



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **México como competidor de Gas Natural Licuado (GNL)**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Petrolera**

**P R E S E N T A**

Dulce Anahi Ramirez Monroy

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Eduardo Dorantes Sevilla



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025**



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado MEXICO COMO COMPETIDOR DE GAS NATURAL LICUADO (GNL) que presenté para obtener el título de INGENIERO PETROLERO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

---

**DULCE ANAHI RAMIREZ MONROY**  
Número de cuenta: 317359453

*“Que nuestros planes se cumplan, pero que por encima de ellos, se cumplan los planes de Dios, porque los planes de él son más grandes y mejores”*

*Jeremías 29:11*

# Agradecimientos

A **Arturo Ramirez**, con todo mi amor y admiración. Por ser mi ejemplo más grande de esfuerzo y perseverancia. Eres un hombre que nunca ha dejado de luchar y que siempre ha trabajado con dedicación y entrega para darnos lo mejor. Por apoyarme incondicionalmente para que pudiera alcanzar este sueño, este logro también es tuyo, porque sin tu trabajo constante, tu ejemplo y amor, no habría llegado hasta aquí.

A **Emilia Monroy**, el sol de mi vida, quien ha iluminado mi camino en cada etapa y mi admiración más grande. Por recordarme siempre lo lejos que podía llegar, tu fe en mí siempre ha sido el impulso para nunca rendirme. Y por enseñarme el valor de la paciencia, del esfuerzo y del amor verdadero. Este logro es tan tuyo como mío.

A **Flavia Piña**, el ejemplo de amor más puro. Por tus oraciones, tu cariño incondicional y por acompañarme con tu presencia llena de paz y ternura. Tu amor ha sido una bendición constante, agradezco profundamente que seas mi abuelita.

A **Paola y Mayra Ramirez**, mis compañeras de vida. Por ser mis incondicionales, por escucharme incluso cuando no era fácil entenderme y por compartir conmigo risas, consejos, lágrimas y silencios. Su amor y presencia han sido un refugio y una fuerza que me ha sostenido en este camino.

A **Itzel Alvarado**, mi hermana de otra madre. Por estar presente siempre en los momentos más importantes y por tu apoyo incondicional. Tu compañía y cariño han sido un regalo invaluable en mi vida, me siento muy afortunada de poder compartir contigo tantos recuerdos.

A **Ulises Avilés**, mi más grande amor. Me resulta difícil imaginar esta última etapa sin ti. Agradezco tu aliento, tu comprensión y tu amor sin medida, pero sobre todo, el haberme enseñado a soñar mucho más allá de lo que creía posible.

A **Samantha Frausto**, mi mejor amiga, quien estuvo presente en los mejores y peores momentos de mi vida universitaria. Por ser mi consejera, apoyo y motivación en cada paso de todo este camino. Tu amistad fue sin duda uno de los regalos más valiosos que me dejó la universidad.

A todos los amigos y personas que formaron parte de mi vida universitaria, ustedes hicieron más liviana y divertida toda esta etapa, fue muy grato poder compartir un pedacito de mi vida con todos ustedes.

Al **Ing. Eduardo Dorantes Sevilla**. Por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo. Pero sobre todo, le agradezco por haber sido el consejero que con sus palabras de aliento y sabiduría, me impulsaron a superar cada obstáculo.

A mis **sinodales** y **maestros** por ser una inspiración para mi vida profesional y personal, fue un honor para mí poder aprender de ustedes y contar con su guía durante este camino académico.

Y finalmente, a mi alma mater, la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Facultad de Ingeniería** por brindarme un espacio de aprendizaje, crecimiento y desarrollo profesional.

# RESUMEN

Hoy en día, el gas natural representa un papel fundamental en la transición energética ya que es un combustible que constituye una fuente de energía abundante y competitiva que sustituye a otras fuentes de energía que generan mayores volúmenes de emisiones contaminantes, además, se ha vuelto un pilar importante en la matriz de la generación eléctrica y otras actividades industriales en México y el mundo. Cabe resaltar que es más económico y seguro, sumando que es el único combustible que ha logrado sustituir al carbón.

El gas natural se posiciona como uno de los combustibles más rentables alrededor del mundo, lo que ha provocado que exista mayor interés en la industria por invertir en este recurso mediante infraestructura necesaria para su producción, proceso y distribución.

Su mercado está influenciado por una combinación de factores geopolíticos, económicos y climatológicos. La tensión entre países puede afectar considerablemente la oferta y demanda de gas natural, mientras que las políticas gubernamentales y las condiciones económicas determinan su consumo y precios en el mercado. A su vez, las perspectivas del gas natural están moldeadas por dos tendencias paralelas: por un lado, el aumento de la demanda en las economías en crecimiento e industrialización; por otro, la transición hacia una mayor electrificación y bajas emisiones de carbono en el esfuerzo global por la descarbonización. El impacto de estas dinámicas dependerá en gran medida de la velocidad y profundidad de la transición energética global.

Existen diferentes factores como la demanda de energía mundial, la disminución de recursos de hidrocarburos, el aumento de precio de los mismos y las regulaciones contra la quema de gas que han impulsado la urgencia de buscar tecnologías comerciales y viables para el transporte a largas distancias de este recurso, así es como surge el Gas Natural Licuado (GNL).

La importación de GNL es una buena opción como método para cubrir las demandas de energía. Alrededor de 70% del gas natural mundial se comercializa a través de gasoductos y el 30% restante es transportado por vía marítima en forma de GNL. Aunque con el paso de los años, este último se ha popularizado y su demanda ha ido en aumento ya que los países necesitan asegurar su consumo sin interrupciones.

El primer capítulo integra el marco conceptual y contextual del gas natural y gas natural licuado, lo cual brinda un panorama introductorio de estos dos elementos, resaltando su importancia en el escenario global.

En el segundo capítulo se estudia el potencial del GNL, destacando también la estructura económica del sector, agregando un análisis detallado de la cadena de valor como fuente de suministro para comprender a profundidad como es que funciona cada uno de los eslabones, enfatizando su pertenencia dentro del mercado.

El tercer capítulo se centra en el panorama internacional del mercado de GNL, buscando analizar el contexto global en cuanto las reservas, producciones y consumo del gas natural, asimismo, describe los principales sectores de consumo que permite observar su relevancia a nivel internacional. Adicional a ello, se lleva a cabo una comparación general en países como Estados Unidos, China, Alemania, España, Brasil, Colombia y México para examinar la infraestructura y

posición de cada uno de los países en materia de este energético. Lo cual nos permite concluir en qué condiciones se encuentra México.

Finalmente, en el cuarto capítulo se analiza la infraestructura de GNL en países clave del mercado. Se examinan las normas internacionales y nacionales que son aplicadas en cada eslabón de la cadena de valor del GNL, junto con la posición competitiva de México frente a otros competidores en esta industria.



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	III
INTRODUCCIÓN.....	XI
OBJETIVO.....	XII
<b>1 Antecedentes</b> .....	1
1.1 Gas Natural.....	1
1.1.1 Definición del Gas Natural.....	2
1.1.2 Composición del Gas Natural.....	3
1.1.3 Usos industriales y domésticos.....	4
1.1.4 Líderes en el sector energético de gas.....	5
1.1.5 Principales exportadores.....	6
1.1.6 Principales importadores.....	7
1.2 Gas Natural Licuado (GNL).....	8
1.2.1 Definición de gas natural licuado.....	9
1.2.2 Composición del gas natural licuado.....	9
1.2.3 Diferencias entre GNL, GLP y GN.....	10
1.2.4 Ventajas y desventajas del GNL.....	11
1.2.5 Gases de efecto invernadero.....	12
1.2.6 Beneficios del GN en la Matriz Energética.....	13
<b>2 Fuentes de suministro</b> .....	14
2.1 Cadena de valor del GNL.....	14
2.1.1 Extracción.....	15
2.1.1.1 Yacimientos de gas natural.....	16
2.1.1.2 Yacimientos convencionales.....	17
2.1.1.3 Yacimientos no convencionales.....	18
2.1.1.4 Shale Gas.....	20
2.1.1.5 Avances tecnológicos del shale gas.....	22
2.1.2 Transporte marítimo.....	23
2.1.2.1 Buquetanques.....	23
2.1.2.2 Esféricos o tipo Moss.....	24
2.1.2.3 De diseño de membrana.....	25
2.1.3 Transporte terrestre.....	26
2.1.3.1 Autotanques.....	26

2.1.3.2	Carrotanques .....	27
2.1.3.3	Otros medios.....	27
2.1.4	Procesos de licuefacción .....	27
2.1.4.1	Cascada clásica .....	28
2.1.4.2	Technip-L' Aire Liquide (TEAL).....	29
2.1.4.3	Air Products and Chemicals .....	30
2.1.4.4	Technip-Snamprogetti .....	31
2.1.5	Regasificación .....	31
2.1.5.1	Plantas de regasificación.....	31
2.2	Transición energética.....	33
2.3	Potencial del GNL.....	33
2.4	Economía del GNL.....	34
<b>3</b>	<b>Panorama internacional del mercado de GNL .....</b>	<b>36</b>
3.1	Oferta y demanda de gas natural.....	36
3.2	Principales reservas.....	36
3.3	Principales países productores .....	37
3.4	Principales consumidores .....	38
3.5	Principales sectores de consumo.....	39
3.5.1	Sector generación eléctrica.....	39
3.5.2	Sector industrial .....	40
3.5.3	Sector petrolero .....	41
3.5.4	Sector residencial .....	41
3.5.5	Sector transporte .....	41
3.6	Condiciones económicas .....	42
3.6.1	Condiciones de mercado de la importación y exportación.....	42
3.7	Precios.....	53
3.8	Matriz energética .....	54
3.9	Emisiones.....	57
3.10	Panorama nacional .....	57
3.10.1	Reservas .....	58
3.10.2	Producción.....	59
3.10.3	Importaciones .....	61
3.10.4	Estatus de balance de gas natural.....	61



<b>4</b>	<b>Infraestructura y condiciones para la recepción de GNL</b> .....	62
4.1	Recepción, licuefacción, almacenamiento, transporte y regasificación .....	62
4.2	Proyectos actuales y futuros a nivel mundial.....	69
4.3	México como exportador de GNL y competidores internacionales .....	70
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b> .....	73
	<b>Referencias</b> .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de la producción de Energía primaria 2023. Modificado de (SENER, 2023) .....	1
Figura 1.2 Gas asociado y gas no asociado. (Cruz, 2024) .....	2
Figura 1.3 Sistema Petrolero (IMP, 2015) .....	3
Figura 1.4 Usos del gas natural .....	5
Figura 1.5 Principales movimientos comerciales en 2023 de gas natural por gasoducto. Modificada de (Institute, 2024) .....	8
Figura 1.6 Métodos alternativos para comercializar el gas natural a los mercados internacionales. Modificada de (Saeid Mokhatab J. Y., 2014) .....	9
Figura 2.1 Cadena de Valor del GNL. Modificado de (Enagás, 2024) .....	14
Figura 2.2 Reservas mundiales de gas natural. (Pelino, s.f.).....	16
Figura 2.3 Esquemización de Yacimiento Convencional. (CNH, 2022) .....	17
Figura 2.4 Distribución de las reservas de gas por provincia petrolera. Expresada en MMMpc. (CONAHCYT, 2024).....	18
Figura 2.5 Yacimientos convencionales y no convencionales en México. (CNH, 2022) .....	19
Figura 2.6 Provincias petroleras con potencial para exploración y extracción de petróleo y gas en yacimientos no convencionales en lutitas. (CNH, 2022) .....	19
Figura 2.7 Principales cuencas de shale gas en el mundo. (EIA, 2011) .....	20
Figura 2.8 Localización y resultados de los pozos perforados en México con objetivo no convencional de petróleo y gas. (CNH, 2022) .....	21
Figura 2.9 Pozos horizontales con arreglo multilateral y multicapa en un yacimiento de shale gas. (CNH, 2022) .....	23
Figura 2.10 Arreglo de un buque gasero, para el transporte de LNG con tanques independientes esféricos tipo B. (Leiva, 2009) .....	24
Figura 2.11 Tanque esférico auto soportable tipo B. ICS Tanker Safety Guide (liquefied gas). (Leiva, 2009) .....	24
Figura 2.12 Arreglo general de un Buque Gasero, para el transporte de LNG en tanques tipo membrana. (Leiva, 2009) .....	25
Figura 2.13 Tanque de membrana tipo Gaz Transport y tanque de membrana Technigaz respectivamente. ICS Tanker Safety Guide (liquefied gas). (Leiva, 2009).....	26
Figura 2.14 Corte transversal de un autotanque que transporta GNL. (Franco, 1972) .....	27
Figura 2.15 Proceso de licuefacción - Cascada clásica. Modificado de (CONUEE, 2024) .....	29

Figura 2.16 Proceso de licuefacción - TEAL. Modificado de (CONUEE, 2024) .....	30
Figura 2.17 Proceso de licuefacción - Air Products and Chemicals. Modificado de (CONUEE, 2024) .....	30
Figura 2.18 Proceso de licuefacción - Technip-Snamprogetti. Modificado de (CONUEE, 2024)	31
Figura 2.19 Estructura de una planta de regasificación en tierra. (LNG, 2024).....	32
Figura 2.20 Comparación de precios de los principales índices de referencia de GNL, gas por gasoducto y petróleo. (IGU, 2024) .....	35
Figura 3.1 Infraestructura de GNL destacable de Estados Unidos en 2024. ....	45
Figura 3.2 Infraestructura de GNL destacable de China en 2024. ....	47
Figura 3.3 Infraestructura de GNL destacable de España en 2024. ....	48
Figura 3.4 Infraestructura de GNL destacable de Alemania en 2024. ....	49
Figura 3.5 Infraestructura de GNL destacable de Brasil en 2024. ....	50
Figura 3.6 Infraestructura de GNL destacable de México en 2024. ....	52
Figura 3.7 Infraestructura de GNL destacable de Colombia en 2024. ....	53
Figura 3.8 Precios del GNL a través de los años. (ENI, 2025) .....	54
Figura 3.9 Matriz energética mundial en 2023 (aproximadamente de 15 Gtoe) . Modificada de (ENI, 2024) .....	54
Figura 3.10 Comportamiento de la dinámica de Gas Natural Seco en México. (SENER, 2025)	58
Figura 3.11 Reservas de gas natural en México. (SENER, 2025) .....	59
Figura 3.12 Producción de gas natural por activo durante el primer trimestre de 2025. Modificado de (PEMEX, 2025) .....	60
Figura 3.13 Producción de gas natural por región. (PEMEX, 2024) .....	60
Figura 4.1 Cadena de valor del GNL - Producción, Recepción, Procesamiento y Licuefacción. ....	65
Figura 4.2 Cadena de valor del GNL - Licuefacción y Transporte. ....	67
Figura 4.3 Cadena de valor del GNL - Regasificación y Uso final. ....	69
Figura 4.4 Infraestructura de GNL existente y anunciada de México hasta 2024. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición del Gas Natural con datos de la NOM-001-SECRE-2010. ....	3
Tabla 1.2 Características físico/químicas del Gas Natural. ....	4
Tabla 1.3 Principales países exportadores de Gas Natural. (ENI, 2024).....	6
Tabla 1.4 Principales países importadores de Gas Natural. (ENI, 2024).....	7
Tabla 1.5 Características fisicoquímicas del GNL. ....	10
Tabla 1.6 Diferencias entre el GNL, GLP y GN .....	10
Tabla 1.7 Ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales del GNL. ....	12
Tabla 2.1 Producción de gas natural en 2023. (Institute, 2024).....	16
Tabla 2.2 Principales países con reservas de shale gas. (EIA, 2014) .....	21
Tabla 2.3 Diferencias entre tecnologías usadas para explotar yacimientos de shale gas.....	22
Tabla 3.1 Principales reservas de gas natural a nivel global. (ENI, 2024) .....	36
Tabla 3.2 Reservas de gas natural de los países de estudio. (ENI, 2024).....	37
Tabla 3.3 Principales países productores de gas natural a nivel global. (ENI, 2024).....	37
Tabla 3.4 Producción de gas natural de los países de estudio. (ENI, 2024).....	38
Tabla 3.5 Países con mayor consumo de gas natural a nivel global. (ENI, 2024) .....	38
Tabla 3.6 Consumo de gas natural de los países de estudio. (ENI, 2024) .....	38
Tabla 3.7 Principales países con mayor demanda de generación de energía por gas natural a nivel global. (Institute, 2024) .....	39
Tabla 3.8 Generación eléctrica por gas natural de los países de estudio. (Institute, 2024).....	40
Tabla 3.9 Consumo de gas natural en el sector industrial. ....	40
Tabla 3.10 Plantas de licuefacción más destacables de Estados Unidos en 2024. (IGU, 2025)	43
Tabla 3.11 Plantas de regasificación más destacables de Estados Unidos en 2024. (IGU, 2025) .....	44
Tabla 5.1 Principales productores de crudo en 2023. (ENI, 2024) .....	73
Tabla 5.2 Principales productores de gas natural en 2023. (ENI, 2024).....	73

# INTRODUCCIÓN

Actualmente el gas natural ha tomado terreno gracias a que es un combustible fósil amigable con el medio ambiente y es clave en la transición energética, sumado que para la generación eléctrica es más accesible en comparación con otros recursos como el carbón. Es por esto que es importante lograr manejar un suministro continuo que sea capaz de responder ante la creciente demanda de este recurso.

El aumento del uso del gas natural en el sector energético mundial ha forzado a los países a buscar nuevas maneras de exportar e importar este insumo. El gas natural pasa por un proceso de licuefacción, es decir, convertir el gas a estado líquido para facilitar su almacenamiento y transporte. De esta manera se transforma en Gas Natural Licuado (GNL), lo que permite que este combustible pueda llegar a lugares más lejanos a costos más bajos.

La demanda del gas natural en México ha ido en aumento desde los últimos 30 años a causa de las políticas de gasificación del sector nacional, la cual aumentó la dependencia energética de México hacia los Estados Unidos.

A pesar de su relevancia mundial, México carece de infraestructura para garantizar el acceso seguro a este hidrocarburo. Actualmente, se cuentan con 2.4 días de inventario de almacenamiento de gas natural, lo que nos coloca en una posición vulnerable delante de los países competidores y se vuelve un riesgo en la seguridad energética del país.

El presente trabajo ofrece un análisis integral de la cadena de valor del gas natural licuado, obteniendo una visión completa del sector, lo que permite identificar los puntos críticos y las áreas de oportunidad en cada uno de los eslabones. Sumado a una comparativa internacional para demostrar la importancia del GNL en la transición energética de México y evaluar su posición competitiva en el mercado global. La profundidad de esta investigación es indispensable ante la creciente relevancia estratégica del GNL y la necesidad de un conocimiento profundo sobre el desarrollo del sector en el contexto nacional de nuestro país.

Esta investigación representa una contribución esencial y pionera en la industria nacional del GNL, un sector que está experimentando una transformación importante. La puesta en operación de la terminal Altamira Fast LNG en 2024 marcó el ingreso de nuestro país al mercado de exportadores. Dada la escasez de trabajos de investigación sobre esta materia, este estudio es crucial, ya que la consolidación de los proyectos anunciados no solo impulsará la economía nacional, sino que también podría posicionar a México como un competidor clave en el mercado global del GNL.

## **OBJETIVO**

Estudiar la cadena de valor en el mercado internacional del GNL para analizar y comparar el desarrollo, infraestructura y competitividad de México frente a otros países a nivel global que actualmente compiten en el sector global.

Este estudio se justifica porque que la cadena de valor determina la estructura de costos, la capacidad para evolucionar frente a retos y las ventajas comparativas de otros países en el mercado.

Para ello, se realizará un análisis de indicadores clave extraídos de reportes oficiales tanto nacionales como internacionales. Esperando que los resultados obtenidos se orienten a la creación de un plan de acción que identifique debilidades, fortalezas, oportunidades e incluso amenazas, que sean la base para desarrollar estrategias que optimicen la participación de México en la industria del gas natural licuado.

# 1 Antecedentes

A lo largo de este capítulo, se establecen las definiciones esenciales en el mercado del Gas Natural (GN) y Gas Natural Licuado (GNL), lo que proporciona la base necesaria para la comprensión de la presente investigación.

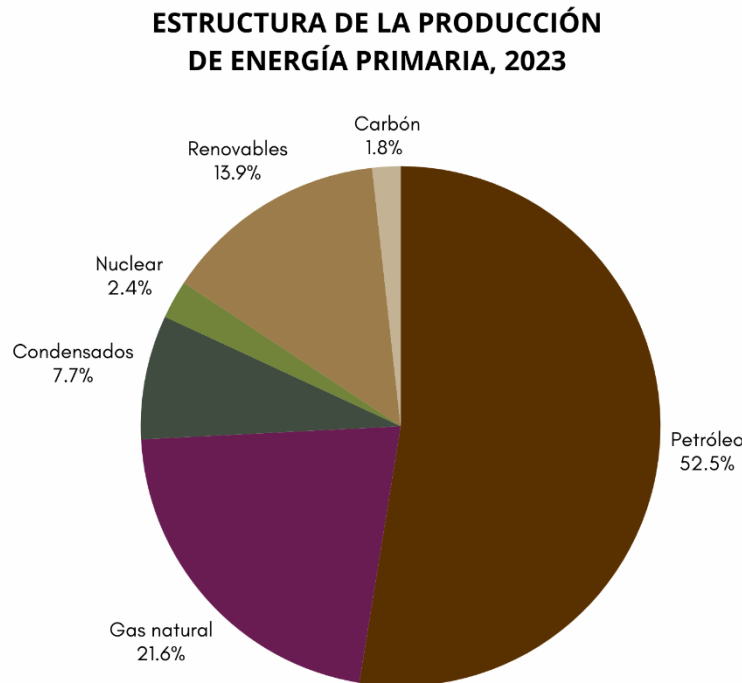
Además, se detallarán los diversos usos y aplicaciones que presenta el gas natural tanto en las diferentes industrias como en el ámbito doméstico. Esta diversidad es uno de los factores que posicionan al gas natural como un energético importante alrededor del mundo.

Adicionalmente se abordan los beneficios estratégicos que presenta el GNL frente a la matriz energética mundial, lo que destaca su rol en la seguridad y transición energética.

## 1.1 Gas Natural

El gas natural hoy en día representa un papel fundamental en la transición energética ya que es un combustible que constituye una fuente de energía abundante y competitiva que sustituye a otras fuentes de energía que generan mayores volúmenes de emisiones contaminantes, además, se ha vuelto un pilar importante en la matriz de la generación eléctrica y otras actividades industriales en México y el mundo.

En la **Figura 1.1** se observa la producción de energía primaria, también conocida como matriz de energía primaria, que es fundamental para la planificación energética, económica y ambiental de un país, en este caso, de México.



**Figura 1.1 Estructura de la producción de Energía primaria 2023. Modificado de (SENER, 2023)**



### 1.1.1 Definición del Gas Natural

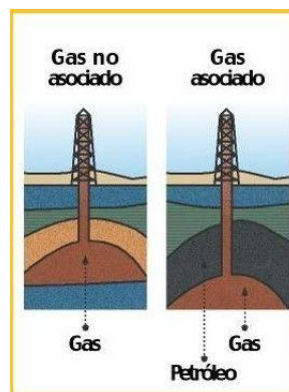
El gas natural es la mezcla de gases que se obtiene de la extracción o del procesamiento industrial y que es constituida principalmente por metano. Usualmente esta mezcla contiene etano, propano, butano y pentano en una mínima cantidad.<sup>1</sup>

Es importante mencionar que este es un recurso de energía no renovable, pero presenta mejores beneficios frente a otros combustibles, es menos contaminante y se le conoce como el combustible de la transición energética.

El gas natural es la fuente de energía fósil más limpia, ya que emite menos gases contaminantes por unidad de energía producida; su combustión no produce partículas sólidas y tampoco es corrosivo.<sup>2</sup>

El gas natural se puede clasificar dependiendo de su origen, lo cual se ilustra en la **Figura 1.2**:

- **Gas asociado:** es el gas natural encontrado en contacto o disuelto en petróleo crudo dentro del yacimiento.
- **Gas no asociado:** se encuentra en depósitos que no contienen aceite crudo a condiciones de presión y temperatura originales.



*Figura 1.2 Gas asociado y gas no asociado. (Cruz, 2024)*

De acuerdo con la concentración de ácido sulfhídrico, existen estas dos clasificaciones para el Gas Natural (GN):

- **Gas dulce:** es libre de ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y agua.
- **Gas amargo:** contiene derivados del azufre y proviene directamente de los yacimientos de crudo o de los diversos procesos de refinación.

Ahora bien, de acuerdo con su composición, según la concentración de hidrocarburos que contenga la mezcla se clasifica como:

- **Gas seco:** es el gas compuesto mayoritariamente por metano y carece de hidrocarburos líquidos.

---

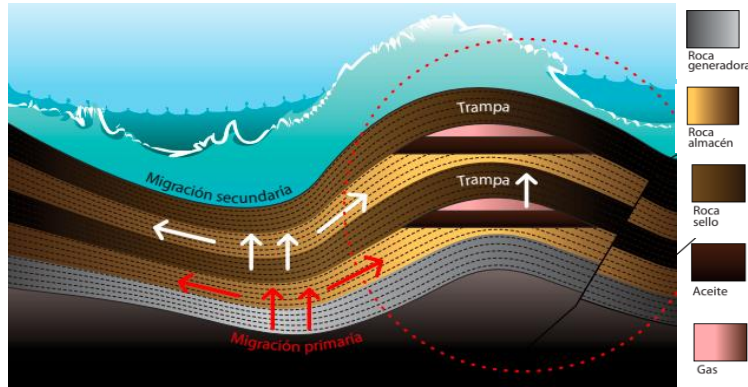
<sup>1</sup> (SENER, 2015)

<sup>2</sup> (CNH, 2018)

- **Gas húmedo:** es el gas al que no se han eliminado los hidrocarburos líquidos.

