Gas natural licuado como fuente de energia aternativa sostenible: proceso de licuefacción

Liquefied natural gas as a sustainable alternative energy source: liquefaction process

Nelson Castaño Ciro[1]

RESUMEN

Este documento es el segundo que se publica sobre el gas natural licuado (GNL). En el primero se publicó algunas generalidades sobre este mismo. En esta oportunidad le corresponde el turno al proceso de licuefacción. Inicialmente se hace una búsqueda en bases de datos sobre los términos asociados a este eslabón de la cadena de valor del GNL, en donde se encontró que la tendencia en los últimos años va hacia la sostenibilidad y optimización de este proceso. Seguidamente se explica, de forma resumida, las diferentes fases de la licuefacción del gas natural, iniciando con la extracción de los gases ácidos (gases que cuando reaccionan con el agua se convierten en ácidos), continuando con la remoción de agua en forma de vapor, remoción de mercurio y recuperación de gases licuados de petróleo, para finalizar con la licuación del gas natural. En esta última fase se explican los tres métodos más usados: el de cascada, refrigerante mixto y el de expansión.

Palabras clave: GNL, gas natural licuado, licuefacción, gas natural.

ABSTRACT

This document is the second to be published on liquefied natural gas (LNG). In the first, some generalities about it were published. This time it is the turn of the liquefaction process. Initially, a search is made in databases on the terms associated with this link in the LNG value chain, where it was found that the trend in recent years is towards the sustainability and optimization of this process. The different phases of natural gas liquefaction are briefly explained below, beginning with the extraction of acid gases (gases that when reacted with water become acids), continuing with the removal of water in the form of steam, removal of mercury and recovery of liquefied petroleum gases, to end with the liquefaction of natural gas. In this last phase, the three most used methods are explained: cascade, mixed refrigerant, and expansion.

Keywords: LNG, liquefied natural gas, liquefaction, natural gas.

1. INTRODUCCIÓN

El gas natural se ha mantenido como el recurso energético de más rápido crecimiento en la mayoría de las regiones del mundo durante más de dos décadas, impulsado por las bajas emisiones de gases de efecto invernadero y la alta eficiencia de conversión en la generación de energía.

Durante casi un siglo, el gas natural se ha transportado de manera segura, confiable y económica a través de tuberías. Los gasoductos demostraron ser ideales para las condiciones de suministro y mercado del siglo XX, cuando se encuentran grandes depósitos de gas natural convencional en lugares accesibles. Los gasoductos proporcionaron la estabilidad y seguridad del suministro y continúan haciéndolo donde quedan grandes reservas

1. Ingeniero Químico, MSc en Ingeniería, Sena, CDHC, ncastano@sena.edu.co. Medellín.

de gas accesibles. Sin embargo, en las últimas décadas ha quedado claro que cantidades significativas de nuevas reservas de gas no están ubicadas tan convenientemente.

La atención se ha desplazado hacia los grandes yacimientos de gas más aislados que anteriormente se pensaba que eran demasiado remotos o técnicamente demasiado difíciles y costosos de desarrollar. Actualmente se están desarrollando y considerando para su comercialización una serie de soluciones para explotar las reservas de gas varadas. Por otro lado, durante las últimas tres décadas, solo la industria del gas natural licuado (GNL) ha llevado con éxito muchos grandes campos de gas remotos a los mercados de gas a los que no se puede acceder por gasoducto (por ejemplo, Japón, Corea del Sur). Hoy en día, las cadenas de suministro de GNL se han diversificado e introducido competencia en los mercados que antes eran "capturados" por los proveedores de gas por gasoducto, y han mejorado la seguridad del suministro de energía de muchas naciones consumidoras y han reducido las restricciones geopolíticas y políticas sobre el suministro mundial de gas.

El gas natural, y especialmente el GNL, es el combustible del futuro, y el futuro ha llegado.

Este artículo es el segundo de un total de 6 artículos que explican de forma concreta, cada uno de los eslabones de la cadena de valor del Gas Natural Licuado (en adelante GNL). Este documento resume los conceptos y el proceso de la licuefacción del gas natural (GN).

