

## **El cambio climático, los océanos y los hidratos de metano**

La decisión del presidente de los Estados Unidos, Donald Trump, de abandonar el Acuerdo de París sobre el medio ambiente plantea un desafío internacional de importante calado, si bien, y según el Acuerdo, hay tres años de pre-aviso para abandonarlo, y un año adicional para llevarlo a cabo. Desde el punto de vista político, que en algunos casos (y este es probablemente uno de ellos), instrumentaliza las decisiones, el abandono efectivo del Acuerdo por parte de los Estados Unidos se llevaría a cabo tras las próximas elecciones presidenciales en ese país. En cualquier caso, habrá que dudar (o no) de que Trump vaya a cumplir con ese mandamiento del Acuerdo, pero el calado perjudicial de la decisión se deriva precisamente de la posición de Estados Unidos en la clasificación mundial de emisiones de toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante. Según estadísticas recopiladas por el Banco Mundial <sup>1</sup>, la cifra correspondiente a EEUU en 2013 fue de 16,4 KiloTons/habitante. Las que corresponden a la Zona Euro y a la OCDE fueron respectivamente 6,8 y 9,7.

La participación de EEUU es de las más importantes en el mundo desarrollado, con un total de  $316 \times 10^6$  habitantes, emite 5.182 millones de kT, aunque China, con  $1.357 \times 10^6$  habitantes, emite 10.313 millones de kT.

Al final de 2013 La emisión de naturaleza antropogénica global, por habitante, fue de 4.996 kT (en 1960 la emisión fue de 3.093 m kT).

Es evidente que la toma de datos que conducen a estas estadísticas se realiza en las fuentes de emisión construidas, explotadas u operadas por humanos y concernientes al uso de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, lo que conduce a afirmar su carácter antropogénico.

Las valoraciones actuales sobre la huella del uso de recursos, indican que la población mundial está consumiendo por año un 50 % más de recursos de los que el planeta puede reponer<sup>2</sup> y los analistas piensan que esta cifra crecerá más rápido que la población mundial. Según las estimaciones mencionadas, si el habitante medio utilizara el mismo volumen de recursos que un estadounidense medio, la población mundial estaría entonces consumiendo cuatro veces por encima del nivel de reposición aludido.

Según el New York Times, si se mantuviera el ritmo actual de crecimiento de las emisiones, se llegaría en el año 2030 a un volumen total de emisiones de 6.500 millones de kT de CO<sub>2</sub>, que quedarían reducidas a 5.500 si se cumpliesen los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París.

Resulta evidente por lo anteriormente comentado y dependiendo de lo que se haga y cómo se haga, tendrá una importancia capital en los mares y océanos, en el tráfico y el

comercio marítimo, en la explotación de los recursos marinos y en resumen, en la evolución de la humanidad en un futuro que ya no está lejano<sup>3</sup>.

Lejos de nuestra intención adjudicar al comportamiento de la humanidad en estos últimos años la causa única del cambio climático del que ya no se duda que se está produciendo. Pero lo que no ofrece ninguna interrogación razonable, es que los efectos de ese comportamiento se suman a cualquiera otros de naturaleza no antropogénica, en el supuesto muy posible de que existan.

La decisión tomada por Estados Unidos respecto al Acuerdo de París nos retrotrae de nuevo a un cruce de caminos que se percibe como crucial. Si no se modifica a la baja el volumen mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero, el termómetro del calentamiento global continuará subiendo. Según el último informe del IPCC<sup>4</sup> podríamos arrostrar un incremento de entre 2,5 y 7,8 °C en el caso de que no se tomen medidas efectivas. Una horquilla tan ancha produce un sentimiento de imprecisión, pero puede que refleje la falta de certidumbre de los modelos que alimentan las predicciones, significativamente en lo que se refiere a la suma del impacto antropogénico y de otros impactos independientes de la actividad humana.

Sin embargo, hay efectos difícilmente discutibles, como por ejemplo la disminución de la superficie cubierta por el hielo o por la nieve que refleja la luz del sol, aumentando así la absorción de calor por radiación, lo que a su vez continuaría reduciendo esa superficie y alimentando el efecto pernicioso.

