



ESCUELA NAVAL

# CLATRAPEDIA

Química 6to FM

## **Sub grupo D**

Marcelo Andreoli, Franco Borgiani, Gabriel Giugou, Iván Medina, Pablo Rava, Julieta Rosas y Iarley Sosa

# Índice

Elección del tema y problemática .....	2
Metodología .....	2
Hipótesis y posibles consecuencias .....	3
Marco Teórico.....	4
Extracción del gas de los clatratos .....	9
Análisis de Datos .....	11
Alternativas de experimentación.....	12
Conclusión .....	14
Referencias.....	15

## Elección del tema y problemática

A- Decidimos elegir el tema “Clatratos” debido a una sugerencia realizada por nuestro profesor, el cual nos presentó la idea para investigarnos e informarnos, pero, al realizarla, nos encontramos con una interesante propuesta, la cual es relativamente nueva, descubierta alrededor del año 1930, y que no está muy estudiada para lo importante que puede llegar a resultar. Decidimos optar por estudiar los clatratos como nuestro proyecto para el largo del año.

B- La primera problemática que se nos presentó fue la creación de estos, ya que, para su formación, son necesarias unas condiciones bastantes específicas y difíciles de realizar (las cuales serán explicadas en el marco teórico); otra problemática es su manipulación, pues dichas formaciones son bastante inestables y, en caso de querer manipular los encontrados en la naturaleza, cualquier error podría ser bastante grave para el medio ambiente.

C- Nuestros objetivos en esta investigación se centran exclusivamente en la solución de los problemas planteados, también la concientización e información sobre este tema no tan conocido, además de poder darle una utilidad mayor a lo encontrado en la naturaleza, no aislarnos solo en gases simples sino alcanzar otra amplitud de los mismos.

## Metodología

### **A. Diseño de la investigación:**

Nuestro proyecto es una investigación aplicada, ahora ¿qué es una investigación aplicada?

El objetivo es encontrar estrategias que puedan ser empleadas en el abordaje de un problema específico. La investigación aplicada se nutre de la teoría para generar conocimiento práctico, y su uso es muy común en ramas del conocimiento como la ingeniería o la medicina.

Este tipo de investigación se subdivide en dos tipos:

- ❖ Investigación aplicada tecnológica: sirve para generar conocimientos que se puedan poner en práctica en el sector productivo, con el fin de impulsar un impacto positivo en la vida cotidiana.
- ❖ Investigación aplicada científica: tiene fines predictivos. A través de este tipo de investigación se pueden medir ciertas variables para pronosticar comportamientos que son útiles al sector de bienes y servicios, como patrones de consumo, viabilidad de proyectos comerciales, etc.

En nuestro caso sería una investigación aplicada tecnológica.

#### **B. Procedimientos:**

El procedimiento por el cual realizaremos nuestro proyecto se basó y se basará casi completamente en la recolección de información, búsqueda y estudio de diversas técnicas, propiedades, efectos, cualidades, procesos, todo enfocado en el clatratos. Siempre contando con el apoyo y supervisión del Dr. Julio Trindade Mendieta.

También trataremos de realizar experimentos y trabajos manuales para perfeccionar nuestros conocimientos, no solo dejarlo en lo teórico de cada modelo, sino ver su eficacia experimentalmente.

## **Hipótesis y posibles consecuencias**

Hipótesis del fusil de clatratos:

La hipótesis del fusil de clatratos es una teoría científica, que sostiene que el aumento de la temperatura del mar puede dar lugar a una liberación repentina de metano desde los depósitos de clatrato de metano, situados en los fondos oceánicos. Esto provocaría una alteración del

medio ambiente de los océanos y la atmósfera terrestre similar a la que pudo acontecer en la extinción masiva del Pérmico- Triásico, y en el máximo térmico del Paleoceno-Eoceno.

Nuestras hipótesis consistirán en tratar de crear un depósito de clatratos de metano artificialmente, nos enfocaremos en hacerlo con varios gases no solo con metano y poder buscar una forma de poder liberar los gases de manera segura sin que dañe al ambiente y a los seres vivos.