2. METODOLOGÍA

Inicialmente se elaboró una nube de palabras que se consultaron en a base de datos de ScienceDirect, con el término "liquefied natural gas". Se encontraron 72 documentos relacionados, de los cuales se importó la información bibliográfica en formato RIS, para posteriormente ser analizada en el software de acceso libre VOSviewer. El grafico 1 muestra la nube de puntos obtenida, con una escala temporal de los años de publicación de dichos documentos.

Dándole una mirada a los nombres asociados a la escala temporal se observa como a tempranas épocas se presentan investigaciones sobre plantas de gas, gas natural, plantas de gas natural fuera de la costa y dióxido de carbono. Pero en épocas más actuales se nota la manera como se presta más atención a la sostenibilidad, y aparecen investigaciones relacionadas con utilización de la energía, eficiencia energética, análisis económico, optimización, purificación del gas combustible, impacto ambiental entre otros.

En conclusión, se le da mas importancia en los últimos años a los temas relacionados con la sostenibilidad, lo que va paralelamente a las exigencias y acuerdos en la agenda 2030 de la ONU (ONU, 2015).

Después de lo anterior, se seleccionó la literatura más relevante que diera respuesta al proceso de licuación del gas natural y las tecnologías asociadas al mismo.

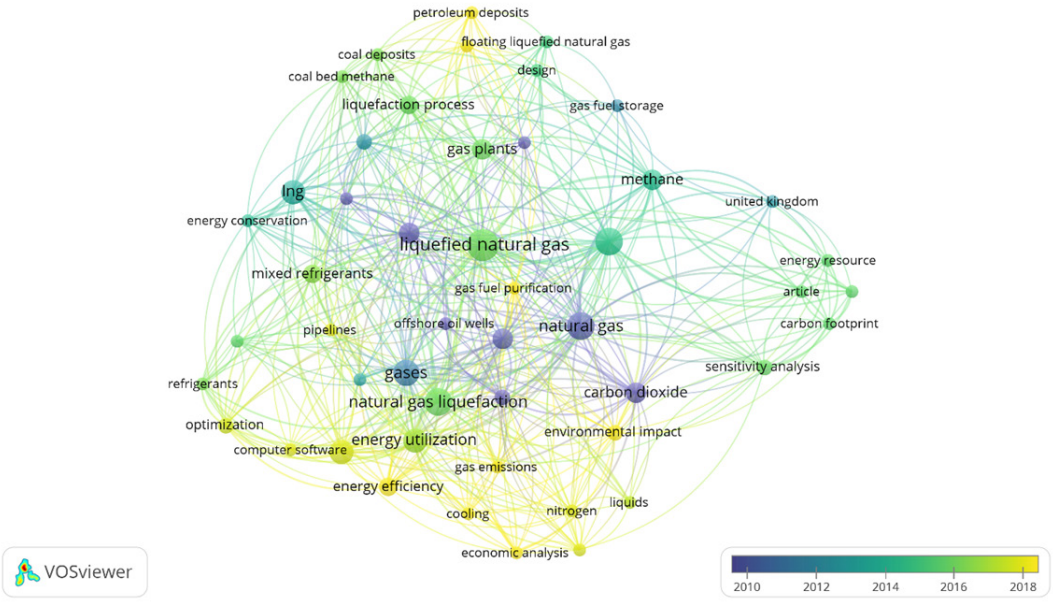

Figura 1. Nube de puntos de la búsqueda en la base de datos ScienceDirect, y analizada en VOSviewer.
Fuente: Elaboración propia.