No existen ideas claras de cómo pueden actuar los océanos como disipadores del calor o cómo “sumideros” de carbono al aumentar la proporción de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

El Acuerdo de París menciona que el aumento medio global de la temperatura al final del siglo XXI se debería limitar a 2°C por encima de los niveles pre-industriales, pero habrá mucho que hacer para no sobrepasar el límite de 1,5 °C p. Sin embargo, el propio director ejecutivo de la Agencia Internacional de la Energía considera que aún se sufre un importante retraso en tecnologías claves para conseguir esos objetivos, y que sin fuertes impulsos gubernamentales, esas tecnologías no se desarrollarán en los mercados de la energía, por lo que conseguir no pasar de los límites mencionados parece escasamente creíble.

En este escenario, la retirada de Estados Unidos del mencionado Acuerdo, no puede ser más negativa. Las predicciones más pesimistas afirman que esta salida puede llevar a incrementar la cifra final de este siglo en un 0,3 %, además del efecto contagio que puede desencadenar.

Como se puede ver, las perspectivas y los oráculos son más bien pesimistas, y evidentemente afectarían también a otros tipos de emisiones como SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>. En el informe “*BP Energy Outlook 2017*” en el periodo de tiempo comprendido entre los

años 2015 y 2035 y utilizando como unidad de medida las “toe”<sup>5</sup>, los consumos mundiales de energía primaria van a crecer al ritmo promedio de 1,3 % anual, cuando durante los veinte años anteriores a este periodo lo hicieron a razón de un 2,2 % anual. La mayor progresión se debe a las energías renovables (eólica, solar, geotérmica, biomasa y biofuel) con un 7,1 % y la menor al carbón, con 0,2 %. El petróleo crecería al 0,7 %, el gas al 1,6 %, la energía nuclear al 2,3 % y la hidráulica, al 1,8 %.

Como se ve, todo crece, y ya, en la Agencia Internacional de la Energía se habla de incrementos globales de temperatura media de 2,7 °C para el fin de este siglo

### **Los hidratos de metano. Riesgos e interrogaciones.**

Cuando se habla de gases de efecto invernadero y del cambio climático, no conviene olvidar al metano, cuyo efecto en la liberación a la atmósfera es muy superior al del CO<sub>2</sub>.

Una enorme cantidad de metano se encuentra por muchos rincones del globo en forma de hidratos sólidos: bajo el permafrost ártico, en depósitos sedimentarios situados a lo largo de los márgenes oceánicos continentales, en sedimentos a gran profundidad en mares y lagos, y bajo el hielo antártico.

El hidrato de metano es un sólido de forma cristalina con una molécula de metano (CH<sub>4</sub>) encerrada en una “caja” de forma dodecaédrica cuyos vértices son moléculas de agua, (Clatratos), y tiene aspecto de hielo blanco.

No se conoce de manera exacta a cuanto pueden ascender los volúmenes de metano de los que hablamos, aunque su existencia y distribución geográfica se conocen con bastante aproximación. De acuerdo con algunos modelos matemáticos utilizados, parece que valores de entre 1.000 y 5.000 GT (gigatoneladas) pueden acercarse a la realidad aunque esta horquilla resulte demasiado grande para análisis más precisos de lo que todo esto representa. Los números indicados se refieren al carbono contenido en las formaciones cristalinas de estos hidratos (mezcla molecular de metano y agua), y equivaldrían a 100 y hasta 500 veces la cantidad de carbono emitida a la atmósfera anualmente por la combustión de carbón, petróleo y gas natural (Datos de 2012).

La capacidad potencial así como los riesgos de estos yacimientos ha sido ignorada durante mucho tiempo, nunca sabremos si de manera premeditada o no.