Nuestra estimación de lo que podría llegar a ocurrir es que, en caso de lograr nuestros cometidos, podremos manipular clatratos y retirarlos del fondo del mar, ayudando al medio ambiente ya que se eliminarían dichas fuentes contaminantes, puesto que, debido a los cambios climáticos, se están liberando gases contenidos en clatratos a la atmósfera; también, a su vez, tendríamos combustibles naturales para nuestro uso. También haríamos un avance en la ciencia creando una manera frugal de realizar clatratos, ya que las maneras existentes son con elevado costo monetario y de difícil acceso.

## Marco Teórico

Un clatrato, estructura de clatrato o compuesto de clatrato es una sustancia química formada por una red de un determinado tipo de molécula, atrapando y reteniendo a un segundo tipo diferente de molécula.

Un hidrato de clatrato es, por ejemplo, un tipo especial de hidrato donde la molécula de agua forma una estructura capaz de contener un gas. Un clatrato es, por tanto, un material con moléculas del tamaño conveniente, capturadas en los espacios que son dejados por los otros compuestos. El agua congelada puede crear celdas capaces de contener moléculas de gas, enlazadas mediante puentes de hidrógeno. Numerosos gases de bajo peso molecular ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ , Argón, Criptón, Xenón, etc.) forman clatratos en ciertas condiciones de

presión y temperatura. Estas celdas son inestables si están vacías, colapsando para formar hielo convencional.

Su estructura se compone de tres tipos de estructuras cristalográficas cúbicas, estructuras tipo I, estructuras tipo II y estructuras tipo H.

Las estructuras tipo I, están formadas por 46 moléculas de agua, formando 2 tipos de jaulas, las pequeñas y las grandes. En la célula unitaria (estructura tipo I) existen 2 jaulas pequeñas contra 6 jaulas grandes. Las pequeñas tienen forma de dodecaedro pentagonal (512), mientras que las grandes tienen forma de tetradecaedro, específicamente un trapezoedro truncado hexagonal (51262). Juntas estas jaulas forman una estructura Weaire-Phelan.

Los gases más comunes en este tipo de estructuras son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ).

Las estructuras del tipo II se conforman de 136 moléculas de agua y hasta 24 moléculas de gas, teniendo dos tipos de jaulas, 16 pequeñas (tipo 512) contra 8 grandes. Las pequeñas forman la misma estructura pentagonal dodecaédrica (por eso el tipo 512) mientras que las grandes son hexadecaédricas (51264).

Las estructuras tipo II encierran comúnmente gases como el  $\text{O}_2$  y el  $\text{N}_2$ .

Las estructuras tipo H son las menos comunes. Están formadas por 34 moléculas de agua y 6 de gas. Se crean entonces 3 tipos de jaulas, 2 pequeñas diferentes y 1 grande. La célula unitaria se forma de tres jaulas pequeñas del tipo 512, 12 del tipo 435663 y 1 jaula grande del tipo 51268.

Para formar este tipo de estructura se necesita la cooperación de 2 gases (uno de la jaula grande y otro de la pequeña) para ser estable.

La gran cavidad de este tipo de estructura permite la presencia de grandes moléculas (como el butano y los hidrocarburos), dada la existencia de otros gases molecularmente más pequeños que ayudan a llenar y sostener los espacios restantes.

Figura 1.