La composición de estos dos tipos de gases mencionados puede variar de acuerdo con el tipo de materia orgánica que se haya generado en el yacimiento, la madurez térmica a la que fueron generados y expulsados de la roca generadora e incluso por el tipo de roca a través de la cual migraron.

En la **Figura 1.3** se ilustra al sistema petrolero que describe los elementos y procesos esenciales para que se forme y preserve un yacimiento de hidrocarburos.



**Figura 1.3 Sistema Petrolero (IMP, 2015)**

### 1.1.2 Composición del Gas Natural

La composición del gas natural varía principalmente en función de su origen, composición química o estado físico después del procesamiento, sin embargo, la NOM-001-SECRE-2010 establece las especificaciones que debe satisfacer el gas natural que se maneje en los sistemas de transporte, almacenamiento y distribución del GN, satisfaciendo la seguridad de la población, medio ambiente e instalaciones de los permisionarios y de los usuarios. Dichas especificaciones se detallan en la **Tabla 1.1**:

**Tabla 1.1 Composición del Gas Natural con datos de la NOM-001-SECRE-2010.**

Componente	Zona Sur del País	Resto del País
Metano $CH_4$	83%	84%
Oxígeno $O_2$ máximo	0.20%	0.20%
Bióxido de Carbono $CO_2$	3%	3%
Nitrógeno $N_2$	6%	4%
Nitrógeno variación máxima diaria	$\pm 1.5$	$\pm 1.5$
Total de inertes $CO_2$ y $N_2$	6%	4%
Etano $C_2H_6$ máximo	11%	11%

Componente	Zona Sur del País	Resto del País
Temperatura de rocío de hidrocarburos máximo	271.15K (-2°C)	271.15K (-2°C)
Humedad $H_2O$ máximo	110 $mg/m^3$	110 $mg/m^3$
Poder calorífico superior mínimo	36.80 $MJ/m^3$	37.30 $MJ/m^3$
Poder calorífico superior máximo	43.60 $MJ/m^3$	43.60 $MJ/m^3$
Índice de Wobbe mínimo	47.30 $MJ/m^3$	48.20 $MJ/m^3$
Índice de Wobbe máximo	53.20 $MJ/m^3$	53.20 $MJ/m^3$
Índice de Wobbe Variación máxima diaria	±5	±5
Ácido sulfhídrico $H_2S$ máximo	6 $mg/m^3$	6 $mg/m^3$
Azufre total $S$ máximo	150 $mg/m^3$	150 $mg/m^3$

El metano ( $CH_4$ ) puede constituir hasta el 97% del gas natural. Algunas de sus propiedades fisicoquímicas se enlistan en la **Tabla 1.2**:

**Tabla 1.2 Características físico/químicas del Gas Natural.**

Característica físico/química	Cantidad y unidad de medida
Masa molecular	16.04 g/mol
Punto de ebullición	-161°C
Punto de fusión	-183°C
Solubilidad en agua (ml/100ml a 20°C)	3.3
Densidad relativa del gas (ref; aire=1)	0.6
Punto de inflamación	Gas inflamable
Índice de Wobbe	≥ 47.20 a ≤ 51.41 MJ/m <sup>3</sup>

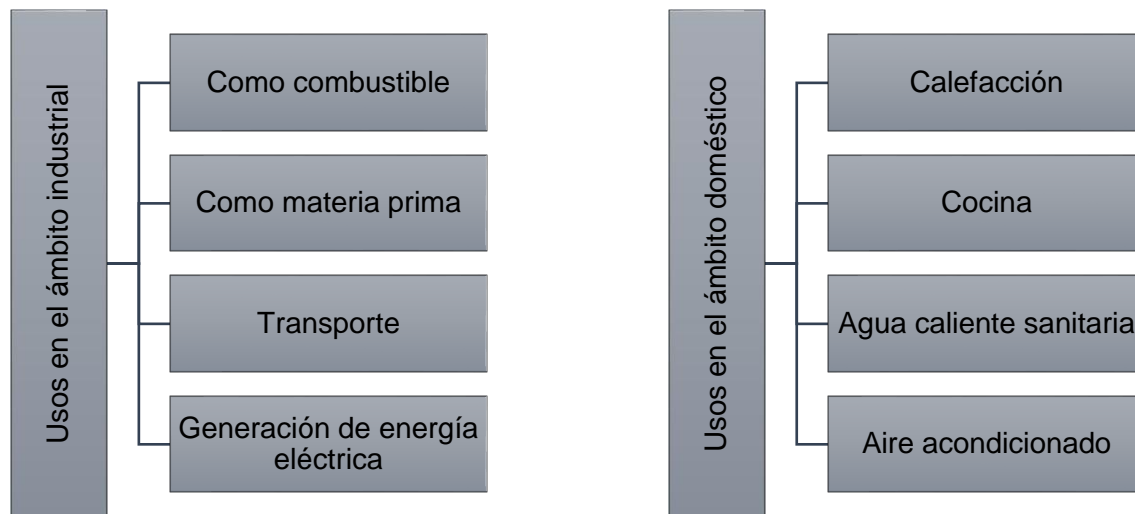
El GN en su estado natural es incoloro, inodoro e insípido, es por ello que para advertir su presencia en uso doméstico se le adiciona mercaptano, lo que le da su olor característico. Su densidad relativa lo hace más ligero que el aire por lo que se disipa rápidamente en el ambiente.

### 1.1.3 Usos industriales y domésticos

El gas se utilizó inicialmente para el alumbrado, pero rápidamente se transformó en una fuente de calor a causa de la facilidad de manipulación y del desarrollo de nuevas tecnologías. Actualmente, todos los sectores recurren al gas natural para diversos usos, gracias a que, por

medio de la tecnología presente hoy en día, se puede utilizar en la generación eléctrica, como uso térmico y como materia prima.

El GN tiene diferentes aplicaciones dentro del ámbito doméstico e industrial (**Figura 1.4**) que, en el capítulo 3 de esta investigación, se detallarán. Su uso viene determinado por la capacidad humana de crear máquinas útiles que aprovechen su potencial energético, hoy en día, no hay sector que no se vea favorecido por este recurso energético.



**Figura 1.4 Usos del gas natural**

El gas natural se ha posicionado como una energía más segura, ya que, en caso de fugas, al ser más ligero que el aire, asciende y no se concentra, reduciendo la posibilidad de siniestros.

#### **1.1.4 Líderes en el sector energético de gas**

El gas natural se posicionó como uno de los combustibles más rentables a través del mundo, esto ha provocado que cada vez la industria se interese más por invertir en este recurso mediante el desarrollo de la infraestructura necesaria para su producción, proceso y distribución.

La crisis energética mundial provocada por la invasión rusa a Ucrania, transformó la estructura de los mercados del gas natural, lo que requiere diálogos más estrechos entre países productores y consumidores que busquen garantizar la seguridad del suministro a corto y largo plazo.<sup>3</sup>

Es importante mencionar que el mercado de gas natural está influenciado por factores geopolíticos y económicos. La tensión entre países puede afectar la oferta y demanda del GN, además, las políticas de los diferentes gobiernos y las condiciones económicas igual influyen en la demanda y los precios del GN.

---

<sup>3</sup> (IEA, 2024)

En el presente documento nos centraremos en el estudio de siete países: Estados Unidos, Alemania, China, España, Brasil, Colombia y México, donde no todos se posicionan en los primeros exportadores o importadores en este mercado pero que serán factor clave para poder observar en qué condiciones se encuentra nuestro país respecto a este recurso.

### 1.1.5 Principales exportadores

Las perspectivas del gas natural están moldeadas por dos tendencias importantes y paralelas: el aumento de la demanda en las economías a medida que crecen y se industrializan, frente a un cambio hacia mayor electrificación y bajas emisiones de carbono a medida que el mundo se descarboniza. El impacto de estas dos tendencias depende de la velocidad de la transición energética.

La demanda de GN ha crecido constantemente a lo largo de los años, creciendo alrededor de un 15% para 2050, con su participación en la energía primaria aumentando a poco más del 25%.<sup>4</sup>

El aumento en el consumo de gas en las economías emergentes está impulsado por el uso en los sectores de energía e industrial. El crecimiento en la demanda global de gas también es impulsado por el aumento del consumo en China, de nuevo debido en gran parte al aumento del uso en los sectores industriales y energéticos y su posición geopolítica en función de los BRICS.

Cabe mencionar que los BRICS son un grupo de cinco de las economías más grandes y emergentes del mundo: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica.<sup>5</sup>

La demanda global de gas se mantuvo estable en 2023, aumentando solo en 1 bcm (mil millones de metros cúbicos). Esto no fue suficiente para recuperar las pérdidas observadas en 2022, cuando la demanda general cayó un 0,4% (15 bcm).<sup>6</sup>

Las exportaciones mundiales en 2023 cerraron en 1,205.46 billones de metros cúbicos, en la **Tabla 1.3** se muestran a los principales países exportadores durante ese año:

*Tabla 1.3 Principales países exportadores de Gas Natural. (ENI, 2024)*

País	Exportaciones totales en 2023 (billones de metros cúbicos)	Exportaciones totales en 2023 (%)
Estados Unidos	212.19	17.60
Rusia	131.63	10.92
Catar	129.30	10.72
Alemania	115.61	9.50
Australia	113.53	9.41
Canadá	80.90	6.71
Argelia	51.68	4.28
Turkmenistán	50.43	4.18
Malasia	33.72	2.79
Azerbaiyán	23.29	1.93

<sup>4</sup> (ENI, 2024)

<sup>5</sup> (Cuevas, 2025)

<sup>6</sup> (Institute, 2024)

Como se puede observar, Estados Unidos es el principal exportador, esto se debe a que es el principal productor de Gas Natural. Tan solo en 2023 produjo el 25% de gas natural mundial y consumió el 22% del mismo.<sup>7</sup>

### 1.1.6 Principales importadores

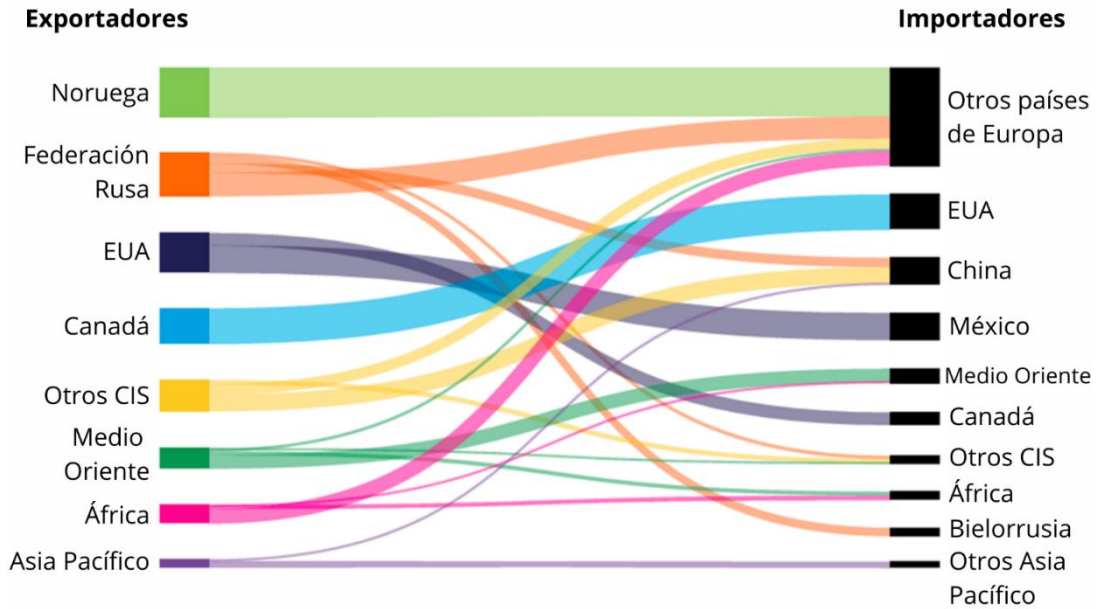
En 2023, el comercio de GN por gasoducto continuó disminuyendo, cayendo hasta los 388 bcm. Las importaciones mundiales de gas natural cerraron en 1,147.70 billones de metros cúbicos, donde China superó a Japón, convirtiéndose en el mayor importador de GNL, con un tercio de sus importaciones provenientes de Australia. Europa también incrementó sus importaciones desde Estados Unidos en un 6% y Noruega se mantuvo como su principal proveedor de gas vía gasoducto.

Como se observa en la **Tabla 1.4**, los países asiáticos encabezaron la importación de gas natural durante 2023, asimismo, en la **Figura 1.5** se muestran los movimientos comerciales del GN a través de gasoductos:

*Tabla 1.4 Principales países importadores de Gas Natural. (ENI, 2024)*

País	Importaciones totales en 2023 (billones de metros cúbicos)	Importaciones totales en 2023 (%)
China	150.75	13.13
Japón	88.75	7.73
Estados Unidos	81.67	7.11
Alemania	69.34	6.04
Corea del Sur	61.09	5.32
Italia	58.88	5.13
Turquía	48.34	4.21
Francia	47.92	4.17
México	46.02	4.01
Reino Unido	44.45	3.87

<sup>7</sup> (Institute, 2025)



**Figura 1.5 Principales movimientos comerciales en 2023 de gas natural por gasoducto. Modificada de (Institute, 2024)**

Tal como se ilustra en la **Figura 1.5**, la región que más GN importó fue Europa, sin embargo, se observa que ha tratado de comercializar con países diferentes a Rusia debido a los conflictos que sucedieron en el año 2022.

## 1.2 Gas Natural Licuado (GNL)

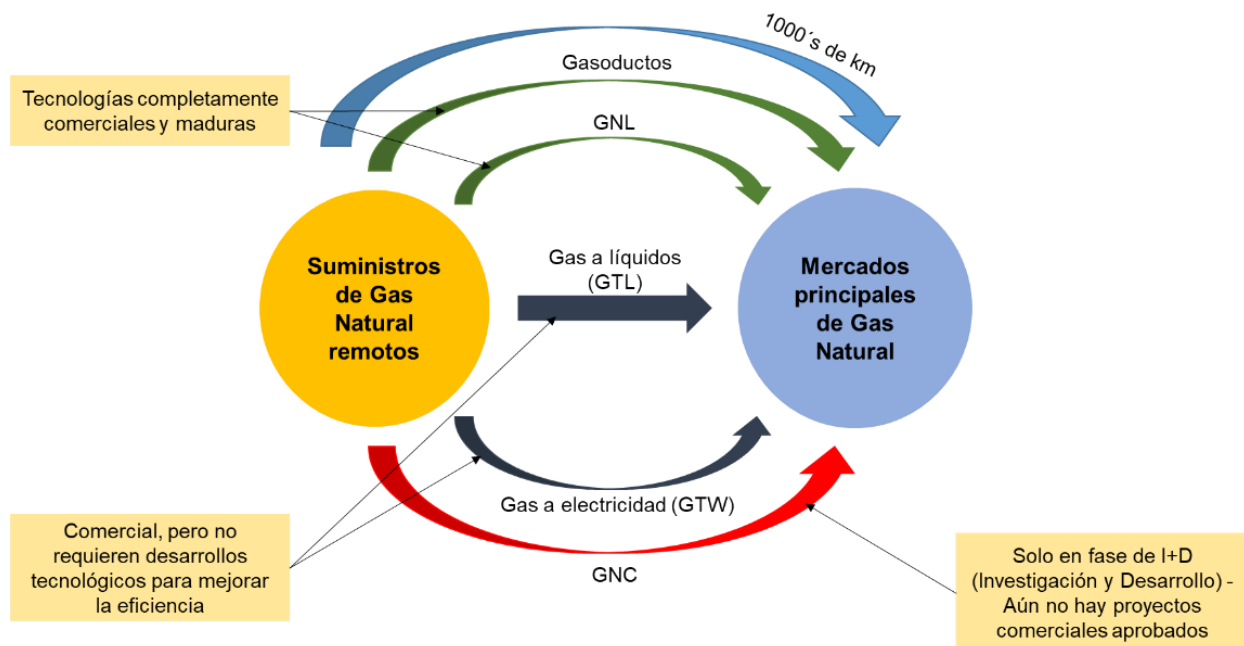
El GN es una de las fuentes de energía más abundantes en el mundo. El aumento a la demanda mundial de energía, la disminución de recursos petroleros, el aumento de precio de estos y las regulaciones contra la quema de gas, han impulsado la urgencia de encontrar tecnologías comerciales viables para el transporte a largas distancias de este recurso, es aquí donde surge el GNL.

El GN y el GNL son el mismo compuesto, pero en diferentes estados físicos, solo existen entre ellos diferencias en su uso, almacenamiento, transporte y aplicaciones.

A nivel global, alrededor del 70% de GN se comercializa a través de gasoductos y el 30% restante es transportado por vía marítima en forma de GNL. Además, la importación de GNL es una buena opción como método complementario para cubrir las demandas máximas de energía, por ejemplo, en periodos de invierno, reabastecer los almacenamientos nacionales y como portador de energía para suministrar a pequeños consumidores, permitiendo el desarrollo de mercados locales alejados de los gasoductos de transmisión.

La **Figura 1.6** ilustra la distribución del comercio global según las diversas formas de transporte del gas natural.





**Figura 1.6 Métodos alternativos para comercializar el gas natural a los mercados internacionales.**  
 Modificada de (Saeid Mokhatab J. Y., 2014)

### 1.2.1 Definición de gas natural licuado

El gas natural licuado (GNL) es gas natural sometido a un proceso de licuefacción, donde es enfriado a  $-162^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica y es llevado a un estado líquido, en esta instancia, reduce su volumen unas 600 veces, lo que nos permite transportar mayor cantidad de gas a diversos destinos en el mundo cuando el transporte por gasoducto no es viable.<sup>8</sup>

El GNL demanda una serie de procesos dentro de la cadena de valor del gas, que incluye: licuefacción, transporte, regasificación y distribución. Esto hace que su costo sea mayor en relación al GN.

### 1.2.2 Composición del gas natural licuado

Las propiedades del GNL (**Tabla 1.5**) varían según su composición que depende del yacimiento de donde provenga el gas y también de su historial de procesamiento.

El GNL es principalmente metano, pero su composición también incluye otros hidrocarburos como los de C2 a C4 y más pesados, nitrógeno, trazas de azufre y CO2.

<sup>8</sup> (Energy, 2025)

El GNL es un líquido criogénico inodoro, incoloro y no corrosivo a presión atmosférica normal. Además, no es tóxico, pero la liberación de este puede causar asfixia debido a la falta de oxígeno en áreas confinadas o sin ventilación.

Si el GNL se derrama en el agua, flota en la superficie y se evapora rápidamente debido a que es mucho más ligero que el agua. Inicialmente, los vapores de GNL son más pesados que el aire y permanecerán cerca del nivel del suelo, sin embargo, cuando los vapores comienzan a calentarse por el entorno y alcanzan temperaturas de aproximadamente  $-110^{\circ}\text{C}$ , la densidad de los vapores se vuelve más ligera que el aire y los vapores comienzan a ascender.<sup>9</sup>

**Tabla 1.5 Características fisicoquímicas del GNL.**

<b>Característica físico/química</b>	<b>Descripción</b>
Estado	Líquido
Compuesto principal	Metano (95%)
Densidad respecto al agua	0.45
Temperatura	$-160^{\circ}\text{C}$
Punto de fusión	$-183^{\circ}\text{C}$
Solubilidad en agua	22 mg/l a $25^{\circ}\text{C}$
Inflamabilidad	Extremadamente inflamable
Punto de inflamabilidad	$-188^{\circ}\text{C}$
Color	Incoloro
Olor	Inodoro

### 1.2.3 Diferencias entre GNL, GLP y GN

El gas natural, el gas licuado de petróleo y el gas natural licuado tienen orígenes y aplicaciones similares, pero no son el mismo combustible. Es cierto que todos provienen del gas natural, pero son dirigidos a ampliar su uso con el objetivo de llevar sus beneficios económicos y ambientales a un mayor número de consumidores en todas las categorías, fomentando un mercado sólido del gas natural.

Estos tres gases, tienen similitudes en cuanto a orígenes y aplicaciones, pero su composición, obtención, procesamiento, transporte y comercialización son diferentes (véase **Tabla 1.6**), esto es lo que da lugar a tener que manipularlos de distintas maneras y además influyen en los precios de cada uno.

**Tabla 1.6 Diferencias entre el GNL, GLP y GN**

<b>Propiedad</b>	<b>Gas Natural (GN)</b>	<b>Gas Natural Licuado (GNL)</b>	<b>Gas Licuado de Petróleo (GLP)</b>
<b>Composición</b>	70-90% metano	85-99% metano	60% propano 40% butano

<sup>9</sup> (Saeid Mokhatab J. Y., 2014)

Propiedad	Gas Natural (GN)	Gas Natural Licuado (GNL)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Fórmula química	$CH_4$	$CH_4$	$C_3H_8$ $C_4H_{10}$
Gravedad específica	0.60	0.45	2.05 1.56
Poder calorífico	8500-9500 [kcal/m <sup>3</sup> ]	8500-11000 [kcal/m <sup>3</sup> ]	22000-25000 [Kcal/m <sup>3</sup> ]
Presión de suministro	20-25 mbar para uso doméstico, en sistemas industriales suele ser más alto.	Después de regasificarse y antes de la distribución, se suministra en las mismas condiciones que el gas natural, entre 20 y 25 mbar para uso doméstico.	30-50 mbar, dependiendo de la mezcla de propano y butano y el tipo de instalación.
Estado físico	Gaseoso a condiciones normales de temperatura y presión.	Líquido cuando se encuentra a muy bajas temperaturas (-162°C). gaseoso al calentarse para su distribución y consumo.	Líquido al ser almacenado y transportado. Gaseoso cuando se libera para su uso a presión atmosférica.
Color/Oloro	Incoloro/Inodoro	Incoloro/Inodoro	Incoloro/Inodoro
Transporte	Red de gasoductos.	Buques especiales.	Transporte terrestre y transporte marítimo.

#### 1.2.4 Ventajas y desventajas del GNL

El mercado del GNL como combustible ha ido en aumento en los últimos años, superando el mercado del gas natural por gasoductos. Su rápida evolución y desarrollo ha continuado para satisfacer las necesidades del mercado global. La creciente demanda de gas natural en los mercados globales, la diversificación de los participantes del mercado, la expansión de la infraestructura del GNL y la aceleración del desarrollo tecnológico, así como la innovación, son las dinámicas del mercado del GNL en la actualidad.

Pero, ¿tendrá este combustible más ventajas sobre desventajas que justifiquen su popularidad? La demanda mundial de energía está aumentando y a menos que se presenten cambios importantes en las políticas energéticas, la demanda energética mundial prevista para 2030 solo se podrá satisfacer mediante el aumento en el uso de los hidrocarburos.<sup>10</sup>

En la **Tabla 1.7** se observan algunas ventajas y desventajas del GNL que nos permiten estudiar más a fondo su importancia en el futuro de la matriz energética.

<sup>10</sup> (Snijder, 2008)

**Tabla 1.7 Ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales del GNL.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Facilidad de transporte internacional	Dependencia de instalaciones específicas
Flexibilidad de suministro	Costos elevados de infraestructura iniciales
Reducción de emisiones contaminantes	Consume mucha energía en el proceso de licuefacción y transporte
Almacenamiento eficiente	Riesgos de seguridad al no llevar a cabo los procesos correctamente
Estabilidad energética	Volatilidad del mercado
Aumento de la competencia en el mercado energético	Competencia con alternativas renovables a largo plazo

El GNL es un combustible que desempeña un papel clave en la transición energética ya que produce menos emisiones en comparación con otros combustibles, pero enfrenta barreras económicas, tecnológicas y ambientales que condicionan su expansión alrededor del mundo. Aunque es una opción menos contaminante, es importante mencionar que su sostenibilidad a largo plazo puede estar limitada por la creciente competitividad de las energías renovables a medida que avanza la transición energética global.

Y no solo ofrece ventajas significativas en términos de sostenibilidad ambiental, también mejora la eficiencia operativa y la rentabilidad de un sector logístico. Estos beneficios hacen del GNL una opción cada vez más popular y esencial en las estrategias de sostenibilidad que las empresas están implementando.

### **1.2.5 Gases de efecto invernadero**

El GNL produce un 40% menos de dióxido de carbono que el carbón y un 30% menos que el petróleo, esto lo transforma en un combustible fósil más amigable con el ambiente, convirtiéndose así en una opción más limpia y sostenible. Además, recordemos que el GNL está compuesto principalmente de metano y prácticamente no emite dióxido de azufre ni mercurio, mejorando la calidad del aire y beneficiando la salud pública.

Tan solo al utilizarlo como combustible, el GNL reduce un 15% las emisiones de CO<sub>2</sub>, un 35% la emisión de óxidos de nitrógeno y un 95% la emisión de partículas finas (responsables de causar enfermedades respiratorias y también de actuar en la formación de lluvia ácida). Como si fuera poco, los vehículos que utilizan este combustible, que suelen ser transportes de carga pesada, consiguen disminuir el ruido de sus motores un 50% en relación con los vehículos que utilizan motores de gasolina, lo que reduce la contaminación acústica.<sup>11</sup>

El uso de este combustible en el sector marítimo ha permitido dejar de generar emisiones de partículas (PM) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), al mismo tiempo que permite reducir las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y en un 20% las de CO<sub>2</sub>. Debido a su alta densidad energética, el GNL logra hacer que, en cuestiones de transporte, se recorran mayores distancias con menor cantidad de combustible.