Los hidratos de metano se han formado bajo condiciones físicas, químicas y geológicas específicas. Presiones hidrostáticas importantes del agua de mar y bajas temperaturas conforman unas condiciones idóneas para la formación de estos compuestos y actúan de manera inversa: si aumenta la presión, la temperatura del agua puede subir o viceversa para mantener los hidratos de manera estable dentro de una franja determinada. Si el agua está muy fría, los hidratos se pueden formar sobre fondos no

demasiado profundos. En aguas oceánicas abiertas, en las que la temperatura puede oscilar entre 2 y 4°C, y menores en algunos lugares, se pueden encontrar hidratos de metano en los fondos marinos a partir de profundidades de 500 metros.

En zonas de profundas fosas oceánicas no hay sedimentos de este tipo porque el metano disuelto en el agua en esas zonas es muy escaso, lo que se explica porque este metano lo producen microbios actuando sobre materia orgánica (algas muertas, restos de peces y sus excrementos) con el concurso de la luz solar, lo que resulta posible en las vertientes oceánicas continentales. Para profundidades superiores a 2.000 metros, los residuos orgánicos prácticamente desaparecen. En zonas del Océano Ártico, con aguas muy frías, se pueden ya encontrar hidratos en profundidades de unos 200 metros, así como bajo el permafrost siberiano o canadiense.

Hay quién piensa que las enormes reservas de metano en esta forma de hidrato representan una llave potencial para la obtención de energía en el lento camino desde las fuentes actuales más perjudiciales para el medio ambiente hacia las energías renovables, paso para el que siempre se está pensando en el gas natural (realmente, el metano es su componente mayoritario), y cavilando además sobre su utilización complementaria con relación a la producción intermitente inherente a las energías renovables mayoritarias (solar y eólica).

Y es aquí donde conviene bucear un poco en el asunto de esa utilización. La disociación de los hidratos en agua por un lado y metano por el otro es algo teóricamente muy fácil. Bastaría calentar ligeramente el agua circundante, o rebajar algo la presión hidrostática. Coloquialmente diremos que bombeando agua por una tubería con una temperatura algo superior a la de la profundidad en la que se encuentran los sedimentos de hidratos, (obviamente a más de 50 kg. cm<sup>-2</sup> si estamos hablando de profundidades de 500 metros), para que se libere el metano, que se recogería por otra tubería para irlo almacenando. La otra "fácil" operación sería semejante, pero manteniendo en la primera tubería una presión inferior a la que impera en la profundidad mencionada.

El primer inconveniente es que las capas de hidratos son superficialmente muy extensas y dispersas en el fondo marino y con poca concentración de metano por unidad de superficie, lo cual es un muy importante inconveniente para un rendimiento medianamente aceptable, y eso habiendo alcanzado los niveles tecnológicos que permitan las operaciones y que todavía no se han alcanzado.

El segundo inconveniente es que debido precisamente a la situación de las capas de hidratos y al espesor en profundidad de esas capas, una liberación rápida del gas por disociación en metano y el agua, es decir, la conversión de un sedimento sólido en los fondos marinos en líquido y gas daría lugar a la desestabilización sísmica de la zona y al

lanzamiento de gran cantidad de metano a la atmosfera, ( un  $m^3$  de hidrato, al fundirse, libera alrededor de  $160 m^3$  de metano gaseoso a la presión atmosférica).

Similares situaciones se derivarían de la disociación de las capas de hidratos existentes bajo el permafrost ártico, especialmente en Siberia y Canadá, aunque parece que la cantidad de sedimentos de hidratos atrapados bajo el permafrost es mucho menor que la que yace en el fondo de los océanos. Sus capas menos profundas y por tanto más susceptibles de disociarse por aumentos de temperatura, se encuentran a unos 190 metros de profundidad, con lo que los aumentos de temperatura por alteraciones del clima tardarán mucho más en provocar “escapes” de metano.

En el año 2012, investigadoras del USGS (*US Geological Survey*) mantuvieron que los peligros de una masiva emisión de metano procedente de la disociación de hidratos de metano del fondo marino estaban muy lejanos, y que gran parte del gas emitido se disolvería en el agua en su camino a la superficie del océano. Las reacciones que se producirían consumen oxígeno, por lo que la concentración de éste en las zonas afectadas disminuiría, lo que sería perjudicial para la fauna y flora marina y aumentaría la acidificación de las aguas.