*Retículo cristalino de dos hidratos de gas*

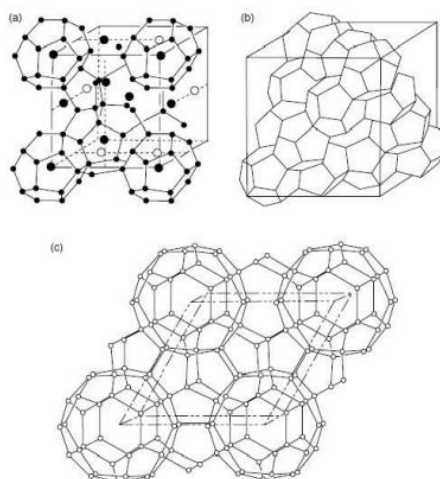


Figura 1.0 retículo cristalino dos hidratos de gás – (a) Tipo I; (b) Tipo II; (c) Tipo H, J. Chem Phys. American Institute of Physics

Nota. Adaptado de ESTRUTURA MOLECULAR FUNDAMENTAL DE CLATRATOS DE HIDRATOS DE GÁS. [Ilustración], por Ribeiro, M., Battisti, N., Ronne, L., Vernochi, B., Schutz, T., & Novales, L. E. S. D. M- Universidad Federal de Pelotas, (s. f.). ([http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN\\_01525.pdf](http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN_01525.pdf))

La historia de los compuestos de clatrato es relativamente reciente. Su estudio fue iniciado por P. Pfeiffer en 1927; en 1930, E. Hertel definió como "compuestos moleculares" a las sustancias descompuestas en los componentes individuales que seguían la ley de acción masiva en estado de solución o de gas. La investigación sobre los compuestos del clatrato se desarrolló a partir del análisis de la estructura cristalina de Powell quien, en 1945, empezó a utilizar la expresión "componente de clatrato" para referirse a la estructura de inclusión de la hidroquinona.

Aplicados a la separación de la parafina usando como anfitrión la urea y, adaptándose recientemente para complejos consistentes en una molécula del anfitrión (que forma el marco

básico de la red) y una molécula del huésped (que se fije en la molécula del anfitrión por interacción).

Los complejos del clatrato son varios e incluyen, por ejemplo, la interacción de fuertes enlaces químicos entre las moléculas del anfitrión y las moléculas del huésped, o las moléculas del huésped fijadas en el espacio geométrico de las moléculas del anfitrión mediante una fuerza intermolecular débil. Los ejemplos típicos de los compuestos anfitrión-huésped son: compuestos de inclusión y compuestos de intercalación. Una molécula que ha sido muy investigada como anfitrión es el compuesto de Dianin (4-p-hidroxifenil-2,2,4-trimetilcromano).

Por un lado, se han empezado a investigar las posibles propiedades semiconductoras y superconductoras de los clatratos de silicio. Por otro lado, se cree científicamente que los fondos marinos han “atrapado” grandes cantidades de metano en configuraciones similares (clatratos de metano) y son lanzados repentinamente ya sea por efectos mecánicos o físicos (hipótesis del fusil de clatratos).

Los clatratos representan una opción simple de almacenamiento de hidrógeno gaseoso, si bien hasta la fecha la presión externa requerida para mantener la estabilidad de estos compuestos es muy elevada. Esta tecnología ha dado un paso importante recientemente cuando se ha demostrado que incorporando pequeñas cantidades de un disolvente común (tetrahidrofurano) puede reducir sustancialmente esta presión lo que, a su vez, permite almacenamiento de hidrógeno hasta 4% en peso.

Los clatratos son compuestos en los que las moléculas de un gas están encapsuladas en una red cristalina de moléculas de otro compuesto, usualmente agua. Se sabe que los clatratos de agua están presentes en cantidades abundantes en el fondo oceánico, donde dominan presiones suficientemente elevadas para estabilizarlos.



En estos hidratos las moléculas de agua forman cajas en las que un gas “huésped”, como el metano, queda atrapado. Se ha demostrado hace algunos años que las moléculas de hidrógeno pueden encapsularse en estructuras de clatrato a presiones del orden de 2.000 atmósferas, excesivamente elevadas para usarlos como almacén de hidrógeno. Más recientemente se ha demostrado que esa presión puede rebajarse hasta 100 atmósferas concluyendo en el propio clatrato moléculas de tetrahidrofurano (THF), lo que permite almacenamiento de hidrógeno hasta 4% en peso. Por tanto, estos clatratos de agua almacenan cantidades de hidrógeno comparables a otros sistemas de almacenamiento, tales como los hidruros de metales ligeros y, por supuesto, tienen una capacidad de almacenamiento superior a otros criosistemas que utilizan adsorbentes con una elevada superficie específica.