<sup>11</sup> (SETI, 2024)

Al ser un combustible inocuo, en un hipotético caso de derrame en tierra o agua, este se evaporaría y se elevaría a la atmósfera sin dejar residuos gracias a que es un 30-40% más liviano que el aire.

El GNL produce lo que se conoce como combustión limpia, lo que hace que mejore la calidad del aire de las regiones donde es utilizado, por lo que puede ser una opción inteligente de reemplazar energías contaminantes como el carbón, leña o el fueloil que se utilizan principalmente para generar calor o energía, lo que incluso reduce la deforestación.

Siempre y cuando las emisiones de metano asociadas al GN y al GNL estén bien gestionadas, no resulta ser tan problemático en términos de calentamiento global como lo son el petróleo y el carbón.<sup>12</sup>

### **1.2.6 Beneficios del GN en la Matriz Energética**

La matriz energética representa la cantidad de energía disponible en determinado lugar, cuantificando todas las fuentes energéticas de las cuales nos abastecemos en el mundo y en cada uno de los países, incluyendo regiones.<sup>13</sup>

Conocer la matriz energética de un país permite planificar actividades que se relacionen con la innovación, producción, transporte y ventas para lograr la sostenibilidad y sustentabilidad del sistema de energía.

Actualmente, al observar la matriz del consumo de combustibles, aproximadamente la cuarta parte de combustibles primarios a nivel mundial es ocupada por el gas natural y busca sustituir al carbón principalmente en la matriz eléctrica para tener una generación más limpia.

Según participantes del webinar *Energía Inteligente: Cómo reducir emisiones y aumentar la competitividad (2024)*, destacaron que el 82% de la matriz energética actual de México depende de combustibles fósiles.

Es importante mencionar que el gas natural es un combustible de transición, no es el destino final, su función es facilitar el abandono de la dependencia a los combustibles más contaminantes y posteriormente permitirá hacerlo más seguro implementando energías aún más amigables con el medio ambiente.

Una de las principales ventajas que tiene este combustible es la versatilidad que tiene para lograr ser manipulado en diferentes estados, además, se pueden desarrollar proyectos de gas natural comprimido (GNC) o GNL para poder dejar atrás el uso de gasolina.

---

<sup>12</sup> (Radka, 2023)

<sup>13</sup> (Velásquez, 2019)

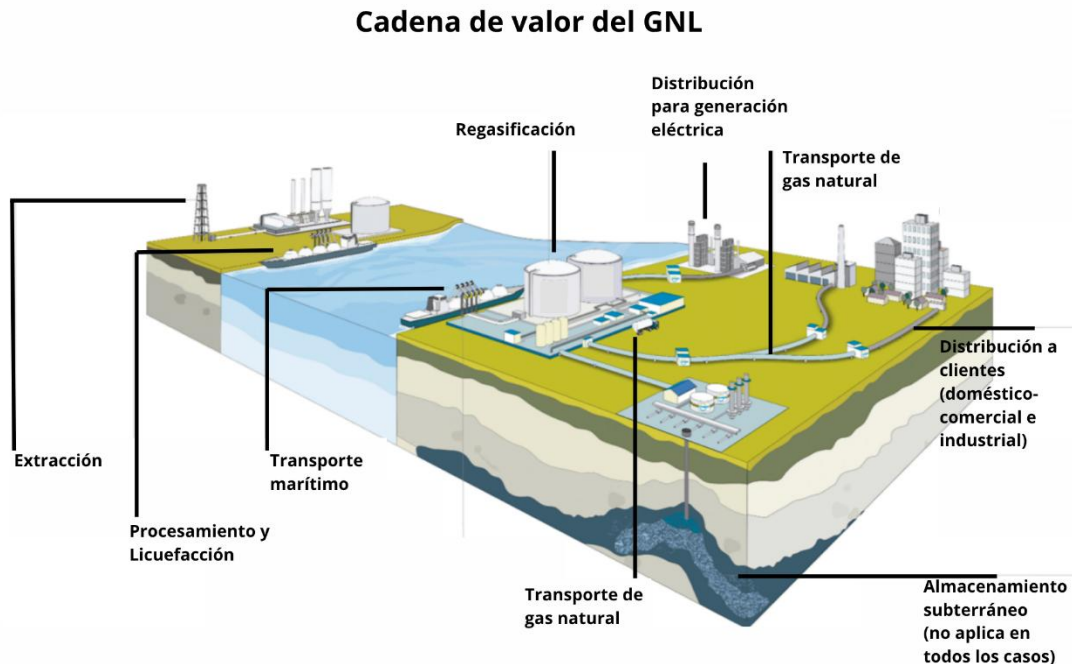
## 2 Fuentes de suministro

Para lograr entender la importancia del gas natural licuado que ha ido en aumento a través del tiempo, es necesario ubicar primero la causa que lo encamino a tener el auge que hoy en día tiene.

El GNL permite el desarrollo de un mercado internacional diversificado de proveedores y compradores a diferencia del gas natural que es transportado por ductos. Para que un país pueda definir su rol en el mercado de este energético, es esencial identificar la existencia y potencial de sus reservas de gas natural. Por ende, el estudio de la cadena de valor del GNL es primordial, ya que entender el funcionamiento de cada etapa facilita la identificación de ventajas, riesgos y costos. Este análisis proporciona herramientas clave para diseñar estrategias orientadas a posicionar a México como un comercializador clave, ya sea como exportador o importador en el mercado internacional.

### 2.1 Cadena de valor del GNL

La cadena de valor del gas natural licuado (véase **Figura 2.1**) está conformada por cinco principales etapas que abarcan desde su extracción hasta su rendición al consumidor final: Producción, Tratamiento, Licuefacción, Regasificación y Generación eléctrica/ Distribución.



*Figura 2.1 Cadena de Valor del GNL. Modificado de (Enagás, 2024)*

Donde en la producción, se extrae el gas de los yacimientos que se encuentran en tierra o mar, seguido del tratamiento, el gas previamente extraído debe pasar por diversos procesos que buscan eliminar las impurezas como el agua, dióxido de carbono, entre otros, para obtener un producto de mejor calidad que sea funcional. Posteriormente, el gas se pasa al proceso de licuefacción, aquí el gas se enfría a  $-162^{\circ}\text{C}$  para pasarlo a estado líquido, después, en la regasificación, como su nombre lo dice, el GNL se regresa a estado gaseoso para finalmente poder ser distribuido a los consumidores finales.

Todas estas etapas son las que le dan valor al gas natural, lo que hace que se utilice de manera eficiente en cada uno de los diferentes sectores.

### 2.1.1 Extracción

Una vez que se detecta gas natural en los yacimientos, se analiza si estos son rentables por medio de diferentes estudios geofísicos y geológicos. Además, se busca conocer la composición química y la presión del gas para proceder a la explotación del pozo. Si el gas natural se encuentra en yacimientos no asociados, el proceso de separación y tratamiento en superficie es más sencillo ya que se elimina la necesidad de manejar grandes volúmenes de hidrocarburos líquidos.

La extracción de gas natural se realiza mediante la perforación de pozos y el uso de técnicas que dependen de la naturaleza del yacimiento, es decir, si es un yacimiento convencional o no convencional.

Ya que el gas se extrajo del yacimiento, es necesario que se procese mediante un tratamiento que separa los gases que no tienen aporte energético, para después transportarlo y finalmente comercializarlo, siempre cuidando que se cumplan los estándares de seguridad y calidad en todas las etapas. A nivel global la estandarización del gas natural está liderada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y otras organizaciones como la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) que genera códigos y estándares técnicos que rigen el diseño, construcción e inspección de los equipos utilizados en la cadena de valor del GN.

Existen diferentes métodos convencionales y no convencionales para extraer el gas natural:

- **Perforación vertical:** este método se utiliza en yacimientos con alta porosidad y permeabilidad. La presión del yacimiento es suficiente para empujar al gas natural a través de la roca porosa y la tubería del pozo hacia la superficie por sí solo.
- **Fracturación hidráulica:** esta técnica también es conocida como “fracking”. Consiste en perforar verticalmente hasta llegar a la formación que contiene gas, posteriormente se realiza una perforación horizontal y se fractura la roca con la inyección de una mezcla fluidos a altas presiones, lo que genera el flujo y salida de los hidrocarburos de los poros.<sup>14</sup>
- **Perforación horizontal:** como su nombre lo dice, esta técnica consiste en extender el pozo de manera horizontal, logrando el acceso a las capas de roca que contienen el gas natural y mejorando la eficiencia de producción.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> (TotalEnergies, 2024)

<sup>15</sup> (TotalEnergies, 2024)



### 2.1.1.1 Yacimientos de gas natural

Un yacimiento es una formación de roca en el subsuelo constituida por una roca permeable que contiene petróleo, gas y agua, las cuales conforman un solo sistema.<sup>16</sup>

Rusia es el país que posee las mayores reservas probadas de gas natural del mundo, teniendo tan solo 47.80 BCM, seguido de Irán con 34.02 BCM, Qatar con 24.68 BCM, Estados Unidos, con 10.44 BCM, dejando en quinto lugar a Arabia Saudita con 8.33 BCM. En esta larga lista, México se encuentra en el 31 lugar con 0.47 BCM.<sup>17</sup>

Las reservas mundiales de GN durante 2023 ascendieron a 4,059.2 billones de metros cúbicos. En la **Figura 2.2** se observa la distribución de las reservas de gas natural a nivel global.



**Figura 2.2 Reservas mundiales de gas natural. (Pelino, s.f.)**

Es importante resaltar que la cantidad de reservas que tiene un país, no define su producción de gas natural. Esto lo podemos observar en la **Tabla 2.1**:

**Tabla 2.1 Producción de gas natural en 2023. (Institute, 2024)**

País	Producción de GN en 2023 (BCM) <sup>18</sup>	Producción de GN en 2023 (%)
Estados Unidos	1035.3	25.50
Rusia	586.4	14.44
Irán	251.7	6.20
China	234.3	5.77
Canadá	190.3	4.68
Qatar	181	4.45
Australia	151.7	3.73
Noruega	116.6	2.87
Arabia Saudita	114.1	2.81
Argelia	101.5	2.50

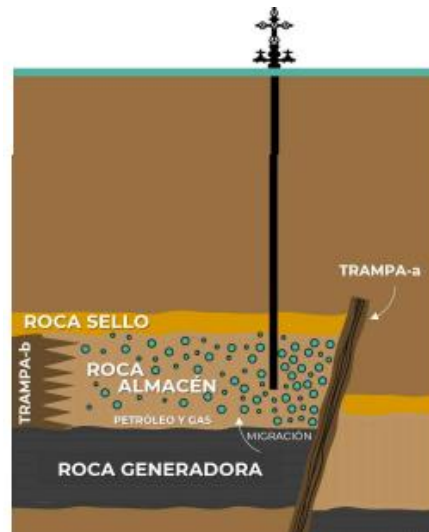
<sup>16</sup> (SENER, 2015)

<sup>17</sup> (Review, 2024)

<sup>18</sup> BCM: billones de metros cúbicos

### 2.1.1.2 Yacimientos convencionales

Los yacimientos convencionales (**Figura 2.3**) son acumulaciones de materia orgánica que a través de millones de años quedó sepultada por capas de sedimentos. En estas rocas debe existir sincronía y debe haber una existencia de ciertas condiciones geológicas denominadas sistema petrolero. El sistema petrolero debe estar conformado de una roca generadora, roca almacén, trampa, roca sello y los debidos procesos de migración y acumulación.<sup>19</sup>



**Figura 2.3 Esquematación de Yacimiento Convencional. (CNH, 2022)**

Los recursos prospectivos de México en cuestión de gas natural, corresponden a 224 mil 700 millones de pies cúbicos, de los cuales 83 mil 200 millones están en yacimientos convencionales.

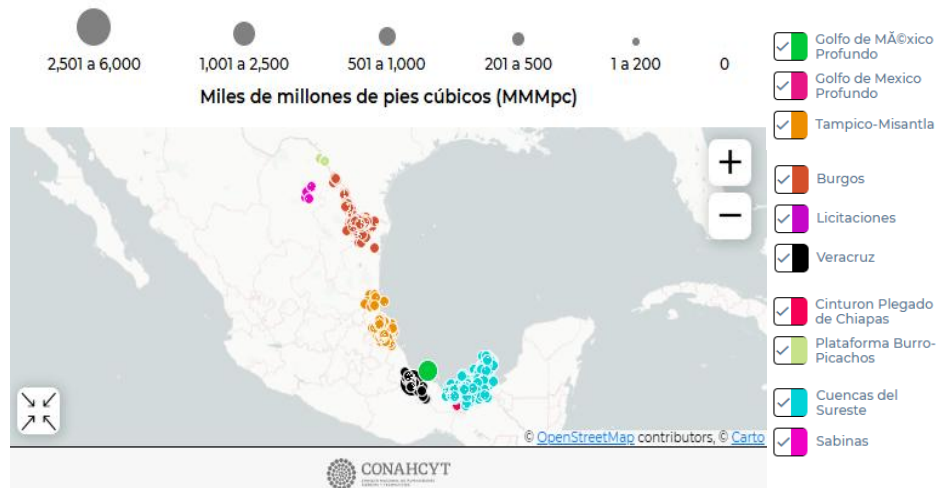
A diferencia del petróleo, la mayor parte de las reservas de gas están en campos terrestres. Para 2022 los campos Ixachi, Quesqui, Akal, Lakach, Maloob, Ku, Ichalkil, Onel, Teotleco, Cuitlahuac, concentraron el 52% de las reservas de gas. Ixachi, por sí solo, contiene el 18% de las reservas probadas de gas, mientras que el campo Quesqui el 13%.<sup>20</sup>

En la **Figura 2.4** se puede observar la distribución de reservas de gas que hay en el país clasificadas por provincias petroleras:

---

<sup>19</sup> (CNH, 2022)

<sup>20</sup> (CONAHCYT, 2024)



**Figura 2.4 Distribución de las reservas de gas por provincia petrolera. Expresada en MMMpc. (CONAHCYT, 2024)**

### 2.1.1.3 Yacimientos no convencionales

Los yacimientos no convencionales pueden ser diferenciados de los convencionales porque tienen una o más de las siguientes características:

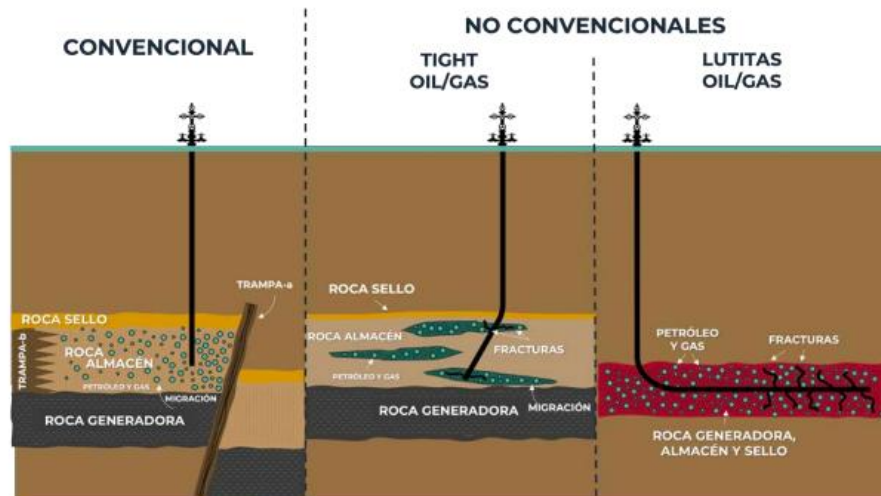
- Tiene propiedades petrofísicas de baja porosidad y permeabilidad.
- La roca almacén, generadora y sello son una misma.
- Requieren de tecnologías especializadas para poder tener una producción comercial.

La CNH (2022) señala que para yacimientos de gas existe la siguiente clasificación de yacimientos no convencionales:

- **Gas en lutitas (shale gas):** los volúmenes de gas provienen de lutitas, donde la roca generadora también funge como roca almacén y sello. Además, su extracción requiere de estimulación hidráulica.
- **Gas en rocas de baja permeabilidad o compactas (tight gas):** el gas se produce en rocas relativamente impermeables, deben ser estimuladas hidráulicamente para hacer una recuperación de estos recursos.
- **Gas metano en capas o yacimiento de carbón (gas grisú):** gas producido durante la formación de carbón, este se encuentra adsorbido en su superficie.
- **Hidratos de metano:** acumulación de gas natural atrapado en moléculas de helio.

Las últimas dos clasificaciones en México no tienen gran relevancia debido a que su explotación comercial es actualmente nula.

En yacimientos no convencionales (**Figura 2.5**), los retos técnicos asociados a la baja permeabilidad y porosidad aumentan debido a que con estas propiedades es difícil mantener condiciones de producción comercial. En estos casos los pozos deben tener técnicas de estimulación hidráulica en diversas etapas para ayudar al gas a fluir y poder lograr una producción comercial.



**Figura 2.5 Yacimientos convencionales y no convencionales en México. (CNH, 2022)**

En México, en cuestión de yacimientos no convencionales, se estima que hay recursos por 141 mil 500 millones de pies cúbicos.

Los yacimientos no convencionales en México tienen un componente elevado de gas natural.<sup>21</sup> México posee una gran cantidad de recursos no convencionales en lutitas principalmente en el noreste del país, cuyo potencial no ha sido desarrollado ya que se requiere de una gran inversión y exploración.

En la **Figura 2.6** se observan las provincias petroleras en el país donde se ha identificado potencial en exploración y extracción de petróleo y gas en yacimientos no convencionales en lutitas:



**Figura 2.6 Provincias petroleras con potencial para exploración y extracción de petróleo y gas en yacimientos no convencionales en lutitas. (CNH, 2022)**

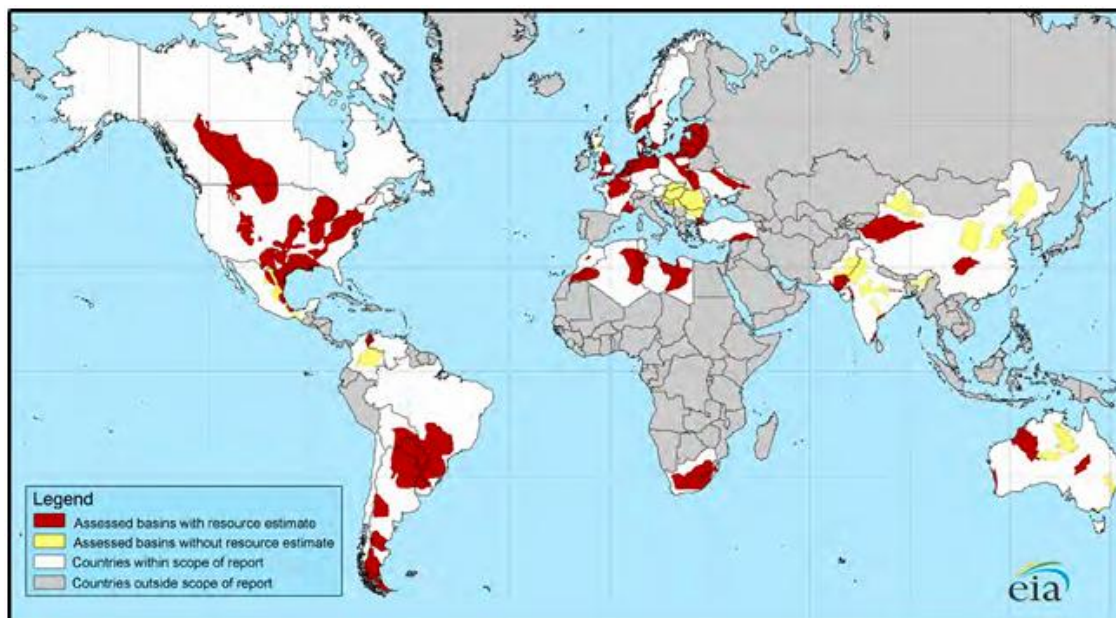
<sup>21</sup> (Rodríguez, 2023)

México posee importantes recursos no convencionales de gas natural, donde destacan las reservas de gas seco.

En yacimientos no convencionales, la cuenca de Sabinas es la más rica en gas seco con recursos estimados en 55.10 TCF<sup>22</sup>. Seguido de la provincia de Burgos, la segunda más importante para la explotación no convencional, con un total de 53.8 TCF (44.3 TCF de gas seco y 9.5 TCF de gas húmedo). La cuenca con mayor potencial es Tampico-Misantla, estima 20.7 TCF de gas húmedo. Finalmente se encuentra la provincia de Burro-Picachos, la cual estima 5.9 TCF (5.3 TCF de gas seco y 0.6 TCF de gas húmedo).<sup>23</sup>

#### 2.1.1.4 Shale Gas

El shale gas es el recurso no convencional más importante actualmente. En el informe World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States (2011), se evaluaron 48 cuencas de shale gas en 32 países que contienen 70 formaciones en total. En la **Figura 2.7** se observan cuatro clasificaciones: las áreas rojas representan la ubicación de las cuencas que son recuperables, las zonas amarillas muestran la ubicación de shale gas donde las estimaciones no fueron proporcionados por falta de datos, el color blanco indica los países que se consideraron con al menos una cuenca de shale gas y los países en color gris no contienen cuencas de shale gas.



*Figura 2.7 Principales cuencas de shale gas en el mundo. (EIA, 2011)*

<sup>22</sup> TCF: billones de pies cúbicos

<sup>23</sup> (CNH, 2022)



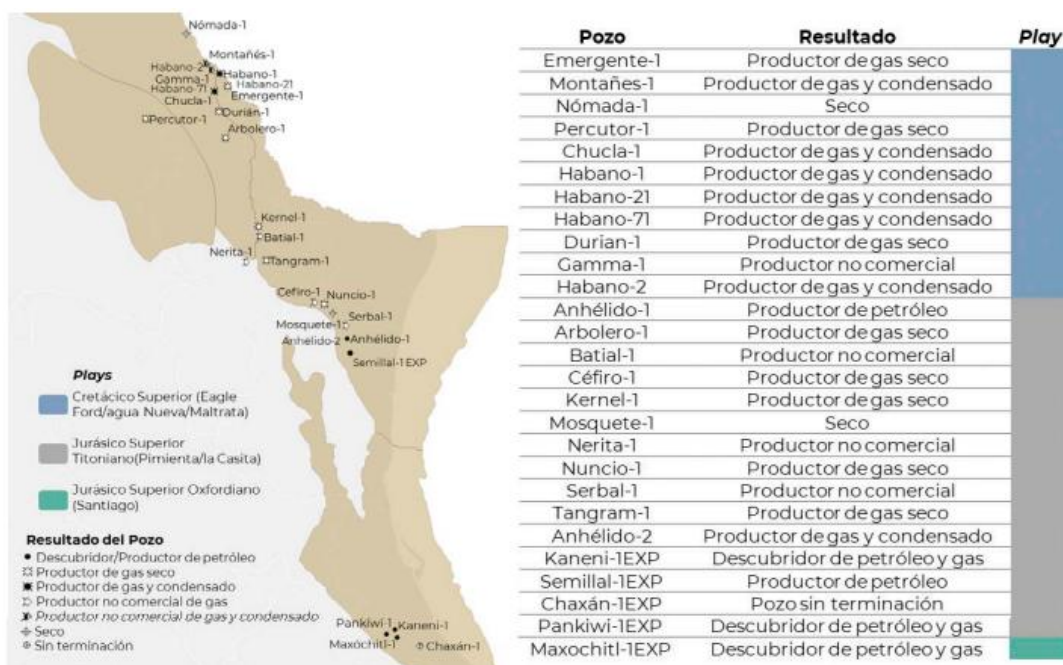
La estimación de los recursos de shale gas técnicamente recuperables en los 32 países examinados, dio un total de 5,760 trillones de pies cúbicos (Tcf) en el año 2011.<sup>24</sup>

México, posee una gran cantidad de recursos de shale gas, esto se demostró en los resultados de 27 pozos de objetivo no convencional perforados (**Figura 2.8**), de los cuales 23 fueron de carácter exploratorio, donde se obtuvo un éxito mayor al 85%. Se han desarrollado esfuerzos para cuantificar el potencial de estos recursos, pero su desarrollo se ha limitado por las condiciones de estrés hídrico que existen en algunas regiones.<sup>25</sup>

En la **Tabla 2.2** se puede observar que México es el sexto país a nivel mundial con mayores reservas técnicamente recuperables de shale gas:

**Tabla 2.2 Principales países con reservas de shale gas. (EIA, 2014)**

País	Billones de metros cúbicos
China	31.573
Argentina	22.710
Argelia	20.020
Estados Unidos	18.831
Canadá	16.226
México	15.433
Australia	12.374



**Figura 2.8 Localización y resultados de los pozos perforados en México con objetivo no convencional de petróleo y gas. (CNH, 2022)**

<sup>24</sup> (EIA, 2011)

<sup>25</sup> (CNH, 2022)

### 2.1.1.5 Avances tecnológicos del shale gas

La explotación de recursos no convencionales, en este caso el shale gas, ha tomado relevancia a nivel mundial, principalmente en Estados Unidos quien aprovecho los avances tecnológicos que hicieron posible la explotación y rentabilidad de estos desde hace más de 10 años.