En cualquier caso. Lo cierto es que las evidencias sobre el posible ritmo del calentamiento global hace cinco años no eran las de ahora, y que por otra parte, se sigue desconociendo cuanto del metano existente en nuestra atmósfera procede o ha procedido de la disociación de los hidratos marinos.

Sin embargo, el asunto no se presenta tan tranquilizador hoy en día, a la vista de la progresión de temperatura del cambio climático. Teniendo en cuenta que el equilibrio estable de los depósitos de hidratos está totalmente ligado a la relación: temperatura-presión hidrostática, un aumento de la temperatura global produciría un aumento del nivel del mar (lo que ya está sucediendo), y el aumento de presión consecuente sobre los fondos podría compensar (o no) el aumento de temperatura y mantener estable los depósitos. Aumentos de nivel marino catastróficos para la humanidad, especialmente en el caso de las sociedades costeras de baja orografía, no aparentan producir aumentos de presión determinantes para mantener equilibrada<sup>6</sup> la situación; pero en el fondo seguimos en el terreno de las conjeturas.

En las plataformas costeras, con profundidades menores, en caso de desestabilización, la capacidad de disolución del metano en el agua es menor porque también lo es el camino de las burbujas hacia la superficie. Entonces la emisión de metano sería mayor.

Lo que ya no es una conjetura es que la desaparición de los hidratos de metano de los fondos oceánicos, en los que actúa como un cemento entre trozos de sedimentos estabilizando el fondo marino, provocaría derrumbes en los fondos marinos afectados y daría lugar a maremotos; y tampoco es una conjetura que el metano desprendido incrementaría el efecto invernadero, lo que a su vez elevaría las temperaturas

globales. Entraríamos así en una “espiral” respecto a la liberación de metano e inestabilidad física en las plataformas continentales.

Como todo en este planeta, lo que llamaríamos franjas de “equilibrios transversales” entre diferentes parámetros aseguran unas condiciones que permiten la vida tal y como la conocemos. La alteración de las condiciones que aseguran la estabilidad dentro de esas franjas puede acarrear efectos que ignoramos, y tampoco tenemos memoria de datos suficiente para prever resultados con suficiente fiabilidad.

Podemos citar un ejemplo en sentido contrario al que hasta ahora hemos anunciado: una nueva era glacial provocaría el efecto opuesto al calentamiento, al incrementarse los volúmenes de hielo y la extensión de los mismos en los océanos, aumentaría la reflexión de la radiación solar, y bajaría sensiblemente el nivel del mar<sup>7</sup>. En este caso, el efecto de la disminución de presión hidrostática sobre los depósitos de hidratos de metano podría superar el opuesto de disminución de temperatura y provocar una liberación de metano, especialmente en las zonas de menor profundidad en las que la “frontera” de la estabilidad es más frágil.

Como se ha mencionado con anterioridad, los procedimientos seguidos hasta ahora para la posible extracción del metano, (inyección de agua caliente y reducción de la presión actuando puntualmente en zonas del depósito) no han sido exitosos en cuanto a su rendimiento además de la dificultad de controlar el riesgo de desestabilización no limitada. Japón ha sido el país que más ensayos ha hecho a este respecto.

Teniendo en cuenta que se estima que hay tres mil veces más metano en hidratos de los fondos marinos que en la atmósfera y que el efecto invernadero del metano es diez veces más potente que el del dióxido de carbono, es fácil imaginar el desastre que para el medio ambiente representaría una disociación de los hidratos, cualquiera que fuese el tiempo durante el que ésta se produjese.

Un sistema bajo estudio en diversos países sería realizar inyecciones de CO<sub>2</sub> en los depósitos de hidratos para sustituir las moléculas de metano por moléculas de CO<sub>2</sub> sin romper la estructura molecular de aquellos. Teóricamente, se obtendría un combustible fósil (en la práctica, gas natural) de menores emisiones que el petróleo y el carbón, al mismo tiempo que se eliminaría CO<sub>2</sub> de la atmósfera<sup>8</sup>. Está claro que estaríamos sustituyendo metano en la atmósfera por dióxido de carbono procedente de la combustión de aquel, y al mismo tiempo, reduciendo la combustión de petróleo y carbón y “secuestrando” CO<sub>2</sub> excluyéndolo de la atmósfera, lo cual no es la solución definitiva pero sería mejor que lo que hay. Experiencia sobre la inyección de dióxido de carbono en bolsas explotadas de yacimientos de petróleo y gas ya existe, (Noruega ha almacenado desde 1996, 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> bajo el fondo del Mar del Norte), pero la tecnología para llevar a cabo la sustitución en los hidratos se presenta mucho más compleja.