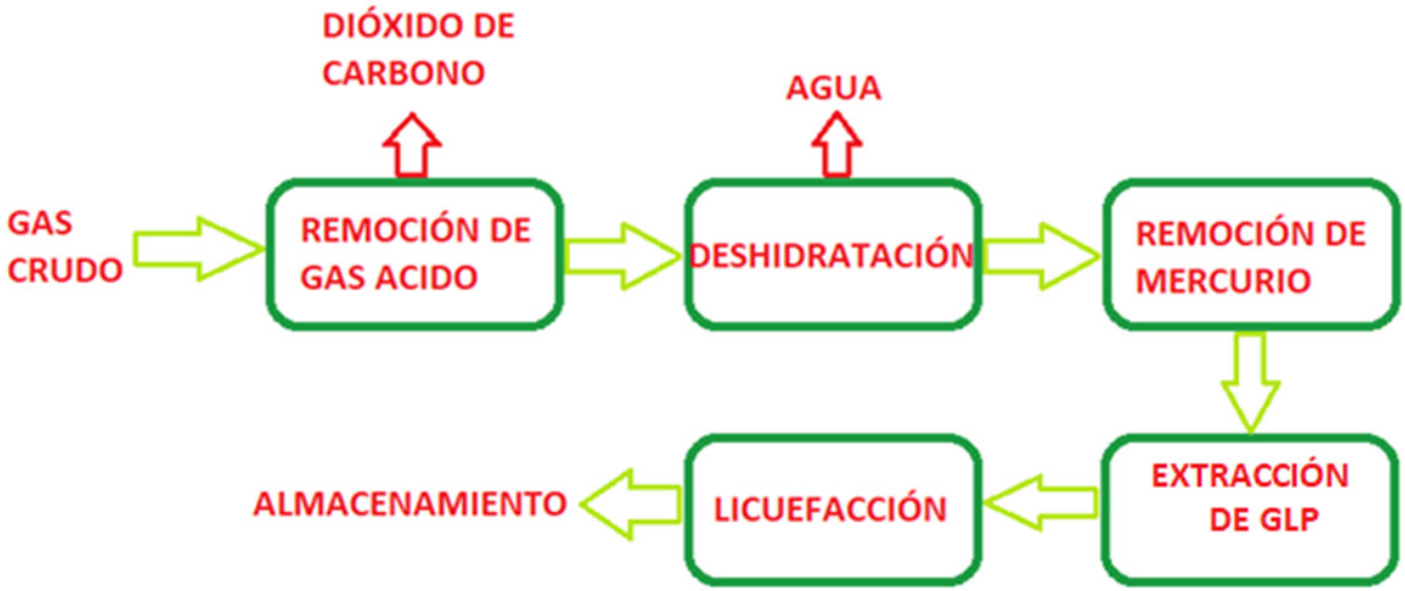

Figura 2. Flujo del proceso de licuefacción. Elaboración propia.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de información

Es importante anotar que el proceso de licuefacción del gas natural es un proceso que se implementó hace varios años y que ha sufrido pocas modificaciones, salvo algunas tecnologías incorporadas en su proceso, como por ejemplo, modificaciones en el proceso de cascada para la licuefacción (Almeida-Trasvina & Smith, 2023), análisis del bloqueo de las tuberías frías (Sun et al., 2017) y bloqueos en intercambiadores de calor (Wu et al., 2018), entre otros. Además hacen análisis económicos y de desempeño técnico del proceso de GNL (Zhang et al., 2020), (Atienza-Márquez et al., 2020), (Lin et al., 2010), (Qyyum et al., 2018) y (Rioux et al., 2019). Como se mencionó anteriormente, la mayoría de la información más reciente tiende de las investigaciones esta enfocada primariamente en la sostenibilidad y cuidados del medio ambiente.

Por ejemplo, Anthony Foretich y colaboradores (Foretich et al., 2021) hacen un análisis de combustibles alternativos empleados en el sector marítimo, incluyendo el GNL. Otros investigadores enfocan las investigaciones referentes a las emisiones, por ejemplo de metano en la planta de GNL (Cooper et al., 2021), las emisiones y control de nitrógeno (Qyyum et al., 2019) y la recuperación de líquidos de GNL (Ghorbani et al., 2016).

De manera resumida, la figura 3 muestra el proceso de licuefacción del gas natural, desde la entrada del crudo hasta la conversión en estado líquido.

3.2 Remoción de gas ácido

El gas natural proveniente de pozo puede contener componentes que afecten su calidad y propiedades, por lo tanto, se hace necesaria una etapa inicial de remoción de gases ácidos (H2S, CO2, Mercaptanos, etc.) para evitar la corrosión de los sistemas de procesamiento del gas natural y evitar una disminución en la calidad de este. Se les llama gases ácidos, porque en presencia de agua forman ácidos.