Los yacimientos no convencionales se caracterizan por rocas con alta porosidad, pero de baja permeabilidad, lo que impide el flujo libre de gas natural. Esto resulta en bajos niveles de extracción que no son rentables con técnicas convencionales. Por ello su explotación requiere de técnicas más avanzadas, complejas y costosas como la perforación horizontal y el fracturamiento hidráulico. (véase **Figura 2.9**)

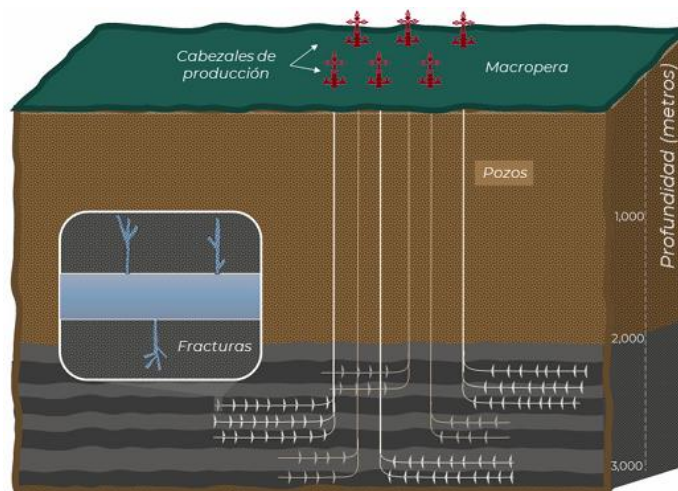
Es importante señalar que la cantidad de pozos en un yacimiento no convencional es mayor que en los convencionales, por ello, se deben implementar técnicas y tecnologías que permitan reducir los costos durante la perforación.

En la **Tabla 2.3**, se describen las dos tecnologías usadas para explotar yacimientos de shale gas alrededor del mundo:

*Tabla 2.3 Diferencias entre tecnologías usadas para explotar yacimientos de shale gas.*

<b>Fracturación hidráulica</b>	<b>Perforación horizontal</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se utiliza en profundidades de hasta 4000 metros.</li><li>• Es una técnica que consiste en introducir un fluido a presión en un pozo que conecta con la reserva de interés para generar fracturas artificiales dentro de la formación y así estimular su permeabilidad.</li><li>• El fluido utilizado suele ser una mezcla de 98% agua con un agente apuntalante, que generalmente es arena y aditivos químicos en pequeñas cantidades.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su implementación consiste en desviar la barrena para configurar una trayectoria horizontal de 1000 o 1500 metros.</li><li>• Hay una mejor exposición con el yacimiento, obteniendo índices de productividad más altos.</li><li>• Tienen gran capacidad de conectar lateralmente yacimientos con discontinuidades (fallas y/o fracturas).</li><li>• Permite variar la geometría de drenaje.</li></ul>

Estas dos tecnologías se han combinado haciendo rentable la explotación de shale gas alrededor del mundo.



**Figura 2.9 Pozos horizontales con arreglo multilateral y multicapa en un yacimiento de shale gas. (CNH, 2022)**

## 2.1.2 Transporte marítimo

Este tipo de transporte es utilizado cuando el GNL debe recorrer largas distancias ya que es la única forma de mover grandes volúmenes de gas natural de manera eficiente y segura.

### 2.1.2.1 Buquetanques

El GNL se transporta mediante buques especializados, diseñados para contener la carga ligeramente por encima de la presión atmosférica a una temperatura criogénica de aproximadamente  $-259^{\circ}\text{F}$  ( $-169^{\circ}\text{C}$ ). Por lo general, estos tanques de almacenamiento funcionan a  $0.3 \text{ barg}^{26}$  con una presión de diseño de  $0.7 \text{ barg}^{27}$ .

La diferencia fundamental entre los buques metaneros y otros buques cisterna, es el sistema de contención y manipulación de la carga. Hay cuatro sistemas de contención de GNL, dos estructuras independientes de tipo sólido y dos diseños de tipo no independientes (membrana).

Estos buques están clasificados por el Código CIG (Código Internacional para la construcción y el equipo de buques que transportan gases licuados a granel) emitido por la Organización Marítima Internacional (OMI).

<sup>26</sup> 1 barg equivale a un bar de presión por encima de la presión atmosférica estándar (aproximadamente 1 bar a nivel del mar). Esta unidad se usa en sistemas industriales para expresar la presión operativa sin necesidad de ajustar por condiciones atmosféricas locales.

<sup>27</sup> (Saeid Mokhatab J. Y., 2014)

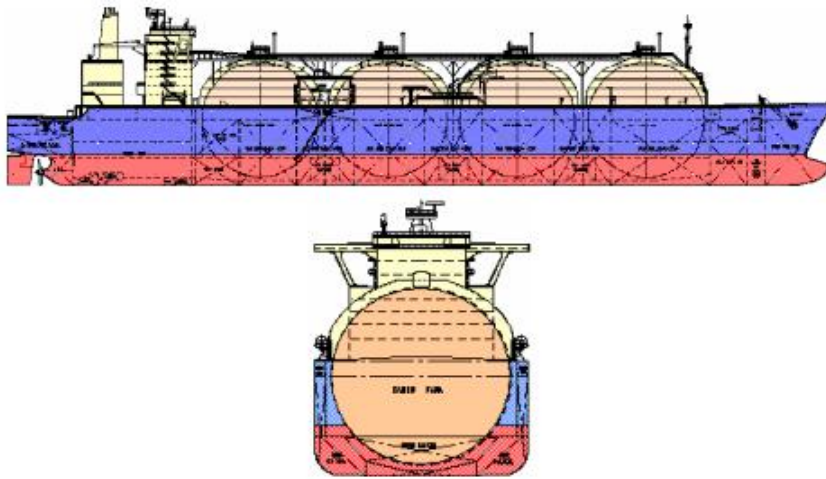


### 2.1.2.2 Esféricos o tipo Moss

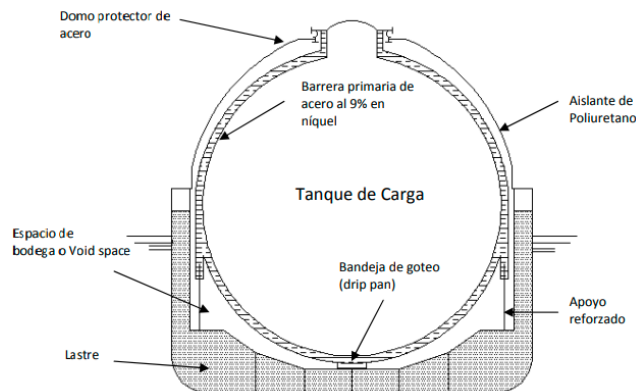
Este tipo de buques (véase **Figura 2.10**) están contruidos de acero inoxidable o aleación de aluminio y son autoportantes y no forman parte de la estructura del casco del barco. Son muy característicos por tener un sistema de contención de carga muy particular, que incluye cuatro, o más, grandes tanques esféricos, cuyas semiesferas destacan sobre la cubierta principal.<sup>28</sup>

Los cálculos de su diseño son más complejos ya que toman en cuenta distintos tipos de esfuerzos como resistencia de fatiga o la propagación de posibles fisuras mediante modelos a escala y sistemas analíticos.

Los buques contienen unos tanques clasificados como Tipo B (véase **Figura 2.11**), estos son conformados por una barrera secundaria parcial constituida por una bandeja de goteo y una barrera de salpicadura, debido a que el diseño de este sistema de contención este sujeto a un análisis de esfuerzo más preciso, este análisis incluye fatiga y propagación de grietas en los tanques (producida por esfuerzos de la carga).<sup>29</sup>



**Figura 2.10** Arreglo de un buque gasero, para el transporte de LNG con tanques independientes esféricos tipo B. (Leiva, 2009)



**Figura 2.11** Tanque esférico auto soportable tipo B. ICS Tanker Safety Guide (liquefied gas). (Leiva, 2009)

<sup>28</sup> (Anadón E. L., 2012)

<sup>29</sup> (Leiva, 2009)

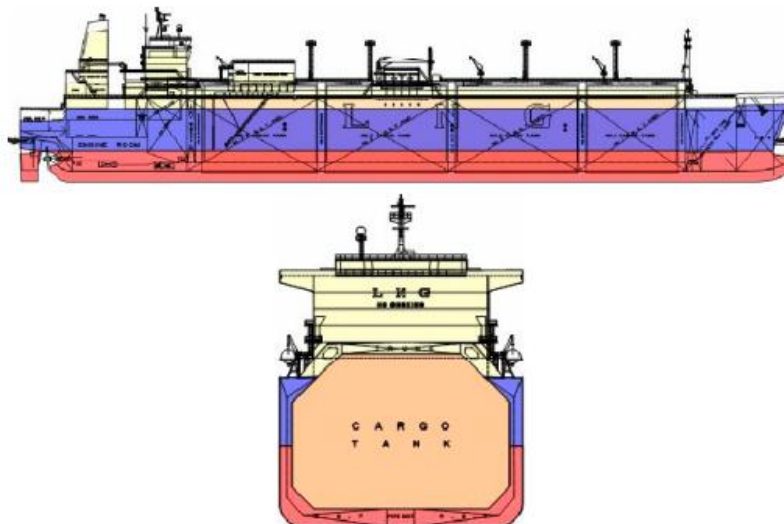
### 2.1.2.3 De diseño de membrana

Los tanques de membrana (**Figura 2.12**) son tanques de carga no autoportantes rodeados por una estructura completa de barco de doble casco. Estos contienen una capa delgada de metal también conocida como barrera primaria, aislamiento, barrera de membrana secundaria y aislamiento adicional en una construcción conocida como sándwich.

Las membranas son diseñadas para ser capaces de absorber dilataciones y contracciones térmica, también está conformada por una barrera primaria que se refuerza con una secundaria que es capaz de retener al GNL en caso de producirse fugas o accidentes.

Existen dos tipos de sistemas de membrana en el mercado, como se muestra en la **Figura 2.13**, los cuales dependen de la empresa fabricante que los diseña:

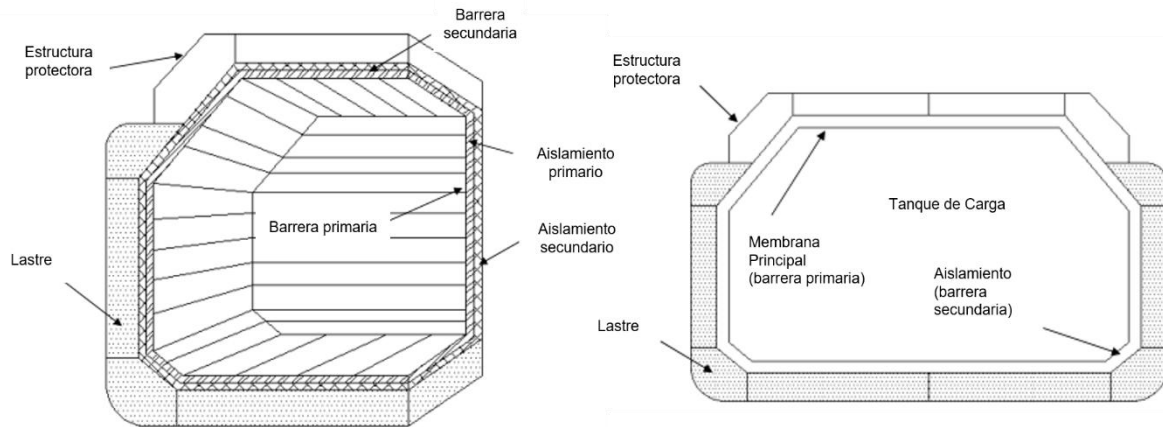
- **Tanques de membrana Gaz Transport (GT NO96):** estos sistemas son los más comunes. Poseen dos barreras de contención idénticas, las cuales son construidas de acero Invar (30% níquel), este es seleccionado para las membranas por su bajo coeficiente de expansión térmica. Este sistema se usa para transportar cargas totalmente refrigeradas como el GNL.<sup>30</sup>
- **Tanques de membrana Technigaz (TG MARK III):** este sistema posee una barrera principal de acero inoxidable con corrugaciones elevadas que permiten la expansión y la contracción de los tanques de carga.<sup>31</sup>



**Figura 2.12 Arreglo general de un Buque Gaseero, para el transporte de LNG en tanques tipo membrana. (Leiva, 2009)**

<sup>30</sup> (Leiva, 2009)

<sup>31</sup> (Leiva, 2009)



**Figura 2.13 Tanque de membrana tipo Gaz Transport y tanque de membrana Technigaz respectivamente. ICS Tanker Safety Guide (liquefied gas). (Leiva, 2009)**

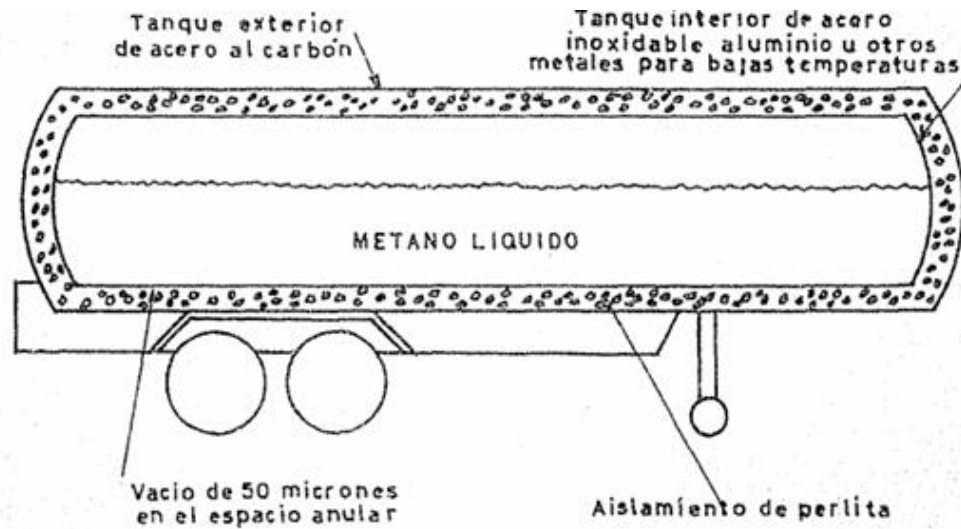
### 2.1.3 Transporte terrestre

Este tipo de transporte es utilizado cuando el transporte marítimo no es viable o rentable, es decir, en distancias menores y cuando hay ausencia de infraestructura especializada (plantas de regasificación en tierra). También sirve cuando el comprador requiere un menor volumen de GNL.

#### 2.1.3.1 Autotanques

Este tipo de transporte es similar a los que se usan para transportar oxígeno o nitrógeno. Su tanque interior está construido de acero inoxidable, aluminio o algún otro metal adecuado para soportar bajas temperaturas, su anular está lleno de perlita, que es un aislamiento térmico que minimiza las pérdidas de calor en los tanques criogénicos y tiene un vacío para aislar el metano.

Estos vehículos son autónomos, es decir, solo están integrados de un tanque para transportar GNL, asimismo, incluye una cabina y el tanque en una misma estructura, similar a la de un camión cisterna, tal como se muestra en la **Figura 2.14**.



*Figura 2.14 Corte transversal de un autotanque que transporta GNL. (Franco, 1972)*

### 2.1.3.2 Carrotanques

Los carrotanques se utilizan para transportar GNL a áreas aisladas donde un ducto no es costeable. Son tanques especializados montados a un remolque, este contiene el tanque. A diferencia de los autotanques, estos tienen una mayor capacidad de carga y está diseñado para recorrer largas distancias.

### 2.1.3.3 Otros medios

Por ductos: aproximadamente el 70% de gas natural se ha comercializado a través de gasoductos, pero, transportar GNL a través de ductos no es un método viable debido a los altos costos que conllevaría moverlo a grandes distancias.

Por lo anterior es que el GNL es competitivo para rutas de larga distancia, específicamente aquellas que atraviesan océanos ya que la construcción de gasoductos submarinos requiere mayor inversión por los costos elevados.

## 2.1.4 Procesos de licuefacción

El proceso de licuefacción de gas natural es el componente clave en las plantas de GNL en términos de costo, complejidad e importancia operativa.

Todas las tecnologías existentes de licuefacción se basan en ciclos de refrigeración, los cuales toman el gas de alimentación caliente y pre-tratado para posteriormente enfriarlo y condensarlo a temperaturas criogénicas y finalmente transformarlo a estado líquido. El refrigerante puede ser la parte de la alimentación de gas natural (proceso de ciclo abierto) o un fluido separado

recirculado continuamente a través del licuado o intercambiador de calor (proceso de ciclo cerrado).<sup>32</sup>

Para lograr las temperaturas criogénicas que se requieren para producir GNL, se debe trabajar en los ciclos de refrigerante a través de un compresor de refrigerante, y el calor debe rechazarse en cada ciclo a través de enfriadores de aire o agua.

Todos los procesos de licuefacción que existen actualmente se basan en este principio fundamental, y los objetivos de cada una de las innovaciones tecnológicas que se tienen, son aumentar el volumen de gas de producción de GNL y optimizar la eficiencia del proceso de refrigeración.

La tecnología que se utiliza en los procesos de licuefacción, como se mencionó, se basan en el principio de un ciclo de refrigeración, donde el refrigerante mediante expansiones y compresiones sucesivas elimina el contenido de calor de las corrientes de gas, eliminando así a los componentes más ligeros para dejar solo al componente de interés: metano.

#### 2.1.4.1 Cascada clásica

Este proceso es caracterizado por la circulación de un fluido refrigerante puro (propano, etileno y metano) que en su ciclo ejecuta los siguientes elementos: compresión, condensación, caída de presión isoentálpica (haciendo uso de válvulas de expansión) y la evaporación (intercambiando calor con otro fluido).<sup>33</sup>

Cada ciclo en cascada consta de tres o cuatro niveles de presión, alimentado en una etapa adecuada del compresor cuya salida es una corriente única a la más alta presión. Lo cual se puede observar en la **Figura 2.15**.

Este proceso consta de diversas etapas:

- Ciclo del propano
- Ciclo del etileno
- Ciclo del metano

Estas etapas conforman el circuito por el que pasa el GN para poder ser licuado. En las tres etapas se busca alcanzar intervalos de temperatura de operación restringidos, donde su propósito es obtener el mayor rendimiento energético posible.

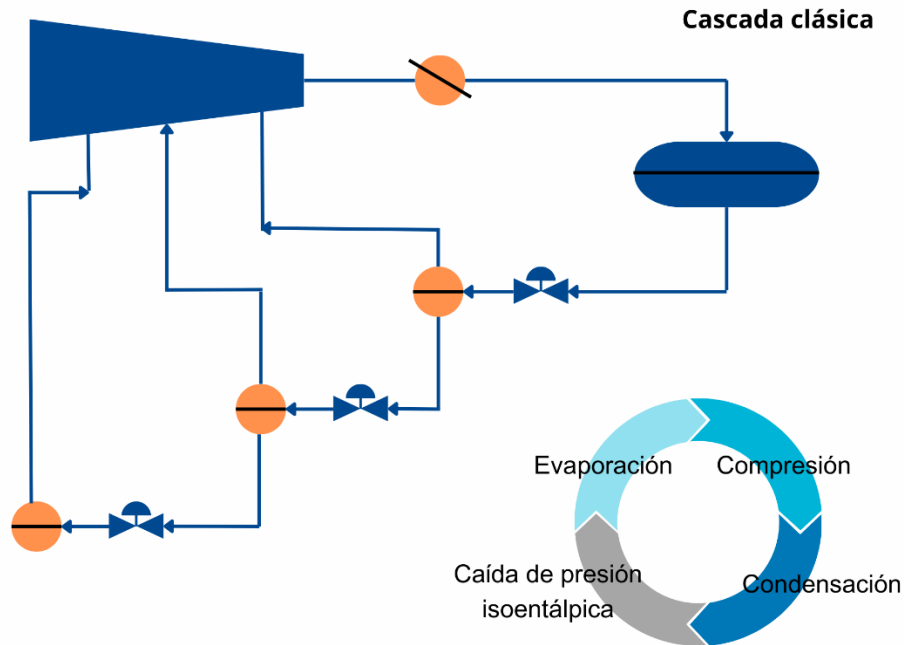
Este proceso reduce las pérdidas irreversibles de intercambio de calor al utilizar varios ciclos de refrigeración cuyos refrigerantes se evaporan a temperaturas diferentes pero constantes. Este proceso es flexible en su funcionamiento ya que cada circuito de refrigerante se puede controlar por separado.

En este proceso los tres compresores de ciclos se necesitan uno de otro: el compresor de metano depende del compresor de etileno y del de propano. El compresor del etileno necesita del compresor de propano y a su vez todos requieren al sistema de agua.

---

<sup>32</sup> (Saeid Mokhatab J. Y., 2014)

<sup>33</sup> (Bendjemil, 1986)



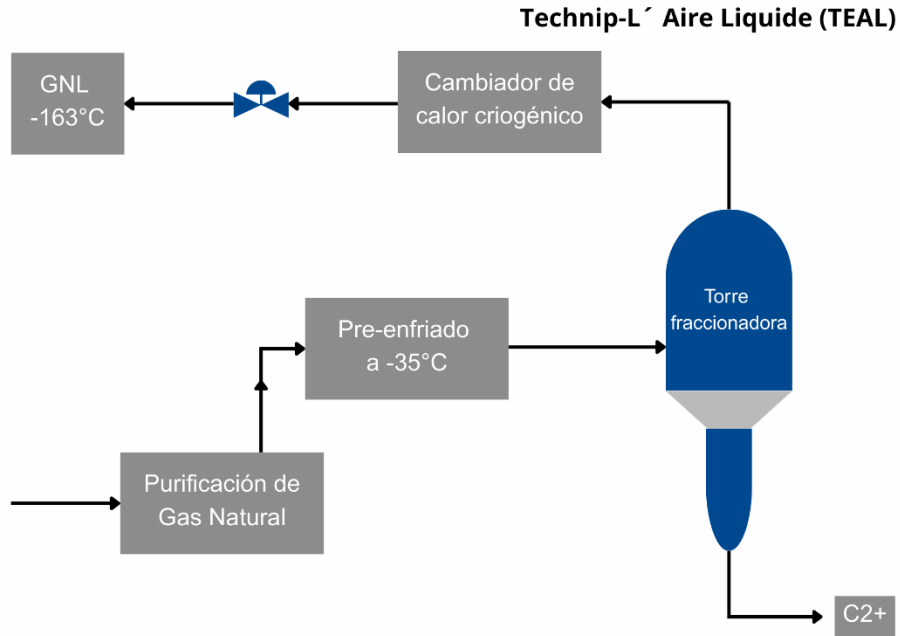
**Figura 2.15** Proceso de licuefacción - Cascada clásica. Modificado de (CONUEE, 2024)

#### 2.1.4.2 Technip-L' Aire Liquide (TEAL)

También denominado proceso de autorefrigeración, se caracteriza por emplear un sistema de cascada donde el enfriamiento se produce en etapas hasta lograr las temperaturas criogénicas requeridas para la licuefacción.

El refrigerante utilizado es una mezcla única y adecuada que se compone de helio, nitrógeno, metano, etano y propano. Dicha composición depende de la función de los intercambiadores criogénicos.

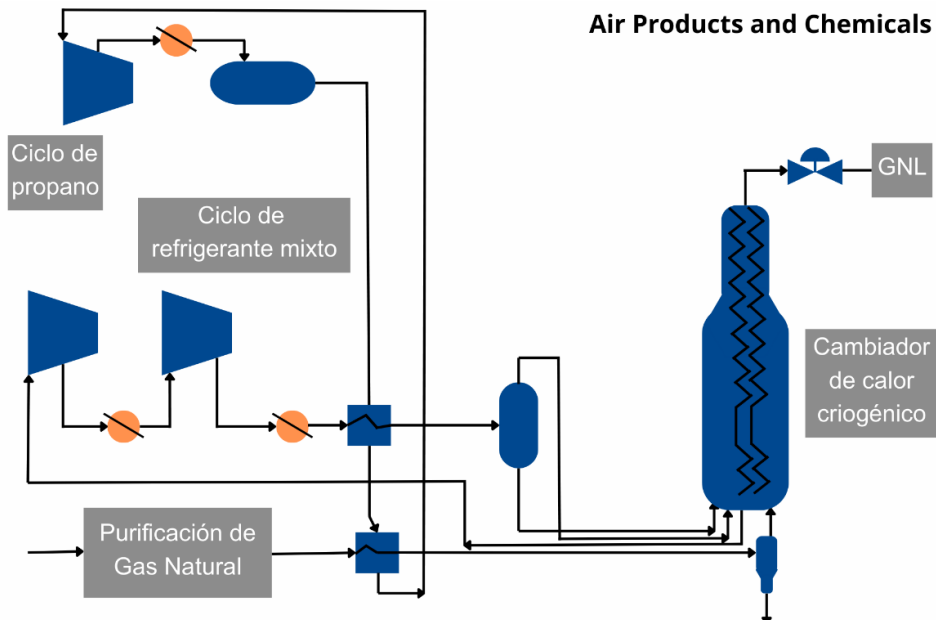
Es esencial que el GN sea sometido a un tratamiento previo que asegure la eliminación de impurezas como el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el agua ( $H_2O$ ) antes de que el refrigerante inicie el ciclo de enfriamiento para así asegurar la calidad del GNL. Este proceso se ilustra en la **Figura 2.16**.