Los clatratos denominados sII, que son los hidratos de gases más comunes, contienen dos tipos de cajas: grandes con diámetro libre de 0.67 nm, y pequeños con diámetro libre próximo a 0.5 nm. Para que los clatratos sean estables se requiere que las cajas grandes estén llenas, mientras que las pequeñas pueden permanecer llenas o incluso vacías. En los clatratos de hidrógeno puro se acomodan cuatro moléculas de hidrógeno en las cajas grandes y otras dos en las pequeñas, lo que proporciona una composición global:  $(2\text{H}_2)_2 (4\text{H}_2)_{17} \text{H}_2\text{O}$ , que corresponde a un contenido de hidrógeno de 5% en peso. Se ha puesto de relieve que se puede conseguir un hidrato estable llenando solamente una parte de las cavidades grandes con THF. La cantidad de THF incorporado es un parámetro esencial. Por encima del umbral 2% molar, solo las cavidades pequeñas acomodan las moléculas de hidrógeno, de tal forma que la capacidad de almacenamiento se reduce a 2% en peso. Por debajo del 4% de THF, el hidrógeno empieza a penetrar en las cavidades más grandes y la capacidad de almacenamiento de  $\text{H}_2$  alcanza 4% en peso. Los tipos de clatratos también dependen del gas contenidos en su interior, los cuales pueden ser los que tengan bajo peso molecular como  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , Ar, Kr, Xe,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , entre otros.

La formación de dichos clatratos dependen de la presión y temperatura alcanzadas, las cuales varían dependiendo del gas que necesite contener.

Estas estructuras, si no son contenedoras de ningún gas, se vuelven inestables, transformándose en hielo.

Es importante señalar que estos clatratos ofrecen ciertas ventajas que los hacen atractivos para uso en almacenamiento. En particular, los materiales de almacenamiento (agua y THF) son muy baratos comparados a los hidruros metálicos u otras alternativas de almacenamiento químico. No obstante, presentan una barrera importante y es que la velocidad de formación de estos hidratos es generalmente baja, debido al transporte difusional del  $H_2$ , que opera durante la formación de la red cristalina del clatrato, y que transcurre a lo largo de días. Recientemente se ha logrado acelerar el proceso de formación de estos clatratos de  $H_2$ , mediante la dispersión del hidrato sobre micro esferas de sílice con elevada superficie específica. Esta modificación tan simple reduce el proceso de formación del hidrato a solamente unas horas.

No cabe duda que estos avances en almacenamiento de hidrógeno abren la puerta a nuevos desarrollos, que permitan almacenar  $H_2$  a presiones por debajo de 100 atmósferas, utilizando materiales de almacenamiento muy simples y en concentraciones superiores a 5% en peso.

## Extracción del gas de los clatratos

Aún se continúan investigando y analizando los métodos posibles para la extracción de los preciados gases que contienen estas fascinantes estructuras, pero algunos países han visto enorme potencial en las mismas, siendo de las pioneras en investigar, destinando (en caso de Japón) más de 120 mil millones de dólares a la misma y, aun así, siendo poco para conseguir mejores resultados. Es tan codiciado pues, se estima que hay alrededor de la misma cantidad de carbono en los hidratos de metano que la que hay en todas las otras reservas de carbono orgánico en el planeta; en otras palabras, hay más energía en hidratos de metano que en todo