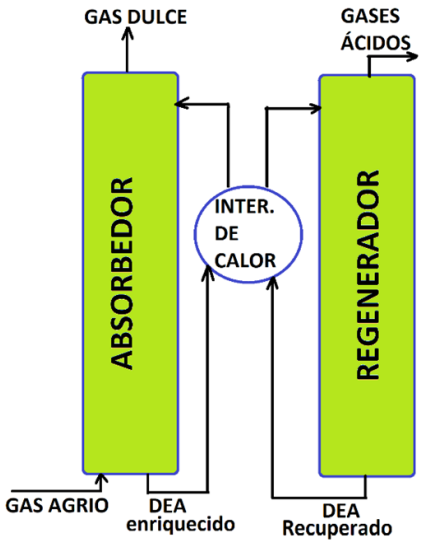

Figura 3. Proceso de remoción de los gases ácidos. Modificado de (Sierra & Fajardo, 2011)
Fuente: Elaboración propia.

Los gases ácidos no pueden ser emitidos a la atmosfera por diversas razones, entre ellas, por legislación ambiental, buenas prácticas de manufactura, costo relativo de los equipos empleados para la remoción de estos componentes, etc. Por lo cual, según la cantidad recuperada de estos compuestos y la proporción relativa de los mismos en el gas natural, deben ser considerados como materia prima para productos terciarios en el procesamiento principal (Sierra & Fajardo, 2011). Tales productos van desde la recuperación de Azufre, purificación de CO2, hasta el acople de otras plantas de procesamiento químico conjuntas a la planta de gas natural, tales como ácido sulfúrico, Urea, carbamida, etc. La figura 3 muestra el proceso de remoción de los gases ácidos, se puede notar que usan el Dietanolamina (DEA).

3.3 Deshidratación

La remoción de agua o deshidratación es importante para la prevención de la solidificación del agua durante la licuefacción, esto evitará obstrucción en las líneas de conducción de GNL. Además, evita la corrosión.

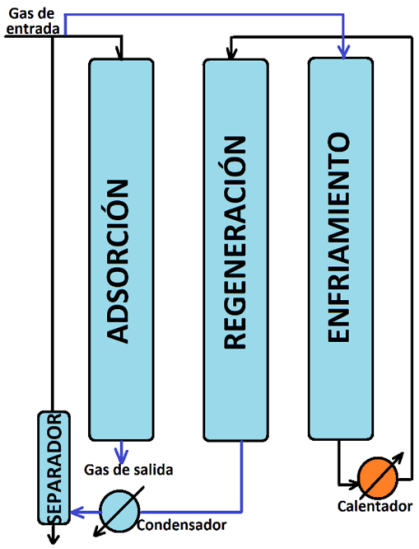

Figura 4. Proceso de extracción del agua (deshidratación). Modificado de (Sierra & Fajardo, 2011).
Fuente: Elaboración propia.

Lo restrictivo de las especificaciones requeridas para el agua hace que uno de los procesos más usados sea secar mediante adsorción empleando desecadores sólidos. Diversos métodos se han desarrollado a escala industrial para la deshidratación de gases; los tres métodos mayormente usados son: 1) enfriamiento directo, 2) adsorción y 3) absorción.

Los desecantes usados en el proceso de adsorción son comúnmente, tamices moleculares (zeolitas), sílica gel y bauxita. Para la absorción, los desecantes más usados son glicoles de dietileno y trietileno. Usualmente, el ciclo de extracción por absorción se emplea para remover grandes cantidades de agua, mientras que el de adsorción se emplea para sistemas criogénicos, a fin de alcanzar bajos contenidos de humedad. La figura 4 presenta un esquema representativo del proceso de deshidratación.

3.4 Remoción de mercurio

El mercurio (Hg) es otro elemento que debe eliminarse, ya que produce la rápida y severa corrosión del aluminio, material que habitualmente se emplea en los intercambiadores criogénicos, por sus buenas propiedades mecánicas a baja temperatura, sobre todo en equipos de transferencia de calor o transferencia de masa construidos en aluminio.