Japón es el país más involucrado hasta ahora en el desarrollo de tecnologías para este fin, pero también China, Corea del Sur, India, Brasil y Estados Unidos trabajan en proyectos de este tipo.

Los depósitos de hidratos detectados jalonan gran parte de los taludes oceánicos y numerosas zonas del permafrost ártico (Siberia, Canadá y Alaska), pero las condiciones en otros taludes hacen pensar que el volumen de depósitos es mucho mayor. En lo que respecta a España, existen depósitos en el Golfo de Cádiz.

La realidad es que se han dedicado pocos recursos en el mundo a investigar los depósitos y a detectar los nuevos, así también como a desarrollar tecnologías para su extracción segura.

Desde el punto de vista de la difusión pública, la ignorancia o la parca publicación de noticias, generalmente deficientes, superficiales y poco informadas, con llamativos titulares, (*"Hielo combustible"*, *"revolución mundial en la energía"*, *"la energía oculta en el hielo"*, *"oro negro del siglo XXI"...*), han pasado generalmente desapercibida para la opinión pública. En muchos lugares, las organizaciones ecologistas se han puesto en marcha en contra de las investigaciones de campo para estudiar tecnologías que permitan la obtención segura del metano, incluyendo aquellas que estudian su sustitución por CO<sub>2</sub>.

Pero lo que todos deberíamos pensar es que si la temperatura global sigue subiendo, y todas las premoniciones así lo indican, convirtiendo el Acuerdo de París en una suerte de *"Wishful thinking"*, con la inestimable colaboración del presidente de los EEUU, entonces todos los riesgos de los que hemos hablado se pueden materializar y provocar la emisión de grandes cantidades de metano a la atmósfera, así como deslizamientos en los taludes costeros sísmicamente relevantes. De hecho ya se han detectado burbujas emergentes de metano en el Pacífico en zonas costeras de California; en derredor de las islas Spitzberg en el Ártico y en otros lugares. Según estudios de la Universidad de Washington terminados en el año 2014, desde 1970 hasta 2013 se han emitido más de 4 millones de toneladas de metano a la atmósfera desde los depósitos de hidratos situados frente a las costas del Estado de Washington en el Pacífico.

Nos movemos aún en un conjunto de incertidumbres que parten de una certidumbre conocida y negativa; en entornos frágiles que deberían no sólo alertar, sino impulsar la investigación oceánica para encontrar respuestas viables. España debería estar involucrada en ese camino y no considerarlo algo externo que otros resolverán. No es tan fácil.

**Autor: José-Esteban Pérez.**

*Julio 2017*

- (1) Mediciones antropogénicas del laboratorio Nacional de Oak Ridge (EEUU)
- (2) Sean Ó Héigeartaigh. Imponderables tecnológicos. El Próximo Paso, Opend Main. BBVA
- (3) Las rutas y el Ártico. José-Esteban Pérez. Coyuntura R. Ingeniería Naval mayo 2017
- (4) IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
- (5) “toe”: Toneladas equivalentes de petróleo. (Equivalencia a través del poder calorífico, BTU.
- (6) A 500 m de profundidad, la inestabilidad se produce cuando la temperatura llega a 5 °C. A 1.000 m se produce a unos 11 °C. Según World Ocean Review (Ocean Chemistry).
- (7) Durante la última gran glaciación, el nivel del mar estuvo 120 metros por debajo del actual.
- (8) Proyectos “Submarine Gashidrate Reservoirs”, y “Seeiper” (Alemania y Noruega) con tecnologías CCS: Carbon Dioxide Capture & Storage.