el petróleo, carbón y gas del mundo sumados. Un problema, el cual ya se trató anteriormente, es que, con una leve variación en la temperatura o la presión, toda la estructura puede colapsar, liberando todo ese preciado gas que puede ser tan útil en nuestro mundo actual. Esto también sugiere un actuar rápido por parte de las naciones en recolectar el metano, pues, con el calentamiento global, en poco tiempo puede haber un gran colapso de las estructuras, liberando todos los gases a la atmósfera, generando no una necesidad económica sino biológica y vital de extraerlos para evitar catástrofes; otra consecuencia es que puede ocasionar deslaves submarinos por modificación del ecosistema. Un nuevo estudio sugiere que el gas contenido es 30 veces más dañino que el CO<sub>2</sub>. Un metro cúbico de clatrato puede liberar alrededor de 160 metros cúbicos de gas, por lo que posee una alta intensidad de energía. Otra dificultad presente en esta práctica, es el acceso a los clatratos, pues estos necesitan condiciones especiales para su formación, por lo que, generalmente, se encuentran ubicados en zonas poco accesibles, como mínimo 500 metros de profundidad.

Como la demanda de energía aun es sustentable con diversas alternativas, no hay demasiado interés actual por la investigación, en muchos lugares se suspendieron, pero cuanto más pasa el tiempo, más necesidad siente la humanidad de buscar nuevos recursos.

Actualmente se estudiaron dos métodos para la extracción, uno utilizando un método de despresurización, el cual Japón lo catalogó como el método “más eficiente”, consiste en quitar presión mediante un bombeo, disociando el clatrato de metano; y el otro que consiste en inyectar un fluido caliente en el clatrato. Un método teórico, para no comprometer la estructura del clatrato y que pueda colapsar es, a medida que se quita el metano por bombeo, inyectar a su vez CO<sub>2</sub>, quitando uno de los principales gases de efecto invernadero y manteniendo la estructura casi intacta.

## Análisis de Datos

Resumidamente, los clatratos son “cápsulas”, “bolsas”, contenedores, formados por gases para almacenar otros del mismo estado, pero más pequeños. Se pueden encontrar en la naturaleza, pero son necesarias condiciones específicas, como lo son la baja temperatura y elevada presión, por ello el fondo marino es un lugar ideal para su formación.

Buscamos encontrar una manera de poder extraer los clatratos del fondo marino, así aprovechar sus gases para nuestro uso; también buscamos una manera económica de realizar artificialmente los clatratos, ya que estos son de alto costo y difícil acceso. Hasta el momento, luego de investigado y tratado de realizar el proceso antes mencionado con el equipo de investigación, no se han podido conseguir resultados favorables, pues los clatratos pueden encontrarse en lugares como permafrost y el fondo marino.

Dichas estructuras pueden formarse, también, en tuberías que manejan altas presiones y bajas temperaturas, tapando y dificultando producciones.

Los clatratos se han de utilizar para separar el helio y el neón del argón, el kriptón y el xénon, y también para transportar el argón, el kriptón y el xenón. Además, el clatrato  $85\text{Kr}$  es una fuente segura de partículas beta, y el clatrato  $133\text{Xe}$  es una fuente útil de rayos gamma.

Hay una cámara llamada VHPPC (Very High Pressure Planetological Chamber, la cual puede alcanzar presiones de más de 0.6 GPa, la cual es necesaria para la formación de clatratos.

Se realizaron experimentos en la VHPPC, los cuales se consiguieron resultados favorables, se formaron clatratos a una temperatura cercana a los 273K y a presiones entre 3MPa y 0.7GPa.

Por lo tanto, debido a sus peculiares características de formación y los pocos recursos a nuestra disposición, nos fue imposible la creación y manipulación, pudiendo manejar únicamente hipótesis del cómo trabajar con los mismos.

## Alternativas de experimentación

El riesgo de crear una base experimental para la formación de los clatratos era muy elevado, ya que no contábamos con los medios y recursos suficientes para una experimentación segura. Pero no conformes con esto, se decidió crear algo más acorde a nuestras capacidades económicas y materiales, una página web. Entendimos que este tema corresponde a una de las más novedosas áreas de la investigación química, siendo entonces necesaria, una base de datos que promueva su información en su totalidad. Para su creación, tuvimos a nuestra disposición una amplia variedad de tecnologías, de las cuales seleccionamos las más apropiadas, para el desarrollo de la plataforma virtual. Esta puede ser accedida por cualquier persona.