Especie química	Fracción molar GNL
CH_4	85-97 %
C_2H_6	< 4 %
C_3H_8, n-C_4H_{10}	< 2 %
C_5H_{12}, C_6H_{14}	< 0.02 %
H_2O	< 0.1 ppm
CO_2	< 50 ppm
H_2S	< 1 ppm
Hg	< 1 ppm

Tabla 1. Concentraciones promedio permitidas de GNL. Modificado de (Restrepo et al., 2021)
Fuente: Elaboración propia.

El mercurio se elimina haciendo circular el gas natural a través de un lecho de adsorbente sólido, el cual fija el mercurio. La adsorción se realiza habitualmente mediante compuestos de azufre depositados en alúmina o carbón activado. Actualmente, el adsorbente saturado de mercurio no puede ser regenerado en la planta, por lo que el material gastado debe ser reemplazado por material nuevo.

Después del proceso de remoción del mercurio, el GNL deberá cumplir con las concentraciones permitidas para luego pasar a la etapa de extracción del GNL, estas cantidades se pueden visualizar en la tabla 1.

3.5 Extracción de GLP

Los gases licuados del petróleo (GLP, como el propano/ butano) se deben extraer para obtener un GNL más limpio y puro. El GLP extraído también puede venderse como materia prima química para transporte y combustible donde exista un mercado local.

El proceso de extracción es muy sencillo, en el cual se usa una columna de destilación simple para una remoción moderada.

El proceso de remoción de GLP depende de factores como la composición del gas, la capacidad disponible y el nivel de remoción (composición final del GNL) requerido (Bp & International Gas Union, 2011).

3.6 Licuefacción

Luego de la remoción de la mayoría de los contaminantes e hidrocarburos pesados del gas de alimentación, el gas natural avanza dentro de la instalación para someterse al proceso de licuefacción.

El gas natural que se convierte a su forma licuada es casi en su totalidad metano en este punto. Para obtener la máxima reducción de volumen, el gas debe licuarse mediante la aplicación de tecnología de refrigeración que hace posible enfriar el gas hasta aproximadamente -162 °C (-256 °F) cuando se convierte en líquido.

En ese momento, el GNL es un líquido no corrosivo, transparente e incoloro como el agua, pero que pesa aproximadamente la mitad que el mismo volumen de agua. Un volumen de GNL equivale aproximadamente a 600 volúmenes de gas natural a temperatura estándar (15,6 ºC/60 ºF) y presión atmosférica.

Dicho de otra manera, la forma líquida ocupa un volumen 600 veces menor que la misma cantidad de gas natural. Es esta proporción de líquido a gas lo que hace que el GNL sea económicamente atractivo para el transporte a granel por barco o camión.

Los ciclos más importantes que se emplean en el proceso de licuefacción del GN son. El de cascada, refrigerante mixto y expansión.

3.6.1 Ciclo de refrigeración en cascada

En este proceso se emplean múltiples subciclos de refrigeración que son controlados de manera independiente. En cada uno de los circuitos, el refrigerante se evapora a diferentes condiciones de temperatura y presión. Este tipo de técnicas se emplean principalmente en plantas con grandes capacidades de producción, por lo que demandan altos costos de inversión, pero presentan bajos riesgos técnicos. Su operación cuenta con limitaciones importantes a bajas tasas de producción y su flexibilidad no es suficiente para atender variaciones en la composición del GN. En la figura 5 se puede observar varios ciclos de licuefacción, por lo que se le llama en “cascada”.

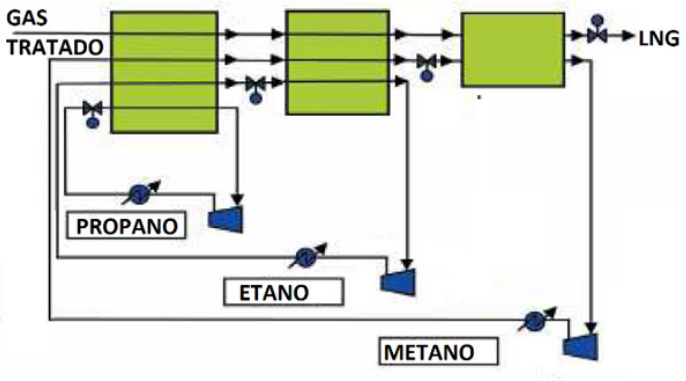

Figura 5. Proceso en cascada Phillips. Modificado de (Adaze, 2019).
Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Ciclo de refrigeración de refrigerante mixto.