**Figura 2.16** Proceso de licuefacción - TEAL. Modificado de (CONUEE, 2024)

### 2.1.4.3 Air Products and Chemicals

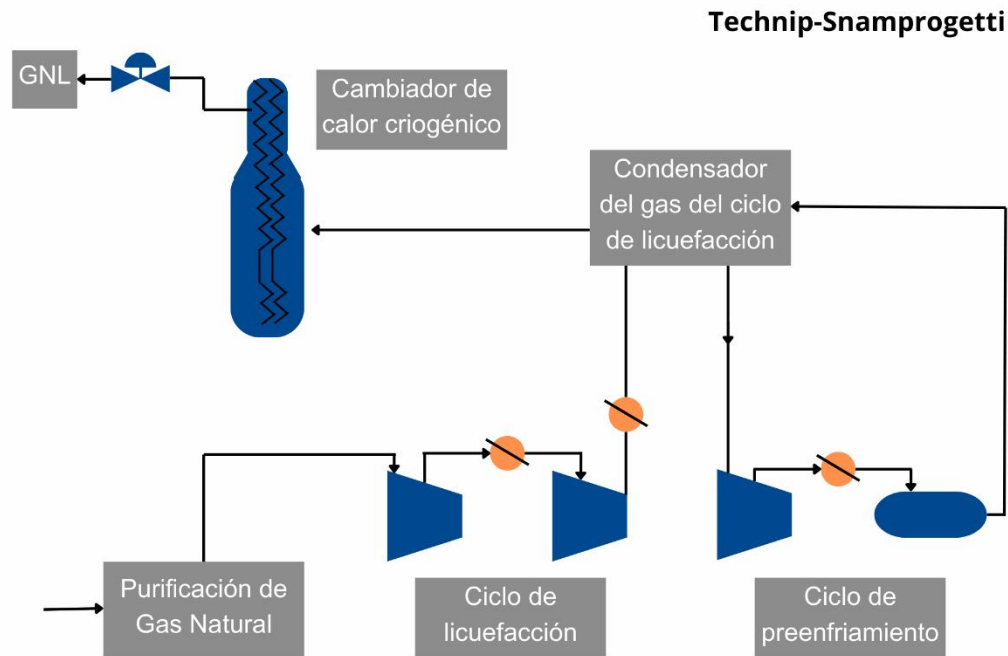
Este proceso ilustrado en la **Figura 2.17**, emplea los procesos ya explicados, utilizando como medio refrigerante en el proceso de cascada clásica el propano puro con la función de pre enfriar al gas natural y al refrigerante mixto, el cual es una mezcla de nitrógeno, metano, etano, propano y butano.



**Figura 2.17** Proceso de licuefacción - Air Products and Chemicals. Modificado de (CONUEE, 2024)

#### 2.1.4.4 Technip-Snamprogetti

Este es un proceso de pre-enfriado y de refrigerante mixto de dos fluidos, como se ilustra en la **Figura 2.18**. Este se basa en una adaptación del proceso Technip-L' Air Liquide explicado anteriormente.



*Figura 2.18 Proceso de licuefacción - Technip-Snamprogetti. Modificado de (CONUEE, 2024)*

#### 2.1.5 Regasificación

En este proceso, a diferencia de la licuefacción, se usa calor para poder regresar al gas a su estado natural. Durante este proceso se utilizan intercambiadores de calor, agua de mar o a través de tuberías calentadas por agua. Una vez regasificado, se regula y es ingresado al sistema de ductos de GN para llevarlo a los consumidores.

##### 2.1.5.1 Plantas de regasificación

La finalidad de las plantas de regasificación, tal como su nombre lo dice, es recolectar al gas natural licuado que llega en los buques metaneros y tras un periodo de almacenamiento, transformarlo de nuevo a su estado original, gaseoso, para así poder inyectarlo a presión a una red de gasoductos y poder llevarlo a su destino final. Este proceso se ilustra en la **Figura 2.19**.

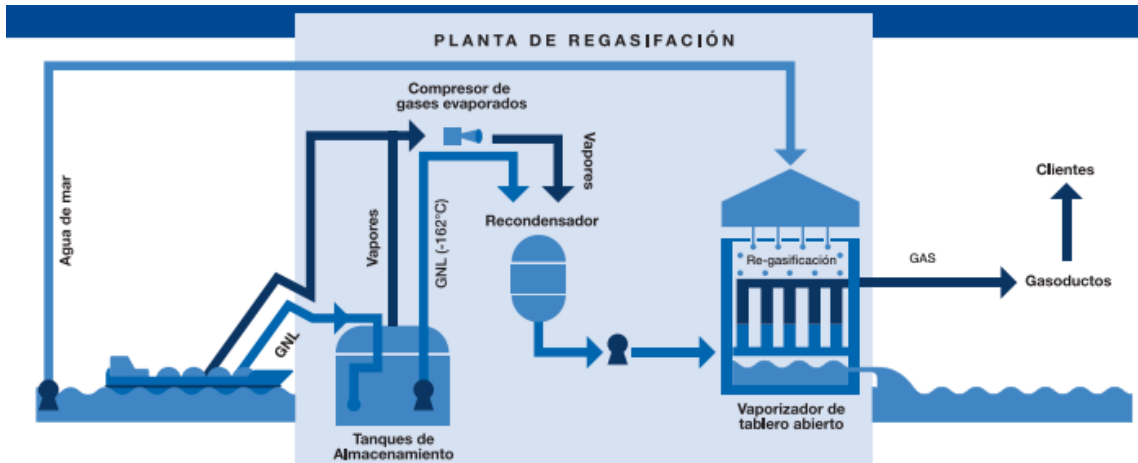
Existen dos diferentes tipos de plantas de regasificación de GNL, Onshore (en tierra) como Offshore (en mar).

Las plantas de regasificación Onshore son las plantas construidas en la costa para recibir, almacenar y regasificar al GNL. Una de sus principales ventajas es que tienen una alta capacidad



de procesamiento y almacenamiento, pero requieren un amplio espacio y mucho tiempo para su construcción. Esto las hace adecuadas para mercados muy grandes y con una demanda constante de gas natural. Además, estas plantas están equipadas con varias instalaciones de almacenamiento, vaporización y distribución de gas.

El GNL que se recibe en los buques, a través de unos vaporizadores, en su mayoría de tablero abierto (ORV), se lleva a cabo un intercambio de calor utilizando agua de mar. El agua que se utiliza en este proceso de evaporación no entra en contacto químico con el GNL y se devuelve al mar a unos 12°C.



**Figura 2.19 Estructura de una planta de regasificación en tierra. (LNG, 2024)**

Por otro lado, tenemos a las plantas de regasificación Offshore, estas están situadas en plataformas marinas o en embarcaciones y son una gran opción para áreas con limitaciones de espacio, limitaciones respecto a las normativas en tierra, o cuando el gas necesita llegar vía marítima.

Se tienen las siguientes plantas de regasificación en esta sección:

- **Plantas de regasificación en plataformas Offshore:** son aquellas situadas en plataformas fijas o flotantes en el mar, donde reciben el GNL desde buques y lo regasifican antes de enviarlo a costa. Estos pueden estar vinculados directamente a gasoductos submarinos para transportar GN a tierra.
- **Buque de regasificación de GNL (Liquefied Natural Gas Regasification Vessels, LNG RV):** son una nueva clase de buques con instalación de regasificación, donde el gas licuado se evapora a bordo antes de entregarse al destinatario final. Las operaciones de descarga se realizan a través de una terminal de gas ubicada en el muelle o mediante un sistema llamado sistema de carga y descarga de torreta sumergida (STL). Su capacidad de regasificación es de 500 millones de pies cúbicos por día.
- **FSRU (Unidades Flotantes de Almacenamiento y Regasificación):** en comparación con las plantas de regasificación en tierra tradicionales, las FSRU ofrecen mayor flexibilidad, menor gasto y es un medio más rápido para importar GNL. Estos barcos son especialmente diseñados para, como su nombre lo dice, almacenar GNL y regasificarlo a bordo y pueden conectarse directamente a un gasoducto para suministrar gas a la red. La capacidad de almacenamiento de las FSRU's suele estar en el rango de 145,000 m<sup>3</sup>

a 350,000 m<sup>3</sup> y está determinada por el tamaño de los tanques de carga y la frecuencia de visita de los buques cisterna, tomando en cuenta las capacidades de almacenamiento para compensar la posible falta de suministro por interrupciones causadas por condiciones meteorológicas. La capacidad de regasificación típica de una FRSU está en el rango de 0.5 y 2.0 BCF (mil millones de pies cúbicos por día) y puede aumentarse, según lo requiera la demanda del mercado.

## 2.2 Transición energética

La transición energética surge por la creciente preocupación de los gobiernos y comunidades internacionales a los efectos del cambio climático y reducción de emisiones. En años recientes se ha hecho evidente la necesidad de transitar de una matriz que hace uso excesivo de fuentes de energía fósiles hacia una donde confluyan con las fuentes de energías renovables. Entonces, se puede decir que la transición energética es un conjunto de cambios en los modelos de producción, distribución y consumo de la energía para brindar mejor calidad de vida a los usuarios.

En esta transición, el gas natural juega un papel fundamental ya que constituye una fuente primaria de energía abundante y competitiva, además de que es un factor estratégico en la lucha contra el cambio climático y la mala calidad del aire.

Se identifica como un componente indispensable para la transición energética del mundo, y de México en particular, al ser un combustible más eficiente, menos contaminante y más asequible que el resto de los combustibles fósiles. Estas características lo hacen un combustible propicio para satisfacer las necesidades de energía de las industrias, así como para la generación de energía eléctrica con una menor huella de carbono.<sup>34</sup>

Por ello es de suma importancia que exista infraestructura que garantice el acceso al gas natural ya que este es fundamental para avanzar en la transición energética. Actualmente cada vez es mayor el número de países que se han comprometido con estrategias enfocadas a recortar las emisiones de gases de efecto invernadero hasta dejarlas inexistentes o lo más cerca de que estas sean nulas (Net Zero)<sup>35</sup>, lo que señala un cambio importante en el discurso climático mundial.

## 2.3 Potencial del GNL

Según la International Gas Union, en el World LNG Report (2024), el comercio mundial del GNL creció un 2.1% entre 2022 y 2023 hasta alcanzar los 401.42 millones de toneladas (TM), conectando 20 mercados exportadores con 51 importadores.

La creciente demanda de gas en los mercados emergentes, la creciente diversificación de los participantes en el mercado, la expansión de la infraestructura de GNL y la aceleración en el desarrollo tecnológico, así como en la innovación, son la dinámica actual de este combustible. Al

---

<sup>34</sup> (Ocampo, 2022)

<sup>35</sup> (NU, 2024)

mismo tiempo, las preocupaciones regulatorias, geopolíticas, de infraestructura y ambientales podrían desafiar el crecimiento constante de esta industria y lograr introducir incertidumbre. Pero navegar en estas oportunidades requiere innovaciones y rentabilidad en la planificación de proyectos para que el GNL sea sostenible a largo plazo.

En comparación con los combustibles líquidos, el GNL a pequeña escala<sup>36</sup> ofrece ventajas económicas por la cantidad de energía que libera y ventajas ambientales por la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. También ofrece una vía de descarbonización estructural, ya que es químicamente idéntico al E-GNL<sup>37</sup> y al Bio-GNL<sup>38</sup>, los cuales pueden mezclarse o sustituirse gradualmente.<sup>39</sup>

## 2.4 Economía del GNL

El comercio mundial del GNL alcanzó un nuevo récord de 401.42 TM en 2023, esto hizo que los mercados de GNL recuperaran su equilibrio. El mercado GNL se expandió ligeramente en 2023, con suministros ajustados que limitaron el crecimiento y los precios se mantuvieron por encima de las medidas históricas.

En 2023, el número de mercados importadores aumentó a 51, mientras que el número de países exportadores se mantuvo en 20. Estados Unidos se convirtió en el principal exportador de GNL, con 84.5 Millones de Toneladas (MT), donde sus volúmenes incrementados se comercializaron principalmente a Asia y Europa, pero esto solo lo hizo líder en términos de aumento porcentual, la demanda de la región asiática fue el motor del mercado en términos absolutos (+7MT).<sup>40</sup>

Los principales marcadores de precio referentes al GNL son: Henry Hub, de Estados Unidos, National Balancing Point (NBP) de Reino Unido, Title Transfer Facility (TTF) de Países Bajos y Japan Korea Marker (JKM) que es el marcador de Asia, principalmente Japón y Corea del Sur.

---

<sup>36</sup> El GNL a pequeña escala es una configuración de suministro utilizada para entregar GNL a centros de demanda pequeños, con menos de 1 MTPA de demanda.

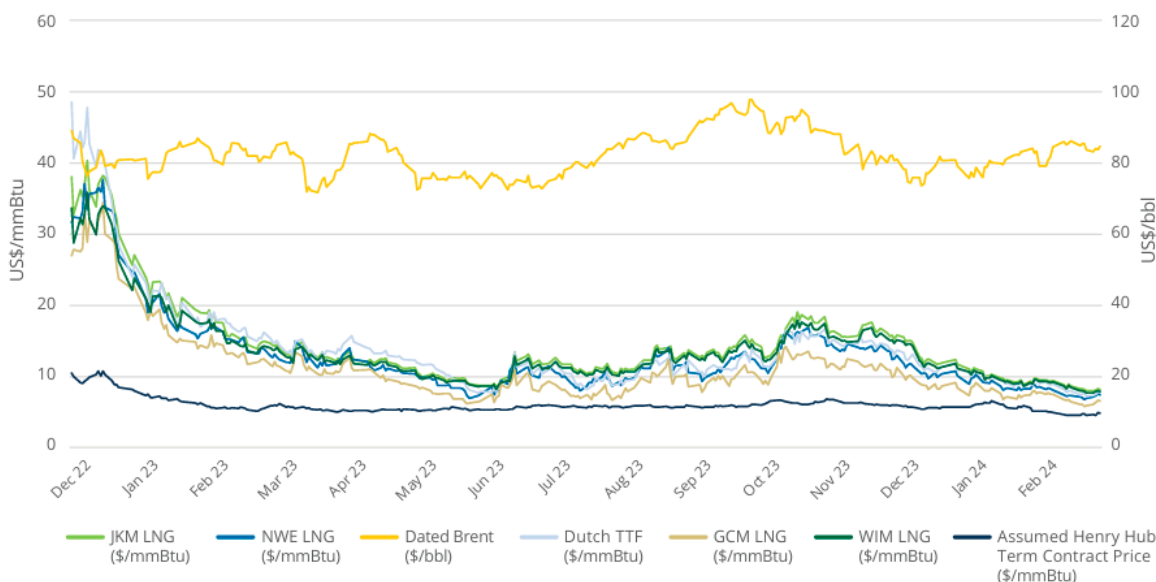
<sup>37</sup> Es un gas sintético producido a través de procesos químicos utilizando hidrogeno verde y dióxido de carbono capturado de la atmosfera o de procesos industriales.

<sup>38</sup> Es un combustible no fósil producido mediante un proceso en el que el biogás de desechos orgánicos se convierte en biometano de alta calidad y se licua a -162°C. Presenta una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> menores que el GNL.

<sup>39</sup> (IGU, 2024)

<sup>40</sup> (IGU, 2024)

En la **Figura 2.20** se observa ver cómo ha sido el comportamiento de precios del GNL en los diferentes mercados:



**Figura 2.20 Comparación de precios de los principales índices de referencia de GNL, gas por gasoducto y petróleo. (IGU, 2024)**

Los índices que se muestran en la figura anterior hace alusión a los mercados de referencia de precios que son utilizados en la industria de GNL y los mercados de energía en general:

- Northwest Europe (NWE) LGN, es el índice utilizado en el noreste de Europa y refleja los precios del gas natural licuado entregado en terminales clave como Zeebrugge (Bélgica), Dunkerque (Francia) o Gate (Países Bajos).
- Dated Brent, es el índice global para el precio del petróleo crudo, es utilizado como referencia en contratos de energía, incluidos los de GNL.
- Dutch Title Transfer Facility (TTF), es el índice de referencia para el precio del gas en Europa.
- Gulf Coast Marker (GCM) LNG, es el índice de referencia para precios spot de GNL exportado desde los Estados Unidos.
- West India Marker (WIM) LNG, es el índice de referencia para el precio de GNL en la región oeste de la India.

El marcador Henry Hub hace referencia al Gas Natural, pero es influyente en el comercio del GNL ya que como se mencionó, Estados Unidos es principal exportador a nivel mundial. Algunos precios del gas natural están referenciados al petróleo crudo en algunas regiones debido a la estrecha relación entre estos combustibles.

En la **Figura 2.20** se puede observar que el precio mínimo en 2023 fue de \$8.40 USD/mmBtu, mientras que el máximo fue de \$23.90 USD/mmBtu. Durante 2023 también se produjo una caída significativa de la volatilidad de los precios, lo que ayudo a que volviera la actividad del mercado aumentando el número de participantes.<sup>41</sup>

<sup>41</sup> (IGU, 2024)

### 3 Panorama internacional del mercado de GNL

El mercado del gas natural licuado (GNL) está evolucionando rápidamente a medida que factores políticos, comerciales, medioambientales, geográficos y regulatorios ofrecen oportunidades, sin embargo, también es un mercado que tiene cierta cautela y precaución ante posibles riesgos e incertidumbres debido a la magnitud de inversión que se manejan en este tipo de proyectos.

A lo largo de este capítulo se visualizará el estatus del mercado global, haciendo énfasis en los países seleccionados para este trabajo: Estados Unidos, China, Alemania, Brasil y Colombia; para así lograr examinar a México en la industria del gas natural licuado.

Dichos países fueron seleccionados tomando en cuenta factores como la cercanía a nuestro país, posición geográfica, economía, desarrollo tecnológico e importancia en el mercado. De esta manera se logra visualizar un panorama completo para ver que oportunidades tiene nuestro país en este mercado.

#### 3.1 Oferta y demanda de gas natural

Los conceptos de oferta y demanda son componentes básicos de los mercados, los cuales se rigen sin importar el tipo de competencia. La oferta es la cantidad de un bien o servicio que se pone a la venta, mientras que la demanda es igual a la cantidad de dicho bien que desean comprar los interesados.<sup>42</sup>

El mercado global de gas natural licuado creció a 411.24 Toneladas Métricas (MT<sup>43</sup>) durante 2023, gracias a que el mercado de importación aumentó a 48 países participantes. América del Norte aumento sus exportaciones (+4.11 MT) y Asia-Pacífico (+4.10 MT), importando hacia Europa, Asia y Asia-Pacífico.<sup>44</sup>

#### 3.2 Principales reservas

En la **Tabla 3.1** se presenta un panorama de las principales reservas de gas natural a nivel mundial, las cuales son cruciales para el suministro energético global y la economía de los países productores. Al cierre del año 2023, las reservas mundiales se situaron en 208,557 billones de metros cúbicos (Bcm).

*Tabla 3.1 Principales reservas de gas natural a nivel global. (ENI, 2024)*

País	Reservas 2023 (billones de metros cúbicos)	Reservas 2023 (%)
Rusia	47,152	22.60
Irán	33,988	16.29
Qatar	23,831	11.42
Estados Unidos	18,919	9.07

<sup>42</sup> (BANXICO, 2025)

<sup>43</sup> Tonelada Métrica (MT). 1 MT de GNL equivale de ~1.38 BCM de gas natural.

<sup>44</sup> (IGU, 2025)

País	Reservas 2023 (billones de metros cúbicos)	Reservas 2023 (%)
Turkmenistán	13,950	6.68
Arabia Saudita	9,514	4.56
Emiratos Árabes	8,220	3.94
Nigeria	5,979	2.87
Venezuela	5,511	2.64
Argelia	4,504	2.15

De los países seleccionados para esta investigación, las reservas se enlistan en la **Tabla 3.2**:

**Tabla 3.2 Reservas de gas natural de los países de estudio. (ENI, 2024)**

País	Reservas en 2023 (billones de metros cúbicos)
Estados Unidos	18,919
China	2,985
Brasil	406
México	210
Colombia	80
Alemania	20
España	3

### 3.3 Principales países productores

A pesar de que Rusia es el país que posee mayor número de reservas, tal como se muestra en la **Tabla 3.3**, Estados Unidos es el país que lidera la producción a nivel mundial.

**Tabla 3.3 Principales países productores de gas natural a nivel global. (ENI, 2024)**

País	Producción 2023 (billones de metros cúbicos)
Estados Unidos	1,027.95
Rusia	624.30
Irán	266.04
China	226.15
Canadá	204.07
Catar	177.94
Australia	154.59
Noruega	120.64
Argelia	104.31
Arabia Saudita	101.09

De los países seleccionados para esta investigación, las producciones se enlistan en la **Tabla 3.4**:

**Tabla 3.4 Producción de gas natural de los países de estudio. (ENI, 2024)**

<b>País</b>	<b>Producción en 2023 (billones de metros cúbicos)</b>
Estados Unidos	1,027.95
China	226.15
México	41.42
Brasil	23.8
Colombia	10.57
Alemania	3.59
España	0.03

### 3.4 Principales consumidores

El volumen de consumo de gas natural entre sectores se ha mantenido sobre una tendencia constante. La demanda total de este energético a nivel mundial fue de 4644 BCM en 2023, se espera un aumento a 4914 BCM en 2026, manteniéndose en ese nivel hasta 2030, antes de disminuir a 4266 BCM en 2050.<sup>45</sup>

Los principales países consumidores a nivel mundial, los podemos encontrar en la **Tabla 3.5**:

**Tabla 3.5 Países con mayor consumo de gas natural a nivel global. (ENI, 2024)**

<b>País</b>	<b>Consumo en 2023 (billones de metros cúbicos)</b>
Estados Unidos	883.02
Rusia	498.16
China	370.71
Irán	252.38
Canadá	141.06
Arabia Saudita	101.09
Japón	92.36
México	87.43
Alemania	73.92
India	67.71

De los países seleccionados para esta investigación, su consumo se encuentra enlistado en la **Tabla 3.6**:

**Tabla 3.6 Consumo de gas natural de los países de estudio. (ENI, 2024)**

<b>País</b>	<b>Consumo en 2023 (billones de metros cúbicos)</b>
Estados Unidos	883.02
China	370.71
México	87.43
Alemania	73.92
Brasil	30.42

<sup>45</sup> (DNV, 2024)

País	Consumo en 2023 (billones de metros cúbicos)
España	29.34
Colombia	10.87

### 3.5 Principales sectores de consumo

La demanda de gas natural a nivel mundial se mantuvo estable en 2023, alcanzando alrededor de 4000 billones de metros cúbicos (BCM), marcado por contrastes a nivel mundial como: condiciones climáticas y condiciones económicas favorables, los cuales puntualmente mitigaron la demanda tanto en Europa y en Asia, logrando que la oferta cubriera la demanda y el almacenamiento.<sup>46</sup>

#### 3.5.1 Sector generación eléctrica

La demanda mundial de gas en el sector eléctrico creció un 2.8% durante el 2024 ya que hubo un aumento en los mercados de Norteamérica y los mercados asiáticos de crecieron rápidamente en los últimos años. Las condiciones climáticas extremas en China, India y Estados Unidos aportaron un consumo mayor de gas en el sector eléctrico.<sup>47</sup>

La demanda de electricidad mundial alcanzó 29,925 Teravatios-hora (TWh) en 2023, donde el gas natural tuvo una participación de generación eléctrica promedio del 25%. Sin embargo, en países con mayor desarrollo, el gas natural resalta aún más en la generación de electricidad. Por ejemplo, durante 2024, en Estados Unidos, el gas natural representó la participación de más del 40% de toda la generación eléctrica.<sup>48</sup>

En la **Tabla 3.7** se pueden observar los países con mayor generación de energía por gas natural a nivel mundial:

**Tabla 3.7 Principales países con mayor demanda de generación de energía por gas natural a nivel global. (Institute, 2024)**

País	Demanda en 2023 (TWh)
Estados Unidos	1937.7
Rusia	528.4
Irán	323.6
Japón	320.9
China	297.8
Arabia Saudita	265
México	204.9
Corea del Sur	167
Tailandia	129.4
Emiratos Árabes	118.9

<sup>46</sup> (ENI, 2024)

<sup>47</sup> (IEA, 2025)

<sup>48</sup> (IEA, 2025)



Es importante mencionar que el sector eléctrico es la fuente de crecimiento más rápido en cuanto a la demanda energética final.

De los países seleccionados para esta investigación, la generación eléctrica por gas natural se enlista en la **Tabla 3.8**:

**Tabla 3.8 Generación eléctrica por gas natural de los países de estudio. (Institute, 2024)**

País	Generación eléctrica en 2023 (TWh)
Estados Unidos	1937.7
China	297.8
México	204.9
Alemania	77.7
España	61.7
Brasil	37.7
Colombia	No hay datos

### 3.5.2 Sector industrial

La demanda de gas natural en el sector industrial ha crecido progresivamente como resultado a la búsqueda de fuentes energéticas más limpias, eficientes y de suministro confiable para los procesos productivos.

Usar gas natural en el sector industrial, ofrece diversas ventajas como son:

- Reducción de emisiones
- Ahorro económico
- Eficiencia energética

Asimismo, el gas natural tiene diversas aplicaciones en los sectores industriales. Se puede utilizar para la generación de calor y energía, se emplea en procesos de fabricación, cogeneración, materia prima en la producción química o como combustible en vehículos industriales.

De acuerdo con la **Tabla 3.5** Alrededor del 20%<sup>49</sup> de gas natural de ese consumo es destinado al sector industrial. Donde el consumo industrial por país quedaría aproximadamente como se muestra en la **Tabla 3.9**:

**Tabla 3.9 Consumo de gas natural en el sector industrial.**

País	Consumo industrial (billones de metros cúbicos)
Estados Unidos	176.6
Rusia	99.63
China	74.14
Irán	50.47
Canadá	28.21
Arabia Saudita	20.21
Japón	18.47

<sup>49</sup> Este porcentaje es una estimación promedio, puede haber variaciones dependiendo el país.