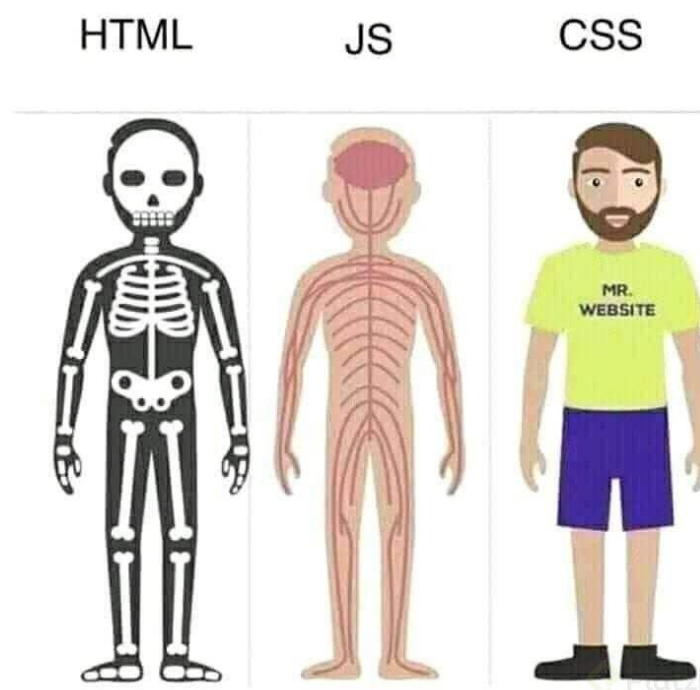
Las tecnologías elegidas fueron (HTML, CSS, JavaScript, React). HTML, llamado Hyper Text Markup Language, es un lenguaje de marcado de hipertexto, el cual funciona a través del uso de etiquetas, que le especifican al motor del navegador. Se escogió esta tecnología ya que se ha convertido en un estándar a nivel de la web, y puede ser visualizado como contenido actualmente desde cualquier dispositivo informático que cuente con conexión internet, y un navegador, ya sea desde un teléfono inteligente, así como un televisor inteligente, o bien una computadora. También utilizamos CSS (Cascading Style Sheets), lo cual, traducido al español, significa “Hojas de estilos en cascadas”, es el lenguaje utilizado como estándar para darle estilos a las etiquetas utilizadas en el código HTML. Mientras tanto, JavaScript es el lenguaje por defecto interpretado por el motor del navegador. Este fue escogido, ya que también es un estándar en la web y nos permite, como lenguaje de programación, dar escalabilidad a nuestro proyecto, de forma tal que este pueda crecer fácilmente. Con esto hacemos referencia, a que el software pueda seguir avanzando, sin tener que crear cada vez uno nuevo. Finalmente escogimos React, ya que es un framework, o marco de trabajo, basado en JavaScript, y HTML, que cumple su función al mejorar aún más

la escalabilidad de nuestro proyecto llevándonos a crear, con velocidades y calidades sumamente altas, un producto de calidad que pueda visualizarse también en cualquier navegador web.

Para poder comprender de una manera más cotidiana, estas tecnologías utilizadas, podemos analizarlas como partes que conforman el cuerpo humano. HTML, será el esqueleto, mientras que JavaScript, serán esos sistemas que conforman el cuerpo humano, y permiten su funcionamiento. Continuamente CSS será la apariencia que tendrá el cuerpo humano, y React será una forma de darle súper poderes a JavaScript, y convertir al humano, en un súper humano. Puede ser observado en la figura 2.

Figura 2.