El ciclo de refrigerante mixto (MR) involucra el enfriamiento continuo de una corriente de gas natural usando una mezcla cuidadosamente seleccionada de refrigerantes (usualmente una mezcla de hidrocarburos livianos y nitrógeno) que puede imitar la curva de enfriamiento del gas natural desde temperatura ambiente a temperatura criogénica, para que se pueda optimizar el uso de energía y el tamaño de los intercambiadores de calor.

En comparación con el proceso de tecnología en cascada, las ventajas del proceso de refrigerante mixto son una mayor proximidad a la temperatura operativa de los intercambiadores de calor; menor número de compresores y servicios de intercambiadores de calor; y su capacidad para ajustar las composiciones de refrigerante para adaptarse a los cambios en la composición del gas, el rendimiento del gas de alimentación y la presión operativa de la planta.

Por otro lado, un solo ciclo MR generalmente tiene una eficiencia térmica más baja que el ciclo en cascada más complejo porque una sola composición de refrigerante mixto no puede adaptarse de manera óptima al amplio rango de temperaturas de enfriamiento en la licuefacción del gas natural. El proceso de refrigeración también tarda más en iniciarse y alinearse debido a la necesidad de una combinación precisa de la mezcla de refrigerante. Esta es una consideración importante en un entorno en el que se esperan arranques y paradas frecuentes que requerirían un ajuste frecuente de la composición del refrigerante. El concepto MR se ha aplicado en varios procesos de licuefacción diseños de plantas (Restrepo et al., 2021).

3.6.3 Ciclo de expansión de gas

Los procesos de licuefacción de gas basados en expansión utilizan turbo expansores para producir el refrigerante para la licuefacción. El ciclo de refrigeración del turbo expansor funciona comprimiendo y expandiendo un fluido para generar refrigeración. El ciclo de expansión se ha mejorado mucho debido a los avances en los turbo expansores de alta eficiencia (típicamente más del 85%).

El proceso se puede configurar como diseños de turbo expansor simples, dobles o múltiples que pueden ser impulsados por motores eléctricos o de gas. Las curvas de calor de los procesos de licuefacción del expansor tienen una diferencia de temperatura relativamente grande entre el refrigerante y el gas refrigerante, típicamente en el extremo cálido de la curva de enfriamiento del gas natural. El refrigerante, ya sea nitrógeno o metano, es un componente volátil liviano que es un mejor refrigerante para el enfriamiento a baja temperatura en lugar del rango de alta temperatura al comienzo del enfriamiento del gas, especialmente cuando el gas de alimentación contiene cantidades significativas de componentes C3+.

Ciclo de refrigeración	Consumo de energía (kWh/kg $_{GNL}$)
Cascada	0.35
Refrigerante mixto con etapa simple	0.44
Refrigerante mixto multietapa	0.37
Expansión simple	0.70
Expansión simple con preenfriamiento de propano	0.60
Doble expansión	0.60

Tabla 2. Consumo de energía de los ciclos de licuefacción. Modificado de (Restrepo et al., 2021)
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 2 resume los diferentes procesos de licuefacción, pero, además. Presenta un análisis comparativo de los consumos de energía entre los diferentes procesos.

Notamos que la opción más económica es el proceso de cascada, y en el que se tiene que invertir más en el tiempo, es el proceso de expansión simple.

4. CONCLUSIONES Y/O DISCUSIONES

Se explicó el proceso de licuefacción del gas natural, en donde se eliminan las impurezas y elementos que pueden interferir en dicho proceso. Se pude decir que es un proceso limpio y amigable con el ambiente.

El gas crudo inicialmente ingresa al sistema y sufre el proceso de eliminación de gases ácidos, seguido por el de deshidratación y eliminación de mercurio. Con esta etapa de “limpieza” del GN, para al proceso de licuado.