<b>País</b>	<b>Consumo industrial (billones de metros cúbicos)</b>
México	17.48
Alemania	14.78
India	13.54

### 3.5.3 Sector petrolero

El sector petrolero es un importante consumidor de gas natural, ya que este se utiliza en operaciones de extracción y en operaciones de procesamiento y refinación.

El gas natural puede ayudar a mantener la presión en yacimientos, e incluso es utilizado como combustible para operar equipos de perforación y producción o para calderas, hornos y calentadores. También funciona en la producción de hidrogeno y como materia prima en las operaciones petroquímicas.

Por otro lado, el GNL juega un papel importante en las operaciones de este sector ya que suele utilizarse para: generación de energía en operaciones remotas donde no hay acceso a gasoductos, como combustible en el transporte marítimo (buques transportadores de GNL) y como combustible en operaciones de transporte de equipos pesados.

### 3.5.4 Sector residencial

En 2024, la demanda de gas natural aumentó un 2.7%, donde el 1% de ese crecimiento correspondió al sector residencial y comercial.<sup>50</sup>

Se estima que un 10 al 25% del consumo de gas natural, es dirigido al sector residencial, con variaciones dependiendo si la región es desarrollada o sub-desarrollada, esto va de la mano con el impacto climático, ya que los climas extremos aumentan el consumo residencial. Y aunque la participación de este sector no es tan predominante, es una parte estratégica del consumo mundial.

### 3.5.5 Sector transporte

El sector transporte ha evidenciado una demanda global de combustibles fósiles, donde el gas se ha destacado como un nuevo energético. Se espera que la demanda del gas natural en este sector aumente a 1043 BCM para 2035.<sup>51</sup>

El GNL se ha situado como una solución en el transporte, promoviendo una movilidad más limpia y sostenible ya que este sector es responsable del  $\pm 28\%$  de la demanda final de energía mundial, pero al mismo tiempo, es causante del 23% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>.

También es importante señalar que el GNL ha participado como sustituto del fuel oil en el transporte marítimo ya que esta industria ha ido abordando las emisiones en su propia cadena

<sup>50</sup> (IEA, 2025)

<sup>51</sup> (DNV, 2024)

de valor. Al usarse como combustible en la industria del transporte marítimo, se estima que se reducen las emisiones de efecto invernadero de un 20 a 30% en comparación con el combustible tradicional.<sup>52</sup>

Por otro lado, también existe el gas natural comprimido (GNC), que a diferencia del GNL, este se almacena a altas presiones, pero sin necesidad de estar licuado por lo que se encuentra en estado gaseoso. Este también es usado en el sector transporte como combustible vehicular y cuenta con ventajas similares a las del GNL.

### **3.6 Condiciones económicas**

Los precios de GNL se estabilizaron durante el 2024 gracias al Japan Korea Marker (JKM) – principal referente de GNL en Asia- promediando \$11.91 mmBtu<sup>53</sup>, una disminución del 13.5% respecto al 2023. La reducción de la volatilidad de precios apoyó al comercio al contado y mejoró la confianza en el mercado a futuros.<sup>54</sup>

Por otra parte, hubo otros factores que también impactaron sobre la economía del GNL durante 2024 y el presente; la oferta y demanda que se encontraron ajustados por retrasos que se dieron en ciertos proyectos, lo que ocasionó que se reforzaran las estrategias de compra-venta; tensiones geopolíticas como la guerra de Rusia-Ucrania que aún continuaron durante este año, ha provocado tensiones en rutas clave para el GNL como el estrecho de Ormuz y el Mar Rojo; aranceles y políticas que ha implementado Estados Unidos han suspendido exportaciones de GNL hacia otros países, lo que ha impactado además en los costos de proyectos e inversiones, elevando los precios de los contratos de entregas finales; y factores climáticos prevén que la demanda energética durante este año sea mayor que en 2024 ya que se esperan climas más fríos y más calurosos.

#### **3.6.1 Condiciones de mercado de la importación y exportación**

Dado el crecimiento sostenido de los mercados de GNL, se ha impulsado el desarrollo e incorporación de nuevas tecnologías. Un análisis de la International Gas Union (2025), reportó que los importadores más grandes a nivel mundial fueron Europa, Asia y la región Asia-Pacífico, con importaciones del 93.2% de GNL en 2024. Además, Egipto importó 2.7 MT y se espera que sea un importador neto durante años, es decir, que importe más GNL de lo que exporta. En Latinoamérica, Brasil también aumentó sus importaciones de GNL, con un promedio de 2.9 MT, Colombia pasó de importar 0.8 MT a 2.1 MT en 2024 y México ingreso al grupo de países exportadores.

En 2024 Estados Unidos y Australia lideraron la lista de mayores exportadores de GNL, con 88.4 MT y 81 MT respectivamente, de lado contrario, los países con mayores importaciones fueron China y Japón con 78.6 MT y 67.7 MT de forma correspondiente. Sumando a lo anterior, la

---

<sup>52</sup> (IGU, 2025)

<sup>53</sup> Millón de unidades térmicas británicas. 1mmBtu equivale aproximadamente a 26.4 m<sup>3</sup> de gas natural dependiendo del poder calorífico.

<sup>54</sup> (IGU, 2025)

importación de Europa declino a 100.1 MT, 21.2 MT menos que en 2023, en caso contrario, India importó 4.2 MT más que en 2023.

Atendiendo el continuo crecimiento de la industria de gas natural licuado, la capacidad global de licuefacción aumentó a 494.4 MTPA en 2024 y la capacidad de regasificación se incrementó a 1064 MT.<sup>55</sup>

De los países de estudio de este trabajo, podemos ver que:

## ESTADOS UNIDOS

Estados Unidos fue un país clave en la industria del GNL durante 2024, ya que principalmente fue estratégico para aumentar la capacidad de licuefacción y la exportación a nivel global debido al descubrimiento y explotación de las reservas de shale gas. Esto a su vez generó un excedente masivo de GN que abarató el precio impulsando las inversiones de infraestructura. La exportación de GNL no solo resolvió el tema de excedente de gas natural, sino que también respondió a oportunidades globales, Estados Unidos promovió contratos más flexibles vinculados al precio del Henry Hub permitiéndole a los países europeos y asiáticos a diversificar su suministro.

El crecimiento de la capacidad de licuefacción fue impulsado por diversos proyectos, entre ellos se encuentra el inicio de operación de los trenes 1-8 de Plaquemines LNG en Estados Unidos, lo que añadió 4.6 MTPA a nivel mundial y también otro de los proyectos que más destacó fue el de Corpus Christi LNG Fase III, con capacidad de 5.96 MTPA y que sigue todavía en desarrollo, pero se espera que comience operaciones este 2025.<sup>56</sup>

Estados Unidos es el mercado con mayor capacidad de licuefacción en todo el mundo, su capacidad ronda en los 97.5 MTPA.

A esto se suma que este país impulsó el desarrollo de buques de abastecimiento, donde se encuentran los siguientes; Clean Jacksonville (2200 m<sup>3</sup>), Q-LNG ATB 4000 (4,000m<sup>3</sup>), Clean Canaveral (5,500m<sup>3</sup>), Clean Everglades (5,500m<sup>3</sup>) y Coral Favia (10,000m<sup>3</sup>).

Además, Estados Unidos fue el exportador más grande durante el 2024, logrando trasladar 88.4 MT alrededor del mundo, 3.9 MT más que en 2023, esto se debió al aumento de producción de gas natural que desarrolló.

Entre su infraestructura se encuentran también diversas plantas de licuefacción las cuales se encuentran enlistadas en la **Tabla 3.10**:

**Tabla 3.10 Plantas de licuefacción más destacables de Estados Unidos en 2024. (IGU, 2025)**

Nombre de la planta de licuefacción	Ubicación	Capacidad de diseño (MTPA)
Sabine Pass T1-T2	Cameron, Luisiana	10
Sabine Pass T3-T4	Cameron, Luisiana	10
Elba Island T1-T10	Chatham, Georgia	2.5
Freeport T1-T3	Freeport, Texas	15.30
Corpus Christi T1-T3	Corpus Christi, Texas	13.56
Sabine Pass T5-T6	Cameron, Luisiana	10

<sup>55</sup> (IGU, 2025)

<sup>56</sup> (IGU, 2025)

Nombre de la planta de licuefacción	Ubicación	Capacidad de diseño (MTPA)
Calcasieu Pass T1-T18	Cameron, Luisiana	11.34
Cove Point T1	Lusby, Maryland	5.25
Cameron T2-T3	Hackberry, Luisiana	9
Corpus Christi Etapa 3 T1-T7	Corpus Christi, Texas	10.43
Plaquemines T1-T9	Plaquemines, Luisiana	5.03
Plaquemines T10-T36	Plaquemines, Luisiana	15.12
Golden Pass T1-T3	Sabine Pass, Texas	18
Porth Arthur T1-T2	Jefferson, Texas	6.67
Rio Grande T1-T3	Brownsville, Texas	17.61

Es importante mencionar que cada “T” hace referencia a un tren de licuefacción, que se puede definir como: una unidad de proceso de GNL que emplea equipos para reducir el gas mediante una serie de procesos.<sup>57</sup>

Cada uno de estos trenes cuenta con los equipos necesarios para convertir GN a GNL. Las plantas se construyen por módulos independientes (trenes) para que se pueda operar parcialmente mientras son construidos los siguientes. Por ejemplo, si un proyecto cuenta con 5 trenes, se pueden iniciar operaciones con el primer tren mientras se terminan los otros cuatro. Esto facilita la expansión de las plantas de licuefacción, mejora la eficiencia operativa y reduce el riesgo económico del proyecto a largo plazo.

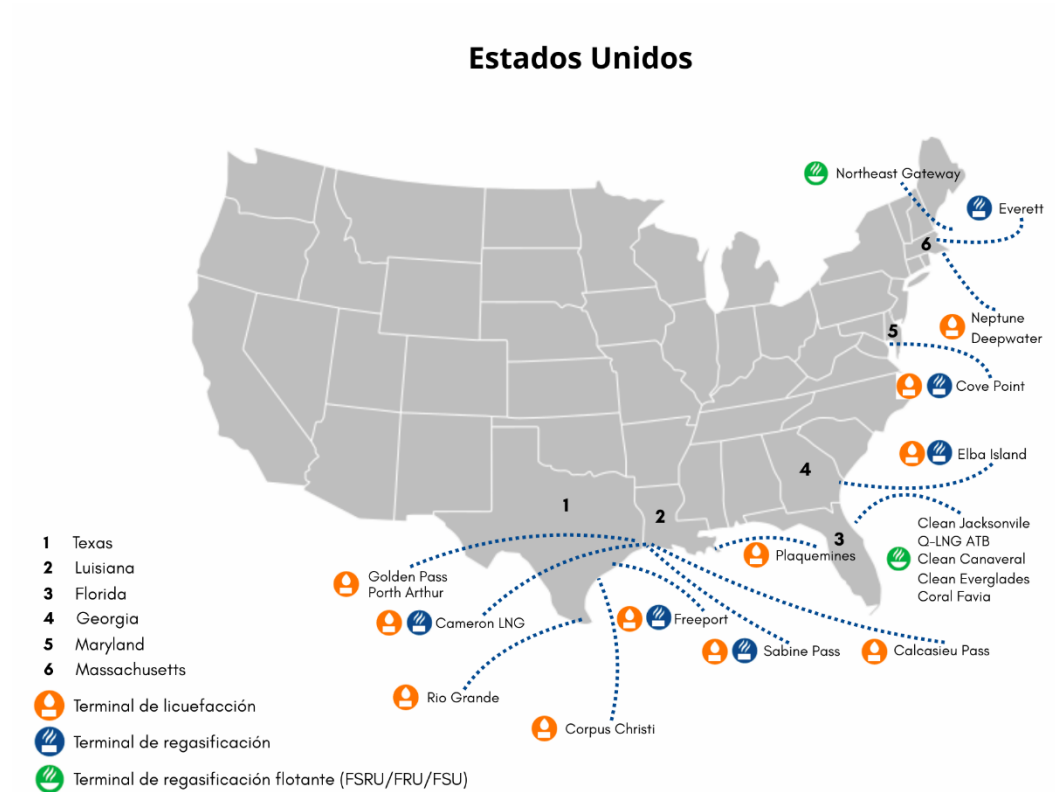
Añadiendo a su infraestructura, también cuentan con algunas terminales de recepción de GNL. La **Tabla 3.11** detalla dicha infraestructura.

Toda la infraestructura mencionada se observa en la **Figura 3.1**.

**Tabla 3.11 Plantas de regasificación más destacables de Estados Unidos en 2024. (IGU, 2025)**

Nombre de la terminal de recepción	Ubicación	Capacidad de diseño (MTPA)
Cove Point	Lusby, Maryland	11
EcoElectrica	Peñuelas, Puerto Rico	2
Elba Island	Chatham, Georgia	12
Everett	Everett, Massachusetts	5.40
Neptune Deepwater LNG	Everett, Massachusetts	5.40
Northeast Gateway	Bahía de Massachusetts	4.50
San Juan – New Fortress FSRU	Puerto Rico	1.10

<sup>57</sup> (NGI, 2025)



**Figura 3.1 Infraestructura de GNL destacable de Estados Unidos en 2024.**

## CHINA

En 2024, China se mantuvo como el mayor importador global de GNL, alcanzando 78.64 MT, siendo el principal motor de la recuperación de la demanda asiática. La infraestructura destacable durante ese año se observa en la **Figura 3.2**.

En 2021 los precios del gas alcanzaron nuevos máximos y el crecimiento del sector industrial provocó mayor demanda de carbón justo cuando hubo escases de este último recurso en China, esto hizo que China fortaleciera su posición como comprador de GNL.

China destacó como el país con mayores contribuciones a la capacidad global de las plantas de regasificación registradas en 2024, con siete terminales nuevas y ampliaciones, agregando 21.5 MTPA. Impulsando uno de los proyectos más grandes de terminales de regasificación, la planta Huizhou LNG 1, con una capacidad de 6.1 MTPA, y también adicionó a su infraestructura dos proyectos; Chazhou Huaying LNG Fase 1 con capacidad de 6 MTPA y la expansión de Tianjin PipeChina LNG Fase 2 con capacidad de 6 MTPA. A finales de 2024, alcanzó una capacidad de regasificación de 156.3 MTPA.<sup>58</sup>

<sup>58</sup> (IGU, 2025)

Este país cuenta con planes muy estructurados a futuro, esperan dominar en tema de construcción de plantas de regasificación. Con 38 proyectos esperan añadir 143.8 MTPA a la capacidad de regasificación mundial para 2030.<sup>59</sup>

También dominó en la capacidad de almacenamiento de GNL a nivel global, agregó 0.0039 BCM por medio de siete proyectos, lo que representó un 67% del aumento global. China ha acelerado el desarrollo de infraestructura de GNL debido a la importancia de la seguridad energética, es por esto que este país está enfocado en la capacidad de almacenamiento y en la capacidad de regasificación.

El proyecto de GNL de Jiangsu Yancheng Binhai de la Corporación Nacional de Petróleo Offshore de China (CNOOC) puso en marcha en enero de 2025 su tanque de almacenamiento de gas natural licuado de 270,000  $m^3$ , que es el más grande de su tipo a nivel global y además fue desarrollado de manera independiente por CNOOC. Este tanque puede almacenar 119,000 toneladas de GNL, satisfaciendo las necesidades energéticas de 22 millones de residentes durante dos meses.<sup>60</sup>

Sumando a lo anterior, China cuenta con cinco buques de abastecimiento de GNL; Hai Gang Wei Lai con capacidad de 20,000  $m^3$ , Xin Ao Pu Tuo Hao con capacidad de 8500  $m^3$ , Hai Yang Shi You 301 con capacidad de 30,000  $m^3$ , Hai Yang Shi You 302 con capacidad de 12,000  $m^3$  y Huaihe Nengyuan Qihang con capacidad de 14,000  $m^3$ .

También es un país re-exportador de GNL, lo que significa que además de importar GNL para su uso, lo restante lo comercializa a otras regiones, ya sea sin modificarlo o con una mínima transformación. Estas reexportaciones se originan en la terminal de GNL Hainan Yangpu de PipeChina ya que esta posee instalaciones con capacidad de recarga y transbordo.

Es importante mencionar que los proyectos mencionados son solo algunos de los que conforman toda la infraestructura que con los que cuenta este país. China cerró su cuenta en 2024 con alrededor de 34 terminales de recepción de GNL que se encuentran en funcionamiento y se encuentran otras 40 en construcción, buscando iniciar operaciones de 2025 a 2027.

---

<sup>59</sup> (IGU, 2024)

<sup>60</sup> (IGU, 2025)



**Figura 3.2 Infraestructura de GNL destacable de China en 2024.**

## ESPAÑA

La importación de Europa disminuyó a 100.1 MT en 2024, 21.2MT menos que en 2023, tan solo España importó 3.49 MT menos en 2024, siendo uno de los países con una caída significativa. Aun con este contexto, España fue el tercer mercado de re-exportación más grande a nivel global en 2024, con un total de 0.78 MT.

Es importante señalar que España posee la cuarta mayor capacidad de regasificación operativa del mundo y la más grande de Europa, con 49.8 MTPA en siete terminales para finales de 2024, tal como se muestra en la **Figura 3.3**. La utilización de regasificación del mercado cayó del 34% en 2023 al 27% en 2024. El último inicio se vio en 2023, cuando el mercado reactivó la terminal terrestre El Musel de 5.9 MTPA que había estado inactiva para fortalecer su capacidad de importación de GNL tras el conflicto entre Rusia y Ucrania que despertó preocupaciones sobre el suministro de gas en la región.<sup>61</sup>

El que España sea uno de los países con mayor capacidad de regasificación en Europa, le da una ventaja que le permite redistribuir cargas de GNL a otros mercados europeos como Italia, Países Bajos y Francia. La terminal de El Musel re-exporta principalmente a otras regiones de Europa, de esta manera asegura la seguridad del suministro de la región, a su vez, esta también se utiliza para la recarga de tanques (bunkering) que abastecen las ciudades a su alrededor.

<sup>61</sup> (IGU, 2025)



Entre la infraestructura que tiene España, se encuentran los siguientes buques: Oizmendi (660 m<sup>3</sup>), Bunker Breeze (1,200 m<sup>3</sup>), Haugesund Knutsen (5000 m<sup>3</sup>), Levante LNG (12,5000 m<sup>3</sup>). Sumando a lo anterior, también cuenta con terminales en tierra: Bahía de Bizkala Gas (5.10 MTPA), Barcelona LNG (12.60 MTPA), Cartagena (8.60 MTPA), El Musel (5.9 MTPA), Huelva (8.60 MTPA), Mugardos LNG (2.60 MTPA) y Sagunto (6.40 MTPA).



**Figura 3.3 Infraestructura de GNL destacable de España en 2024.**

## ALEMANIA

Durante 2024, Alemania añadió 10 MT a su capacidad anual de regasificación gracias a su terminal de GNL de Mukran, pero no tuvo aumentos importantes en temas de importación, más bien este cayó 0.25 MT, llegando a importaciones de GNL valoradas en 4.85 MT, donde 4.35 MT provinieron de América del Norte.

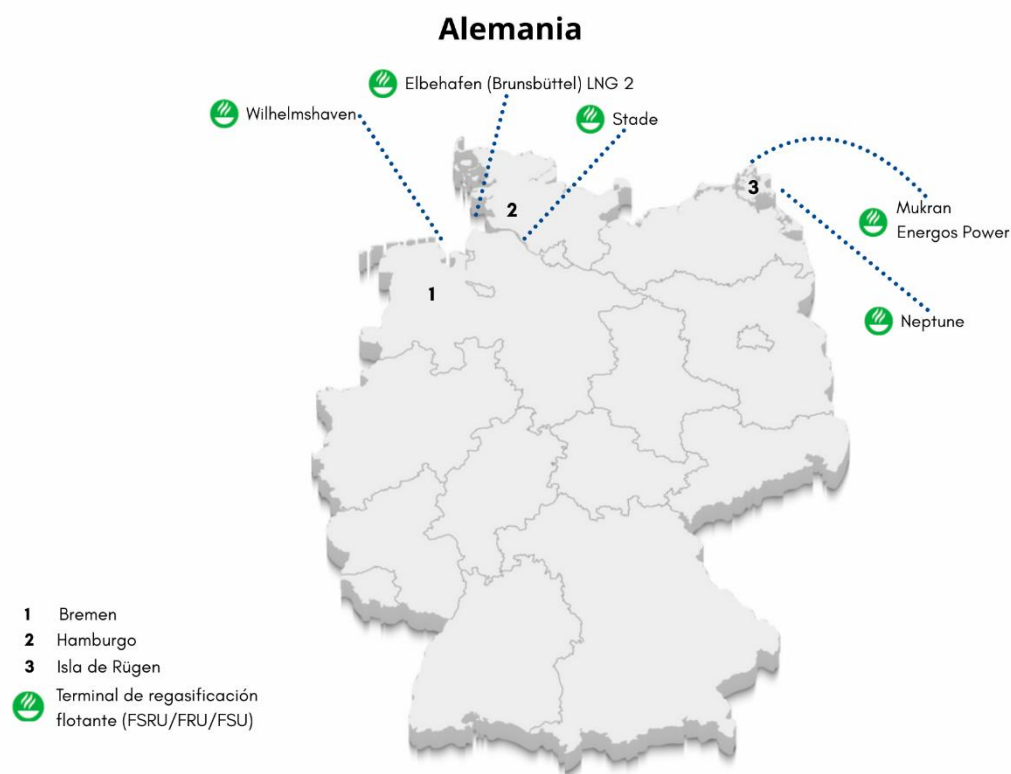
La terminal más grande que se puso en funcionamiento en 2024, fue Mukran LNG, en Alemania, con una capacidad total de regasificación de 9.9 MTPA a través de dos Unidades Flotantes de Almacenamiento y Regasificación (FSRU), Energos Power (5.5 MTPA) y Neptune (4.4 MTPA). Esta terminal contribuyó al mayor incremento de capacidad de embarcaciones FSRU. Además, se espera que debido al crecimiento que ha tenido el país, se aumenten 13 MTPA en este mercado.<sup>62</sup>

<sup>62</sup> (IGU, 2025)

Alemania ya cuenta con algunos FSRU operando desde 2022: Wilhelmshaven FSRU con capacidad de 5.51 MTPA, Elbehafen LNG con capacidad de 3.68 MTPA y Stade LNG con capacidad de 3.68 MTPA.

Cabe señalar además que Alemania tiene tres proyectos de expansión para seguir añadiendo capacidad de regasificación a su infraestructura: dos proyectos en tierra; Elbehafen (Brunsbüttel) LNG 2 (5.88 MTPA) y Stade LNG 2 (9.78 MTPA); y uno más basado en FSRU, Wilhelmshaven FSRU 2 (3.68 MTPA). Se estima que estén en funcionamiento entre 2025 y 2027. Se ha proyectado que dichos proyectos añadan 19.3 MTPA.<sup>63</sup>

La infraestructura de regasificación detallada anteriormente se ilustra en la **Figura 3.4**.



**Figura 3.4 Infraestructura de GNL destacable de Alemania en 2024.**

## BRASIL

En 2024, Brasil aumentó sus importaciones de GNL casi cinco veces más que el año anterior, además, fue el cuarto país con mayores importaciones, pasando de 660,000 toneladas a 2.94 MT a su absorción anual. Este aumento fue debido al crecimiento del 44% en la demanda de gas para la generación eléctrica dado que sufrieron de sequía y su producción de energía hidroeléctrica disminuyó.

Cabe agregar que, en 2024, Brasil añadió 3 unidades de almacenamiento y regasificación de GNL, mejor conocidas como FSRU, las cuales influyeron al aumento de la capacidad de

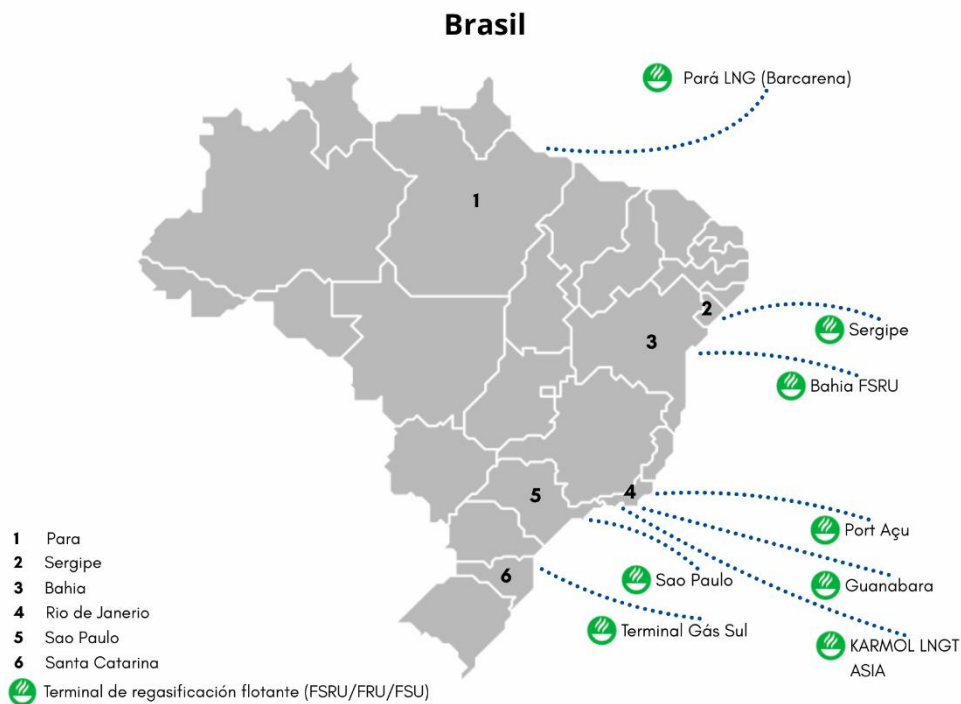
<sup>63</sup> (IGU, 2025)

regasificación global. Las unidades en operación son: el Pará LNG (Barcarena) de 6 MTPA, el Sao Paulo LNG de 3.8 MTPA y el Terminal Gás Sul LNG de 4 MTPA.<sup>64</sup>

Sumado a lo anterior, la volatilidad de la producción renovable nacional en Brasil ha causado cierta incertidumbre en la demanda de las importaciones de GNL en el mercado. Pero, es probable que las terminales basadas en FSRU mantengan el dominio en el sector de regasificación del país.<sup>65</sup>

Este país además tuvo el primer barco de abastecimiento de GNL de toda Latinoamérica, el Avenir Accolade que comenzó a operar en 2021, cuenta con una capacidad de 7,500 metros cúbicos.