*Explicación de las distintas tecnologías mediante una persona*



Extraído de: ([https://static.platzi.com/media/user\\_upload/htmlcssjs-d137e17f-0faf-42da-bf9e-850d2ef2db30.jpg](https://static.platzi.com/media/user_upload/htmlcssjs-d137e17f-0faf-42da-bf9e-850d2ef2db30.jpg))

La página en cuestión fue llamada “Clatrapedia”, siendo un acrónimo entre “clatratos” y el sufijo “pedía” (sufijo de origen griego, que significa “educación”). Esta se conforma de varias secciones, donde se encuentra información sobre la conformación de los clatratos, sus distintos empleos, noticias sobre distintas investigaciones de varios institutos de alto nivel y una reseña sobre los integrantes del equipo de investigación de este proyecto.

A modo de conclusión, esperamos con esta página web, colmar las expectativas de los distintos lectores y fomentar la curiosidad ante la investigación de carácter científico y especialmente en la química y los clatratos.

## Conclusión

Finalizando, podemos concluir entonces, en base a la información recabada a lo largo de este proyecto, que los clatratos han sabido ser fuentes de energía muy interesantes y de gran poder, además de ser una sugerente base de almacenamiento de combustibles. Pero como ya fue mencionada, es de muy alto costo su extracción del lecho marino, no solo por la extracción en sí, sino por los recaudos a mantener para que su estructura se mantenga estable. En este equipo de investigación tenemos la intención continuar en la exploración de estos novedosos sistemas, además de estar deseosos de lograr que los clatratos se vuelvan una fuente de energía posible y estable en el mundo, ayudándolo a su continua evolución, pero además prestando servicios al medio ambiente, ya que, por causa del calentamiento global, estos pueden ser liberados del lecho marino, pero al no tener sus condiciones necesarias para su estabilidad, podrán causar grandes estragos en materia ambiental.

## Referencias

BBC News Mundo. (2014, 21 abril). *Hidrato de metano, la energía oculta en el hielo*.

Recuperado 17 de noviembre de 2021, de

[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140421\\_ciencia\\_verde\\_hidratos\\_metano\\_energia\\_hidrocarburos\\_np](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140421_ciencia_verde_hidratos_metano_energia_hidrocarburos_np)

*Clatratos: Una forma simple de almacenar hidrógeno* | Energía y Sostenibilidad. (2007). <https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2007/03/21/61918>

*Hipótesis del Fúsil de Clatratos*. (2013). Hipótesis del Fúsil de Clatratos. <https://amp.es.autograndad.com/1158321/1/hipotesis-del-fusil-de-clatratos.html>

Dufour, J. (2007, 21 marzo). *Clatratos: Una forma simple de almacenar hidrógeno* | Energía y Sostenibilidad. Clatratos.

<https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2007/03/21/61918#:~:text=Los%20clatratos%20son%20compuestos%20en.presiones%20suficientemente%20elevadas%20para%20estabilizarlos/>

*Japón continúa la extracción de gas de los clatratos de metano*. (2017, 20 abril). Revista

Ingeniería Naval. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de

<https://sectormaritimo.es/extraccion-clatratos-metano>

Romero Ramírez, I.. (2019, noviembre). *SIMULACIONES MOLECULARES DE HIDRATO DE METANO. INHIBICIÓN DE FORMACIÓN DE CLATRATOS POR VINILCAPROLACTAMA*.

<http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/980/RORIMV00T.pdf?sequence=&isAllowed=y>

Ribeiro, M., Battisti, N., Ronne, L., Vernochi, B., Schutz, T., & Novales, L. E. S. D. M.



(2013). *Retículo cristalino dos hidratos de gás* [Ilustración]. Universidad Federal de Pelotas. [http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN\\_01525.pdf](http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN_01525.pdf)

Ribeiro, M., Battisti, N., Ronne, L., Vernochi, B., Schutz, T., & Novales, L. E. S. D. M.

(2013). *ESTRUTURA MOLECULAR FUNDAMENTAL DE CLATRATOS DE HIDRATOS DE GÁS*. [http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN\\_01525.pdf](http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN_01525.pdf)

Ramírez, I. E. R. (2019). *Simulaciones moleculares de hidrato de metano. inhibición de formación de clatratos por vinilcaprolactama*. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/980>