Pero la etapa más importante de este proceso es propiamente la licuefacción del GN, en donde se pueden emplear ciclos en cascada, ciclo de refrigeración del refrigerante mixto y ciclos de expansión del gas, siendo el más económico en consumo de energía, el de cascada.

6. REFERENCIAS

Adaze, E. vanessa. (2019). A comparative study of Philips optimized cascade APCI propane pre-cooled mixed refrigerant LNG liquefaction process.

Almeida-Trasvina, F., & Smith, R. (2023). Design and optimisation of novel cascade mixed refrigerant cycles for LNG production – Part II: Novel cascade configurations. Energy, 266(May 2022), 126404. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126404

Atienza-Márquez, A., Ayou, D. S., Bruno, J. C., & Coronas, A. (2020). Energy polygeneration systems based on LNG-regasification: Comprehensive overview and techno-economic feasibility. Thermal Science and Engineering Progress, 20(February), 100677. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100677

Bp, & International Gas Union. (2011). Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality. Secretary, 6, 154. http://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality, August 2011.pdf%5Cnhttp://www.igu.org/igu-publications-2010/Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality 23Aug10.pdf

Cooper, J., Balcombe, P., & Hawkes, A. (2021). The quantification of methane emissions and assessment of emissions data for the largest natural gas supply chains. Journal of Cleaner Production, 320(October 2020), 128856. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128856

Foretich, A., Zaimes, G. G., Hawkins, T. R., & Newes, E. (2021). Challenges and opportunities for alternative fuels in the maritime sector. Maritime Transport Research, 2(August), 100033. https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100033

Ghorbani, B., Hamedi, M. H., & Amidpour, M. (2016). Development and optimization of an integrated process configuration for natural gas liquefaction (LNG) and natural gas liquids (NGL) recovery with a nitrogen rejection unit (NRU). Journal of Natural Gas Science and Engineering, 34, 590–603. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.07.037

Lin, W., Zhang, N., & Gu, A. (2010). LNG (liquefied natural gas): A necessary part in China's future energy infrastructure. Energy, 35(11), 4383–4391. https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.036
ONU. (2015). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/

Qyyum, M. A., Long, N. V. D., Minh, L. Q., & Lee, M. (2018). Design optimization of single mixed refrigerant LNG process using a hybrid modified coordinate descent algorithm. Cryogenics, 89(December 2017), 131–140. https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2017.12.005

Qyyum, M. A., Qadeer, K., Minh, L. Q., Haider, J., & Lee, M. (2019). Nitrogen self-recuperation expansion-based process for offshore coproduction of liquefied natural gas, liquefied petroleum gas, and pentane plus. Applied Energy, 235(October 2018), 247–257. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.127

Restrepo, A., Saldarriaga Cortés, C. A., Salazar Isaza, H., López Restrepo, J. C., & Tibaquirá Giraldo, J. E. (2021). Gas Natural Licuado: Una opción para la transición energética en Colombia. In Gas Natural Licuado: Una opción para la transición energética en Colombia. https://doi.org/10.22517/9789587225921

Rioux, B., Galkin, P., Murphy, F., Feijoo, F., Pierru, A., Malov, A., Li, Y., & Wu, K. (2019). The economic impact of price controls on China's natural gas supply chain. Energy Economics, 80(2019), 394–410. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.12.026

Sierra, F., & Fajardo, G. (2011). Licuefacción Del Gas Natural : Una importante alternativa energética (U. N. Asociación de Ingenieros Mecánicos de la AIMUN (ed.); Primera, Issue March). Universidad Nacional de Colombia.

Sun, C., Li, Y., Han, H., Zhu, J., & Wang, Y. (2017). Sensibility Analysis of Pre-cooling Cold Box Pipeline Blockage in DMR Liquefaction Process. Energy Procedia, 142, 3276–3281. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.457

Wu, J., He, T., & Ju, Y. (2018). Experimental study on CO2 frosting and clogging in a brazed plate heat exchanger for natural gas liquefaction process. Cryogenics, 91(June 2017), 128–135. https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2018.03.001

Zhang, J., Meerman, H., Benders, R., & Faaij, A. (2020). Comprehensive review of current natural gas liquefaction processes on technical and economic performance. Applied Thermal Engineering, 166(August 2019), 114736. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114736