Brasil cuenta con 8 unidades de almacenamiento y regasificación de GNL (véase **Figura 3.5**), las ya mencionadas anteriormente y sumando; Port Açú LNG, con capacidad de 5.60 MTPA, Bahia LNG, con capacidad de 5.37 MTPA, Guanabara LNG, con capacidad de 8.05 MTPA, KARMOL LNGT ASIA, con capacidad de 2.27 MTPA y finalmente la Sergipe, con capacidad de 5.64 MTPA. Todas estas FSRU.



**Figura 3.5 Infraestructura de GNL destacable de Brasil en 2024.**

<sup>64</sup> (IGU, 2025)

<sup>65</sup> (IGU, 2025)

## MÉXICO

Como se mencionó anteriormente, México entro a la lista de países exportadores de GNL en 2024 con la producción de Gas Natural Licuado Flotante (FLNG), con Altamira FLNG de New Fortress Energy (NFE).

En 2022, NFE se asoció con la CFE para llevar a cabo diversos proyectos de gas, que incluían el desarrollo de un centro de FLNG frente la costa de Altamira. El gas de alimentación para la instalación es suministrado por la red de tuberías actuales de la CFE. Esta planta flotante se encuentra en el Golfo de México, frente a Altamira, Tamaulipas, y tiene previsto desplegar varias unidades de FLNG con una capacidad de 1.4 MTPA<sup>66</sup> cada una.

De igual manera, se encuentra la terminal de licuefacción Altamira LNG que pertenece a Vopak y Engás. Esta fue la primera terminal de GNL en México, la cual inicio operaciones en 2006. Este proyecto consta de dos tanques de almacenamiento con capacidad de 5.5 millones de pies cúbicos, instalaciones de regasificación con una capacidad de suministro de 500 millones de pies cúbicos diarios y ductos que se conectan al sistema de ductos existentes en Tamaulipas.<sup>67</sup>

Además de ese proyecto, México cuenta con una planta de recibo, almacenamiento y regasificación de GNL; Energía Costa Azul (ECA), ubicada al norte de Ensenada en Baja California. Este proyecto fue geográficamente posicionado para así poder conectar Asia, la cuenca del Pacífico y los mercados internacionales de gas natural licuado. Dicha planta ya se encuentra en operación y tiene una capacidad de 7MTPA.<sup>68</sup>

Otro proyecto destacable es la terminal KMS LNG, que es una planta de importación, almacenamiento y regasificación de GNL. Esta terminal tiene capacidad de recibir y almacenar hasta 300,000 pies cúbicos de GNL y regasificar y abastecer a CFE con hasta 0.55 mil millones de pies cúbicos de gas natural por día. Cabe resaltar que por la excelente ubicación que tiene, se ha convertido históricamente en la más utilizada del país.

En la **Figura 3.6** se observan los proyectos que lograron posicionar a México en el mercado internacional de GNL.

Asimismo, en 2024, México importó GNL principalmente de Estados Unidos (46.3%), seguido de Trinidad y Tobago (24.8%), Perú (17.3%), Indonesia (8.13%) y lo restante de Nigeria (3.46%).<sup>69</sup>

---

<sup>66</sup> Millones de Toneladas por año

<sup>67</sup> (GEM, 2025)

<sup>68</sup> (GEM, 2025)

<sup>69</sup> (México, 2024)



**Figura 3.6 Infraestructura de GNL destacable de México en 2024.**

## COLOMBIA

Colombia también fue uno de los países que aumento sus importaciones de GNL, elevándolas a 2.1 MT en 2024.

Al igual que Brasil, por cuestiones de sequía, en 2024 tuvo que agregar cargas adicionales a la importación de gas natural licuado para así mitigar la falta de generación de energía hidroeléctrica. Las importaciones de Colombia aumentaron de 770,000 toneladas a 2.11 MT.<sup>70</sup>

En cuanto a tecnología, la que tiene es funcional, pero sigue siendo insuficiente para cubrir la demanda del país. Cuentan con una terminal de regasificación única (**Figura 3.7**) que lleva operando desde 2016, la SPEC FSRU, con una capacidad de 3 MTPA, esta se encuentra en la bahía de Cartagena. Por el momento es un país que no tiene capacidad de exportación por falta de tecnología.<sup>71</sup>

<sup>70</sup> (IGU, 2025)

<sup>71</sup> (IGU, 2025)



**Figura 3.7 Infraestructura de GNL destacable de Colombia en 2024.**

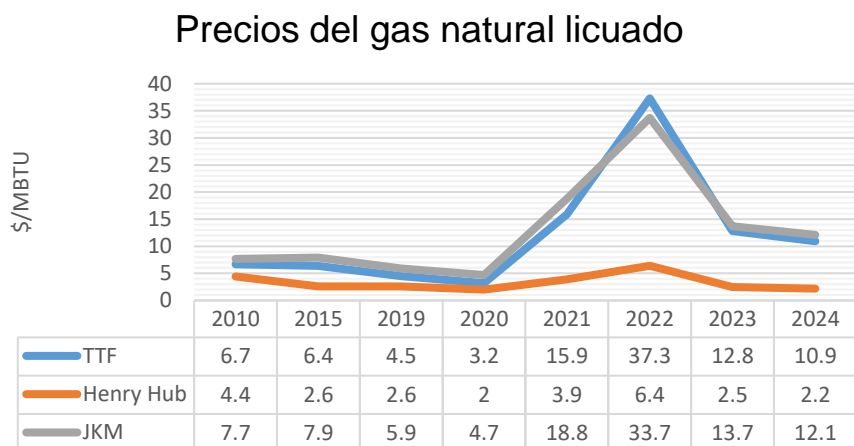
### 3.7 Precios

Los precios del gas natural se fijan de acuerdo a diversos factores, entre ellos: costos de extracción y producción, costos de venta a nivel internacional y las condiciones de oferta y demanda.

En 2023, los precios disminuyeron en un promedio aproximado del 60% con respecto a los precios registrados en 2022. Después del shock de suministro por la invasión de Rusia hacia Ucrania en 2022, los precios del gas tuvieron una gran volatilidad, lo que provocó una reestructuración radical de los flujos de gas hacia diversos países y además hubo un reequilibrio gradual en los mercados globales.

Existen referentes de precios que se consideran índices de referencia para el comercio de GNL. Se cuenta con el Japan-Korea Marker (JKM) que pertenece a la región Asia-Pacífico y es el principal marcador de precios spot de gas natural licuado en el mercado asiático. Por otro lado, se tiene al Title Transfer Facility (TTF) que pertenece a la región europea, específicamente es un punto de fijación de precios en los Países Bajos y se ha vuelto el punto de fijación de precios con mayor liquidez en Europa. En la región de América del Norte se encuentra el Henry Hub, que además de ser referente al precio del gas natural en Estados Unidos, es también un punto físico de interconexión en Luciana. Además, el Brent es ocupado en contratos de GNL indexados al petróleo a nivel global y aunque no es un marcador específico del GNL, es referente para contratos a largo plazo.

Los precios del gas natural a través de los años se pueden observar en la **Figura 3.8**:

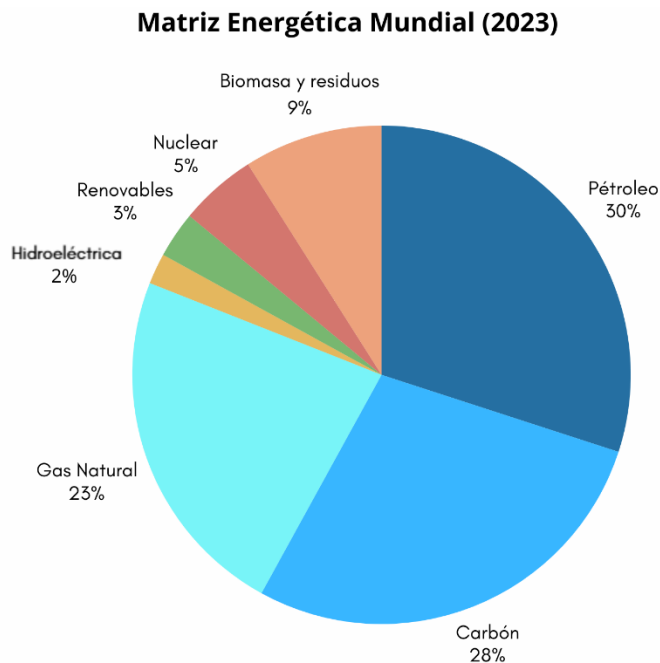


**Figura 3.8 Precios del GNL a través de los años. (ENI, 2025)**

### 3.8 Matriz energética

Es importante recordar que la matriz energética se conforma por las fuentes de energía que un país utiliza para satisfacer su demanda total. En la **Figura 3.9** se muestra como estuvo conformada la matriz energética mundial durante 2023.

El consumo mundial de energía primaria es considerablemente más alto que el consumo de energía final. En 2023, el suministro de energía primaria fue de 634 EJ, mientras que la demanda de energía final fue de 457 EJ.<sup>72</sup>



**Figura 3.9 Matriz energética mundial en 2023 (aproximadamente de 15 Gtoe).  
Modificada de (ENI, 2024)**

<sup>72</sup> (DNV, 2024)

El sector energético a nivel mundial ha hecho de la descarbonización una prioridad debido al cambio climático y en la industria del GNL no es una excepción. Como componente significativo de la mezcla energética global, descarbonizar la cadena de suministro de GNL es esencial para muchos actores de la industria. La etapa de licuefacción presenta una oportunidad clave para reducir las emisiones y disminuir los gases de efecto invernadero ya que este proceso ayuda a obtener una molécula más pura en concentración de metano.<sup>73</sup>

## **ESTADOS UNIDOS**

En 2023, la matriz energética de Estados Unidos se integró principalmente por energías no renovables: gas natural (42.4%), carbón (16%) y otros combustibles fósiles (0.8%); lo demás fue generado por energías renovables: energía nuclear (18.2%), eólica (10%), solar (5.6%), hidroeléctrica (5.5%), bioenergía (1.1%) y otras renovables (0.4%).<sup>74</sup>

El sector de la generación eléctrica tiene mayor dependencia a los combustibles fósiles, siendo el gas natural su fuente principal.

A pesar de que a nivel mundial existen acuerdos que deben cumplirse para descarbonizar la economía global y promover la transición energética hacia energías más verdes, con Donald Trump en la presidencia se prevé que se mantendrá e incluso incrementará la participación de combustibles fósiles.<sup>75</sup>

## **CHINA**

Históricamente la matriz energética de China ha dependido notablemente del carbón. En 2024, el carbón siguió siendo pilar del suministro energético primario (53.2%). Le siguieron los combustibles renovables (19.7%), el petróleo (18.2%) y el gas natural (8.9%).

Pese al crecimiento de otras fuentes, el carbón dominó la generación eléctrica del país con una participación del 58%. Sin embargo, las necesidades eléctricas se cubren cada vez más con energías renovables y gas natural. Esta transición convierte a China en el país con mayor desafío en descarbonizar su suministro eléctrico.

El gobierno chino se encuentra impulsando la reducción de emisiones y con ello buscan mejorar la calidad del aire mediante la transición al gas natural en los sectores industriales y residencial.

## **ESPAÑA**

En 2023, los combustibles fósiles representaron alrededor del 70% de la energía primaria española, el 30% restante fue ocupado por energías renovables (eólica, solar, hidroeléctrica, bioenergía, etc.).<sup>76</sup>

El gas natural juega un papel importante en la transición energética ya que este ha asegurado la estabilidad de la red a medida que van creciendo las capacidades instaladas de energía eólica y

---

<sup>73</sup> (IGU, 2025)

<sup>74</sup> (EMBER, 2024)

<sup>75</sup> (Lara, 2024)

<sup>76</sup> (DNV, 2024)



solar. En la última década, el gas natural ha garantizado cerca del 21% del suministro de energía primaria de España.

## **ALEMANIA**

Alemania se encuentra en una transición energética mejor conocida como “Energiewende”, que es una transición que va del predominio de fuentes de energía de hidrocarburos y nuclear a una donde dominen las energías bajas en carbono, es decir, de fuentes renovables.

En 2024, la matriz energética de Alemania en términos de consumo de energía primaria fue constituida de la siguiente manera: petróleo (36.6%), gas natural (25.9%), carbón (14.8%), energías no renovables (20%), exportación neta de electricidad y otros (2.7%).<sup>77</sup>

A pesar de lo anterior, la mayor parte de la electricidad es producida por fuentes renovables, se estima que se genera alrededor del 57.6% de electricidad a través de estos recursos, sin embargo, Alemania sigue manteniendo una alta dependencia al petróleo y al gas natural para así poder garantizar la seguridad del suministro eléctrico.

## **BRASIL**

Brasil es un país que destaca como uno de los mayores productores mundiales de energía renovable, donde su matriz energética es dominada por energías limpias. La energía hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa contribuyen una parte considerable del suministro energético.

Las principales fuentes renovables en la matriz eléctrica brasileña son: hidroeléctrica (53.88%), eólica (15.22%), biomasa (8.31%) y solar (7.2%). Las principales fuentes no renovables son: gas natural (8.78%), petróleo (3.92%) y carbón (1.7%).<sup>78</sup>

## **MEXICO**

En 2022, los combustibles fósiles representaron alrededor del 80% de la producción de energía primaria en México, siendo el petróleo crudo la principal fuente de energía (58.52%), seguido del gas natural (22.2%), energías renovables (15.40%), energía nuclear (2.05%) y finalmente el carbón (1.84%).<sup>79</sup>

En términos de generación eléctrica México alcanzó los 346.5 TWh en 2023, de los cuales, el 78% fue de origen de fuentes no renovables, donde el gas natural lidero dicha generación, las fuentes renovables (hidroeléctrica, geotermia, solar, eólica, biomasa y biogás) generaron el 19% y la energía nuclear aportó el 3% restante.<sup>80</sup>

Hoy en día, el gas natural tiene la mayor participación en la matriz eléctrica de México. En el Escenario de Políticas Declaradas (STEPS), el gas natural y la energía solar fotovoltaica cubren, en conjunto, más del 95% del incremento de la generación eléctrica hasta 2050.<sup>81</sup>

---

<sup>77</sup> (Kerstine Appunn, 2024)

<sup>78</sup> (Craide, 2024)

<sup>79</sup> (SENER, 2023)

<sup>80</sup> (OLADE, 2024)

<sup>81</sup> (IEA, 2024)

## COLOMBIA

Actualmente, los combustibles fósiles representan cerca del 70% del consumo final de energía en Colombia, con una creciente demanda de combustibles líquidos para el transporte y gas natural para diversos usos. El carbón representa entre el 5% y 10% del consumo final, mientras que el petróleo y los combustibles líquidos alcanzan el 40%.<sup>82</sup>

Tan solo la participación del gas natural ha pasado del 3% en 2015 al 16% en la actualidad. Y se prevé que se empiecen a implementar nuevos energéticos como son el hidrogeno, la bioenergía y la geotermia para lograr la transición a una energía más justa y sostenible.<sup>83</sup>

### 3.9 Emisiones

El gas natural es un combustible fósil de combustión relativamente limpia ya que este al usarse para generar energía, desprende menos emisiones de la mayoría de los contaminantes atmosféricos que existen y dióxido de carbono. Las propiedades que tiene el gas natural de combustión limpia han colaborado a un mayor uso de este combustible principalmente para la generación eléctrica y como combustible para los vehículos.

La pureza que tiene el gas natural lo hace adecuado para ser empleado con las tecnologías más eficientes; al ser utilizado como una fuente de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen significativamente en comparación a otros combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. La quema de este recurso produce menos dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y otras partículas contaminantes, esto disminuye la contaminación atmosférica. Cabe mencionar que este también es crucial en la transición energética hacia energías más limpias, ya que se considera el combustible de transición al utilizarse cuando las fuentes renovables no están disponibles o cuando se necesitan picos adicionales de energía, posicionándolo como el respaldo del sistema eléctrico en la mayoría de los países.

### 3.10 Panorama nacional

Para poder concluir si México es un país que puede competir notablemente en la industria del gas natural licuado, es necesario conocer el panorama nacional. Estudiando los recursos y las capacidades de estos es clave para evaluar su participación como un país exportador o importador.

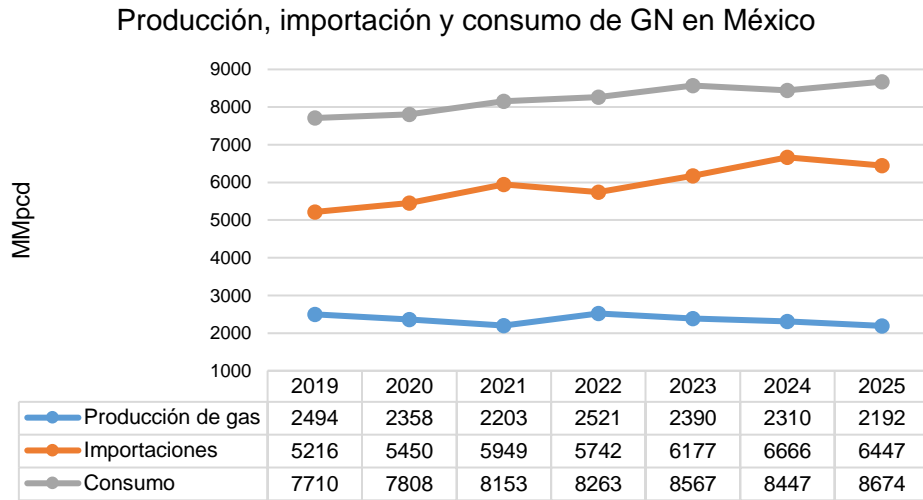
A lo largo de los años, la dinámica de las reservas de gas natural en el país han sido un tema crítico. En la **Figura 3.10** se puede observar el desafío que enfrenta México en este sector: la creciente brecha entre la producción nacional en declive y el consumo en aumento. Lo que ha provocado que el país dependa de las importaciones extranjeras a pesar de contar con reservas considerables. En dicha figura se ilustra el comportamiento del gas seco, que es de gran importancia por su papel central en la matriz energética y la economía de cualquier país.

---

<sup>82</sup> (Energía, 2024)

<sup>83</sup> (Energía, 2024)

Actualmente la industria de los hidrocarburos en el país enfrenta una crisis y el pasado 7 de agosto del 2025, Pemex presentó su Plan Estratégico 2025-2035, donde plantean las estrategias para frenar el declive de yacimientos maduros y reactivar la producción con potencial de crecimiento, además de explorar y desarrollar yacimientos en formaciones complejas, lo que en conjunto potenciaría la producción de gas natural, llegando a producir 5000 MMpcd en 2028.



**Figura 3.10 Comportamiento de la dinámica de Gas Natural Seco en México. (SENER, 2025)**

### 3.10.1 Reservas

Gran parte de la producción nacional es gas asociado al petróleo, es por esto que las reservas de gas son similares a las del petróleo. En 2023, las reservas del país se situaron en 210 billones de metros cúbicos.<sup>84</sup>

Las reservas de gas más importantes de México se encuentran en el Golfo de México Profundo, en las cuencas Tampico-Misantla, Burgos, Veracruz, Cuencas de Sureste y Sabinas, las cuales se ilustran en la **Figura 3.11**.

<sup>84</sup> (ENI, 2024)



**Figura 3.11 Reservas de gas natural en México. (SENER, 2025)**

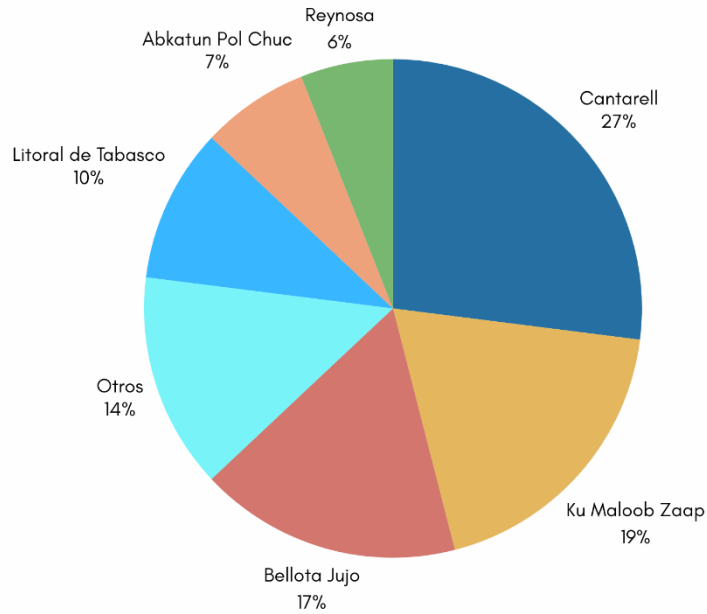
### 3.10.2 Producción

Para poder complementar la demanda nacional de gas natural, la producción en el país se situó en 3,502 millones de pies cúbicos diarios (MMpcd) durante el primer trimestre de 2025, con una disminución del 8,7% en comparación al año anterior debido a la declinación natural de los campos maduros y la complejidad técnica en la terminación de pozos.<sup>85</sup>

Los activos que tuvieron una mayor aportación en la producción de gas natural fueron Cantarell y Ku Maloob Zaap, lo cual se puede observar en la **Figura 3.12**. Por otro lado, el comportamiento histórico de la producción regional se ilustra en la **Figura 3.13**.

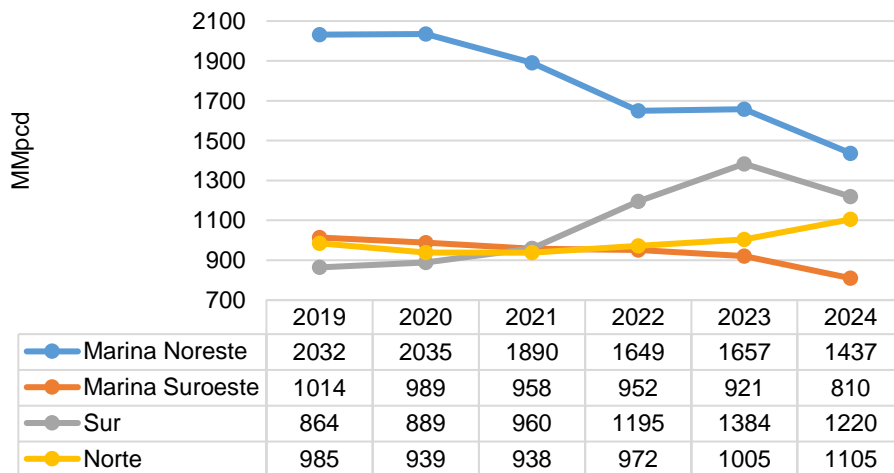
<sup>85</sup> (PEMEX, 2025)

### Producción de gas natural por activo 1T 2025



**Figura 3.12 Producción de gas natural por activo durante el primer trimestre de 2025. Modificado de (PEMEX, 2025)**

### Producción de gas natural por región



**Figura 3.13 Producción de gas natural por región. (PEMEX, 2024)**

Sin mencionar que en 2009 se tuvo una importante caída geológica en la producción de gas natural, por lo que el aumento de la demanda de este ha incrementado la dependencia energética de México hacia Estados Unidos.

Quedando así México en la cuarta posición de países con mayor producción del continente americano, por encima de Trinidad y Tobago y Brasil.

### **3.10.3 Importaciones**

A pesar de que el país cuenta con reservas significativas, no se ha incrementado la producción nacional por lo que México depende de las importaciones de gas natural para lograr satisfacer las demandas del mismo. Actualmente es el noveno país a nivel mundial en importar gas natural.

El crecimiento de gas natural en la oferta energética de México va directamente ligado con el despegue de la producción de Estados Unidos y el desarrollo de infraestructura en gasoductos para transportar el combustible al país, aprovechando los tiempos cortos de transporte y los precios más económicos a nivel global. Hoy día, México depende en su mayoría de las importaciones para poder generar energía en todo tipo de actividades.

Como punto a considerar, tenemos el ejemplo de la onda fría que se vivió en Texas en 2021, dicho evento generó un retraso en el suministro de gas hacia nuestro país, lo que dejó claro que no estamos preparados para este tipo de contingencias, se necesita más de un proveedor y además es necesario aumentar la infraestructura de almacenamiento del país, esto como medida de prevención a situaciones de este tipo.

### **3.10.4 Estatus de balance de gas natural**

El balance de gas natural en el país se encuentra en constante movimiento, la demanda va en aumento, principalmente en el sector eléctrico, los precios también han aumentado y las reservas mexicanas no logran abastecer al país, por tal razón, las importaciones son fundamentales para el soporte de la matriz energética de México.

