assessing the Opportunities and Challenges for Canada. Expert Panel on Gas Hydrates. Council of Canadian Academies, Ottawa, Canada.
21. González-Fairén A., 2006. Datando la metanogénesis en Marte. <http://www.especial.org/planetarias/planetas/marte2.htm> (marzo, 2011).
22. Kennedy, M., D. Mrofka y C. Von der Borch. 2008. Snowball Earth termination by destabilization of equatorial permafrost methane clathrate. *Nature* 453:642-645.
23. Garidel-Thoron, T., L. Beaufort, F. Bassinot y, P. Henry. 2004. Evidence for large methane releases to the atmosphere from deep-sea gas-hydrate dissociation during the last glacial episode. *PNAS* 101(25):9187-9192.
24. Katz, M. D. Park, G. Dickens y K. Miller. 1999. The Source and Fate of Massive Carbon Input During the Latest Paleocene Thermal Maximum *Science* 286:1531-1533.
25. Sirocko, F., D. Garbe-Schönberg, A. McIntyre y B. Molino. 1996. Teleconnections Between the Subtropical Monsoons and High-Latitude Climates During the Last Deglaciation. *Science* 272 (5261): 526-529.
26. IPCC. 2007. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.
27. Kerr, A. 2004. Gas Hydrate Resource: Smaller But Sooner. *Science* 30(5660):946-947.
28. DOE, U.S. Department of Energy. 2011. Methane hydrate - the gas resource of the future. Washington, D.C. <http://fossil.energy.gov/programs/oilgas/hydrates/> (junio, 2011).
29. González, M., E. Jurado, S. González, O. Aguirre, J. Jiménez y J. Navar. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *CiENCiAUANL* 6(3):377-385.
30. Westbrook, K., K. Thatcher, E. Rohling, A. Piotrowski, H. Pälike, A. Osborne, E. Nisbet, T. Minshull, M. Lanoisellé, R. James, V. Hühnerbach, D. Green, R. Fisher, A. Crocker, A. Chabert, C. Bolton, A. Beszczynska-Möller, C. Berndt y A. Aquilina. 2009. Escape of methane gas from the seabed along the West Spitsbergen continental margin. *Geophys. Res. Lett.* 36.
31. Walsh, R., C. Koh, E. Sloan, A. Sum y, D. Wu. 2009. Microsecond Simulations of Spontaneous Methane Hydrate Nucleation and Growth. *Science* 326 (5956):1095-1098.
32. Kvenvolden, A. 1999. Potential effects of gas hydrate on human welfare. *PNAS* 96(7):3420-3426.

Recibido: 30 septiembre 2012

Aceptado: 3 noviembre 2012