El gas natural es el principal combustible para la generación eléctrica, aproximadamente el 60% se genera a partir de este combustible y se estima que este porcentaje seguirá aumentando.

Hoy en día el 72% de la demanda total de gas natural en México es abastecido gracias a las importaciones que se realizan.

## 4 Infraestructura y condiciones para la recepción de GNL

En este capítulo se profundizará sobre las instalaciones, normativa y capacidades que los países necesitan tener para importar y/o exportar este combustible en un contexto seguro y eficiente. No basta con que un país cuente con el recurso (gas natural), es necesario tener una infraestructura competitiva que cuente con las capacidades necesarias para así poder satisfacer su demanda y, más importante, lograr una independencia energética.

No todos los países cuentan con infraestructura a pesar de que el mercado de GNL y la demanda ha ido en aumento. Tener infraestructura es un factor crucial para que un país posea seguridad energética y flexibilidad comercial.

Para que un país cuente con condiciones óptimas para la recepción de GNL, se requiere de una gran inversión en plantas de recepción que cuenten con la infraestructura adecuada que además se complementen con gasoductos o un sistema de distribución terrestre que permita llevar al gas natural hacia los usuarios finales. Asimismo, es necesario que se disponga de un marco regulatorio y comercial definido que fortalezca los permisos, reglas de seguridad y condiciones convenientes para la recepción. De esta manera, además de recibir el GNL, se garantiza la integración de este energético de manera eficiente y segura.

### 4.1 Recepción, licuefacción, almacenamiento, transporte y regasificación

#### RECEPCION

Una vez que el gas natural es extraído de los yacimientos, ya sean de gas asociado al petróleo o gas no asociado, este debe pasar por un proceso de tratamiento donde se retiran los contaminantes como el agua, dióxido de carbono, azufre, etc. Así es preparado para ser llevado a su siguiente punto: las plantas de licuefacción.

Existen diversas normas internacionales que se usan como referencia en la recepción, manejo y tratamiento del gas natural. Cuando el gas natural es transportado a las plantas de tratamiento, se suelen aplicar las siguientes normas:

American Petroleum Institute (API): esta organización establece estándares técnicos en la industria del petróleo y gas que son usados en 31 mercados internacionales.

- *API 2610: Diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de terminales de tanques.*
- *API 2350: Prevención de Sobrellenado para Tanques de Almacenamiento en Instalaciones Petroleras.*
- *API 610: Bombas centrífugas para las industrias del petróleo, petroquímica y gas natural.*
- *API 521: Sistemas de alivio de presión y despresurización.*

- *API 650: Tanques soldados para el almacenamiento de petróleo.*
- *API 5L: Tubería de Línea.*

American Society of Mechanical Engineers (ASME): las normas de esta organización brindan seguridad, calidad y uniformidad en equipos e instalaciones industriales. Alrededor de 100 países utilizan estas normas en la industria del gas natural.

- *ASME B31.8: Sistemas de tuberías y distribución de transporte de gas.*
- *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC): En la recepción del gas suelen utilizarse la sección II, VIII y IX ya que son relacionadas a los procesos de separación de condensados, agua y contaminantes en los recipientes de presión.*
- *ASME PTC 10: Compresores axiales y centrífugos.*
- *ASME B73.1: Especificación para bombas centrifugas de succión final horizontal para procesos químicos.*

En México, además de utilizarse las normas internacionales como referencia en el diseño y la construcción de equipos, se utilizan algunas normas nacionales como las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) y algunas de la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA).

- *NOM-001-SECRE-2010: Especificaciones del gas natural.*
- *NOM-002-SECRE-2010: Instalaciones de aprovechamiento de gas natural.*
- *NOM-EM-005-ASEA-2017: Establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo*
- *NOM-009-ASEA-2017: Administración de la integridad de ductos de recolección, transporte y distribución de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos.*
- *NOM-020-ASEA-2024: Transporte de gas natural por medio de ductos terrestres.*
- *NOM-137-SEMARNAT-2013: Contaminación atmosférica. - Complejos procesadores de gas. - Control de emisiones de compuestos de azufre.*

## **LICUEFACCIÓN**

El proceso de licuefacción se lleva a cabo con el fin de exportar el gas natural a largas distancias. Como se mencionó en capítulos anteriores, hay plantas de licuefacción que se encuentran en tierra o en mar (FLNG<sup>86</sup>). En estas plantas se licua el gas natural, es decir, se convierte a fase líquida para así facilitar su transporte hacia su destino final.

---

<sup>86</sup> Floating Liquefied Natural Gas: Planta Flotante de Licuefacción de Gas Natural.



En 2024, Estados Unidos se posicionó como el principal mercado con capacidad de licuefacción operativa, alcanzando los 97.5 MTPA gracias a la expansión de trenes (T1-T8) de Plaquemines LNG y otras plantas. Australia y Catar lo siguieron con una capacidad de 87.6 MTPA y 77.1 MTPA, respectivamente. Estos tres mercados simbolizan más de la mitad de la capacidad mundial.<sup>87</sup>

Catar actualmente cuenta con un proyecto de expansión de las plantas de licuefacción de QatarEnergy (antes Qatargas), donde se proyecta añadir 31.2 MTPA al mercado mundial en los próximos años.<sup>88</sup>

Además, se espera que entre 2026 y 2028, la capacidad de licuefacción a nivel mundial aumente aproximadamente 170 MTPA. Se prevé que este aumento logre una disminución en los precios de gas natural y de esta manera aumente la demanda de gas natural licuado.<sup>89</sup>

Los procesos de recepción, procesamiento y licuefacción, se ilustran en la **Figura 4.1**.

Las normas internacionales que se usan en los procesos de licuefacción del gas natural son también las ASME, API, ISO, entre otras.

- *ASME B31.3: Tuberías de proceso.*
- *ASME 31.8: Sistemas de tuberías y distribución de transporte de gas.*
- *API 625: Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado.*
- *API 620: Diseño y construcción de grandes tanques de almacenamiento soldados de baja presión.*
- *ACI 376: Requisitos del Código para el diseño y construcción de hormigón para tanques de gas licuados refrigerados.*
- *NFPA 59A: Norma para la producción, almacenamiento y manipulación del gas natural licuado (GNL).*
- *ISO 16901: Orientación sobre la realización de evaluaciones de riesgos en el diseño de instalaciones de GNL en tierra, incluida interfaz buque-costa.*
- *ISO 16903: Características del GNL que influyen en el diseño y selección de materiales.*
- *ISO 6976: Gas natural – cálculo de valores caloríficos, densidad, densidad relativa e índices de Wobbe a partir de la composición.*
- *ISO 8943: Fluidos de hidrocarburos ligeros refrigerados - muestreo de gas natural licuado – métodos continuos e intermitentes.*

---

<sup>87</sup> (IGU, 2025)

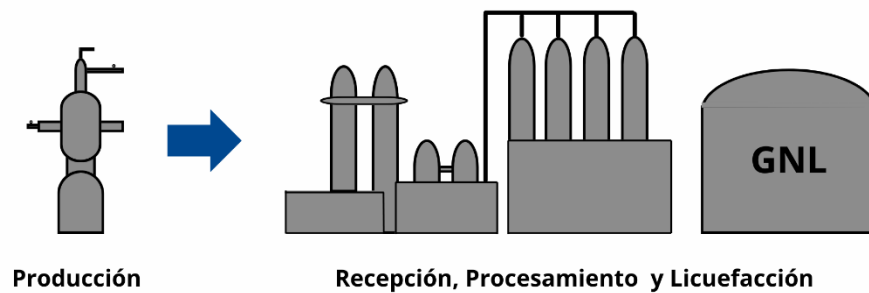
<sup>88</sup> (AI, 2025)

<sup>89</sup> (IGU, 2025)

- *ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental.*

Como normas nacionales, se manejan las siguientes en esta parte de la cadena de valor:

- *NOM-001-SECRE-2010: Especificaciones del gas natural.*
- *NOM-002-SECRE-2010: Instalaciones de aprovechamiento de gas natural.*
- *NOM-003-SECRE-2011: Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos.*
- *NOM-013-SECRE-2012: Requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de terminales de almacenamiento de gas natural licuado que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, vaporización y entrega de gas natural.*



**Figura 4.1 Cadena de valor del GNL - Producción, Recepción, Procesamiento y Licuefacción.**

## ALMACENAMIENTO

Ya que el gas se encuentra en estado líquido, pasa a ser contenido en unos tanques de almacenamiento previamente a ser dirigido a los buques metaneros. Estos tanques generalmente son de almacenamiento a corto plazo ya que como se mencionó, el objetivo de licuar el gas es para que este logre ser exportado a distancias largas.

Lo especial de estos tanques es que están diseñados para preservar al gas natural licuado a temperaturas criogénicas para impedir que este regrese a su estado gaseoso.

Este tipo de infraestructura se puede encontrar tanto en terminales de importación como de exportación ya que ahí puede contenerse el GNL hasta que sea conveniente regasificarlo para su distribución o cargarlo en barcos para su transporte. También pueden usarse en instalaciones de reducción de picos de demanda, es decir, son esos lugares estratégicos que son diseñados para cubrir la demanda extra de este combustible, ahí se almacena al GNL para después ser liberado cuando la red lo necesite. Otro lugar donde podemos encontrar estos tanques es en estaciones de abastecimiento de combustible que se usan para suministrar barcos propulsados por GNL.

Las normas internacionales que son utilizadas en el almacenamiento del gas natural son:

- *ASME B31.12: Código para el almacenamiento del gas natural.*
- *ISO 16903: Industria del petróleo y gas natural – Características del GNL que influyen en el diseño y la selección de materiales.*
- *API 625: Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado.*

Como normas nacionales, en México las más relevantes son:

- *NOM-013-ASEA-2021: Instalaciones de Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado.*
- *NOM-001-SECRE-2010: Especificaciones del gas natural.*
- *NOM-002-SECRE-2010: Instalaciones de aprovechamiento de gas natural.*

## TRANSPORTE

Una vez que el gas fue licuado y, por ende, se redujo su volumen, el GNL se transporta vía marítima en buques metaneros rumbo a los países destino. (véase **Figura 4.2**)

En 2024, el mercado de transporte de GNL creció impulsado por la expansión comercial y una mayor oferta de buques. A finales de ese año, la infraestructura alcanzó los 742 buques activos, incluyendo 48 Unidades Flotantes de Almacenamiento y Regasificación (FSRU) y 10 Unidades Flotantes de Almacenamiento (FSU), lo que representó un aumento del 7.5% en el tamaño de la infraestructura.<sup>90</sup>

Todos los buques nuevos simbolizan un aumento significativo en eficiencia, rendimiento de emisiones y economía de proyectos en comparación con los que son antiguos, no obstante, se espera que estos últimos se retiren en los próximos años a causa de presiones comerciales y regulatorias.

Es importante mencionar que el transporte mundial de GNL es susceptible a interrupciones en puntos críticos marinos. Estas interrupciones pueden ser causadas por tensiones geopolíticas o condiciones climáticas que afectan las rutas y, por ende, los precios del gas.

Actualmente Catar es uno de los países que cuenta con los buques más importantes de transporte de GNL. Operan alrededor de 74 buques, los cuales algunos son considerados Q-Max, es decir, pueden transportar hasta 266,000 metros cúbicos de GNL.

Seguido de Catar, en orden de importancia, se encuentra Japón, que posee la flota de transportadores de GNL más valiosa del mundo, con 202 buques. Grecia continúa la lista siendo propietario de 143 buques.<sup>91</sup>

---

<sup>90</sup> (IGU, 2025)

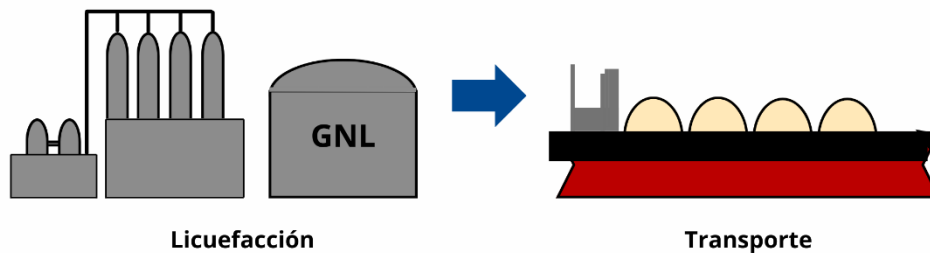
<sup>91</sup> (LNGPrime, 2024)

Hay diversas normas, códigos y/o acuerdos que deben cumplirse durante el transporte de GNL, a nivel internacional se tienen las siguientes como referencia:

- *Código IGF: Código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación.*
- *Código IGC: Código internacional de construcción y equipo de buques que transportan gases licuados a granel.*
- *ISO 28460: Industrias del petróleo y del gas natural — Instalación y equipos para gas natural licuado — Interfaz buque-tierra y operaciones portuarias.*
- *Convenio internacional para la seguridad de la vida en el mar (SOLAS).*
- *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL).*
- *Código de prácticas OMI/OTI/CEPEI para el embalaje de unidades de transporte de carga (Código CTU).*

Como normas nacionales se tienen a las siguientes:

- *NOM-020-ASEA-2024: Transporte de gas natural por medio de ductos terrestres.*



**Figura 4.2 Cadena de valor del GNL - Licuefacción y Transporte.**

## REGASIFICACIÓN

Cuando el GNL atravesó el océano en los buques para llegar a su destino final, llega a las plantas de regasificación, dichas plantas, reciben el GNL y lo regresan a su estado original: gaseoso para finalmente comercializarlo para su uso final. Esto se ilustra en la **Figura 4.3**.

Como se mencionó en el capítulo 2, hay plantas de regasificación en tierra y en mar, estas últimas son buques también, mejor conocidos como FSRU<sup>92</sup>, estos buques reciben el GNL de otros buques para regasificarlo y posteriormente entregarlo a los gasoductos en tierra conectados a los puertos.

Entre los proyectos que más destacan de 2024, China fue el país que sobresalió como mayor contribuyente a la capacidad mundial con sus terminales nuevas y ampliadas, agregando 25.1

<sup>92</sup> Floating Storage and Regasification Unit: Unidad Flotante de Almacenamiento y Regasificación.

MTPA a la capacidad global. Esta infraestructura en tierra fue: Huizhou LNG 1, Chaozhou Huaying LNG 1 y expansiones como Tianjin PipeChina LNG 2. Sin mencionar que tiene 38 proyectos nuevos en construcción que espera tener operando para 2030.<sup>93</sup>

En adición a la tecnología en tierra, también ha crecido la infraestructura en mar, tan solo en 2024 se pusieron en operación 6 nuevas terminales flotantes (FSRUs), tres en Brasil, dos en Alemania y uno en Grecia. Sumado a lo anterior, otra de las terminales de regasificación más importantes durante el mismo año, fue la llamada Mukran LNG que se encuentra en Alemania, tiene una capacidad de 9.9 MTPA a través de dos embarcaciones FSRU: Energos Power y Neptune.<sup>94</sup>

Como se puede ver, la infraestructura de regasificación de GNL ha seguido una tendencia creciente, pero para esto es necesario que los mercados globales cumplan con la normatividad para seguir operando adecuadamente. Es por esto que se toman como referencia las siguientes normas, códigos y/o acuerdos:

- *Código IGC: Código internacional de construcción y equipo de buques que transportan gases licuados a granel.*
- *Convenio internacional para la seguridad de la vida en el mar (SOLAS).*
- *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL).*
- *ISO 28460: Industrias del petróleo y del gas natural — Instalación y equipos para gas natural licuado — Interfaz buque-tierra y operaciones portuarias.*
- *ISO 16903: Características del GNL que influyen en el diseño y selección de materiales.*
- *API 625: Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado.*
- *NFPA 59A: Norma para la producción, almacenamiento y manipulación del gas natural licuado (GNL).*

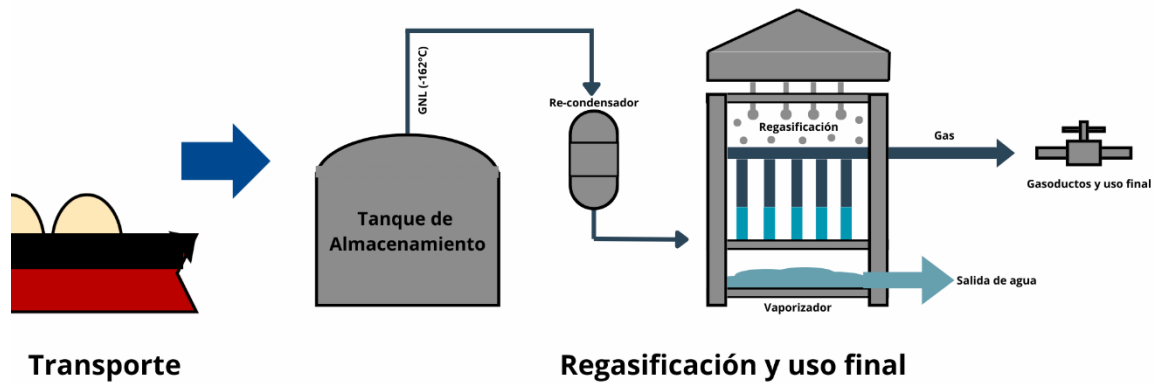
Como normas que son aplicables en nuestro país, tenemos:

- *NOM-001-SECRE-2010: Especificaciones del gas natural.*
- *NOM-013-ASEA-2021: Instalaciones de Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado.*

---

<sup>93</sup> (IGU, 2025)

<sup>94</sup> (IGU, 2025)



*Figura 4.3 Cadena de valor del GNL - Regasificación y Uso final.*

## 4.2 Proyectos actuales y futuros a nivel mundial

En la actualidad, los países que destacan con mayor número de proyectos e infraestructura relacionados al gas natural licuado son aquellos que lideran el mercado de exportación, estos países son Estados Unidos, Australia y Catar. Dichos países han logrado liderar el mercado de GNL gracias a su incremento en tecnología y sus constantes inversiones en terminales de exportación, adicionalmente influyen sus reservas y la ubicación estratégica que tienen.

Además de los países anteriores, destacan también los principales importadores globales: China, Japón, Corea e India. Estos al tener una demanda energética alta y pocas o nulas reservas, se encuentran en la necesidad de desarrollar o expandir su infraestructura de GNL.

Entre los proyectos que más destacan a nivel global, se encuentra la terminal de importación de GNL de Singapur (SLNG), este proyecto se distingue por ser un centro de intercambio, es decir, el gas llega ahí para posteriormente ser distribuido a otros importadores asiáticos. Sumado a lo anterior, es uno de los puertos más importantes del mundo, lo que lo hace próximo a convertirse en el principal comercializador de GNL asiático al estar compitiendo con India.<sup>95</sup>

Sabine Pass, en Estados Unidos, es una terminal de exportación con una de las capacidades a nivel mundial más grandes (59 MTPA) y su posición geográfica, al igual que otros proyectos de Estados Unidos la hace estratégica para poder comercializar GNL hacia Europa y Asia.

Inechon LNG, terminal de importación en Corea del Norte, cuenta con una capacidad nominal de 55 MTPA, lo que la hace actualmente la terminal de regasificación más grande del mundo. Seguida de Inechon, se encuentra Pyeongtaeck LNG también en Corea del Sur con capacidad de 41 MTPA. Ambas terminales son claves para abastecer mercados clave en el mercado asiático.

Entre los proyectos a futuro que han tomado relevancia, podemos resaltar la expansión de la terminal de GNL del Campo Norte de Catar, se espera que este proyecto se convierta en el más grande a nivel global ya que se prevé que aumente la capacidad de producción de GNL en Catar aproximadamente un 50%, no obstante, producirá GNL, condensados, GLP, etano, azufre y

<sup>95</sup> (Koons, 2022)

helio, además, incluirá una planta de captura y almacenamiento de carbono para capturar las emisiones de  $CO_2$ .<sup>96</sup>

Actualmente Alemania depende mayoritariamente de las importaciones para satisfacer alrededor del 90% de su consumo de gas interno, es por ello que al querer ser autosuficiente puso en construcción la terminal de GNL de Brunsbüttel, la cual se espera que tenga una capacidad de 5 MTPA y es uno de los proyectos más relevantes de este país.<sup>97</sup>

Muchos de los proyectos que se espera estén en funcionamiento en los próximos años como el Ruwais LNG en los Emiratos Árabes Unidos (9.6 MTPA), Cedar FLNG en Canadá (3 MTPA), Genting FLNG en Indonesia (1.2 MTPA) y Marsa LNG en Omán (1 MTPA), reflejarán un cambio importante en la industria hacia una comercialización de GNL con menores emisiones. Ruwais LNG está dirigido a ser una de las terminales de exportación del Medio Oriente alimentada completamente por electricidad de la red nacional y de Marsa LNG se espera que obtenga el 100% de su energía de una granja solar.<sup>98</sup>

No obstante, Estados Unidos sigue consolidando su posición como líder en exportaciones de GNL a nivel mundial, actualmente tiene en expansión sus plantas de GNL como la de Corpus Cristi y Plaquemines, se espera que dichas ampliaciones añadan alrededor de 30 MTPA a la capacidad que ya tiene el país.<sup>99</sup>

### 4.3 México como exportador de GNL y competidores internacionales

México es uno de los países clave para convertir a América Latina y el Caribe en una importante región exportadora. Con su excelente ubicación geográfica y sus vastas reservas de gas, podría competir con los mercados globales más grandes siendo determinante para la comercialización de gas natural licuado, pero para esto, los proyectos pensados a futuro necesitan atravesar ciertas barreras para llevarse a cabo y no ser olvidados. (véase **Figura 4.4**)

Como se señaló con anterioridad, en 2024 México logró entrar a la lista de países competidores en los mercados exportadores de GNL gracias a la infraestructura de Altamira Fast LNG que se puso en operación.

Dos de los proyectos de GNL que operan actualmente ya se encuentran en expansión. Energía Costa Azul está funcionando como una terminal de importación, pero también se está convirtiendo en una terminal de exportación, tiene en pie dos fases de exportación donde una ya está en construcción y se prevé que opere en 2026 con una capacidad de 3.25 MTPA. Por otro lado, se encuentra la terminal de Altamira Fast LNG, que es una terminal flotante de exportación de gas natural licuado (FLNG) con planes de que se pueda expandir hasta 5 trenes, donde el T2 se encuentra en construcción y se espera que inicie actividades en 2026 con una capacidad de 1.4 MTPA.

---

<sup>96</sup> (GEM, 2025)

<sup>97</sup> (Koons, 2024)

<sup>98</sup> (IGU, 2025)

<sup>99</sup> (GLOBAL, 2025)

En el país se han propuesto seis proyectos: Saguario Energía LNG, Amigo LNG, Vista Pacifico LNG, Salina Cruz LNG, Gato Negro Manzanillo LNG y Coatzacoalcos LNG.

Amigo LNG es un proyecto dirigido a exportación que una vez terminado, tendrá una capacidad de 7.8 MTPA, este proyecto importará gas natural de una cuenca de Estados Unidos a través de gasoductos existentes, licuará este gas y posteriormente será enviado hacia los mercados asiáticos. Al combinar tecnología de FLNG nueva con la conversión a FSU, esta terminal podría ser una de las instalaciones más innovadoras y estratégicas a nivel mundial, suministrando GNL a Asia y América Latina, y se estima que inicie operaciones en el segundo trimestre de 2028.

Saguario Energy LNG es uno de los proyectos con una gran proyección y relevancia estratégica en el país, ya que, de lograrse, podría colocar a México como el cuarto exportador a nivel mundial. Esta terminal de licuefacción está prevista a tener una capacidad de 15-30 MTPA, conectando a los mercados energéticos más grandes en Asia con el gas de menor costo de América del Norte.

Por otro lado, Gato Negro Manzanillo LNG acaba de anunciar sus planes de expansión de la fase dos y fase tres, buscando cubrir una capacidad de producción de 9 MTPA en total, buscando iniciar operaciones en 2030.

México tiene el tercer conjunto más grande del mundo de proyectos de exportación de GNL planificados con una capacidad de exportación de 73.6 MTPA, aunque es importante mencionar que dichos proyectos exportarían gas desde la cuenca pérmica estadounidense, lo que los concede a estar sujetos a las políticas de Estados Unidos.

Pero, como ya se mencionó anteriormente, Estados Unidos es un gran productor de gas natural y debido al shale gas que produce de la Cuenca Pérmica, tiene excedentes de este hidrocarburo, por ello prefiere vender ese excedente a México para así evitar pagar sanciones al ventearlo y, además, se aprovecharía la ubicación estratégica y la infraestructura de gasoductos existentes del país para comercializar este gas a través del GNL.





**Figura 4.4 Infraestructura de GNL existente y anunciada de México hasta 2024.**

## 5 Conclusiones

A lo largo de este trabajo, en primera instancia, se estudió la cadena de valor del gas natural licuado (GNL), lo que permitió identificar que para lograr ser un país participante en este mercado es necesario invertir en infraestructura que permita comercializar este combustible y evitar la opacidad de la misma.

Además, se realizó una comparación entre diferentes países participantes en el mercado global del gas natural licuado con contrastes y similitudes a nuestro país, esto con el propósito de poder visualizar cuales son las fortalezas y debilidades que posee México como competidor internacional. Los países seleccionados fueron: Estados Unidos, China, Alemania, España, Colombia y Brasil.

Para contextualizar el potencial de México en el mercado global de GNL, es crucial establecer primero su posición actual como productor en el sector hidrocarburos y analizar lo que esto significa para su futura capacidad de exportación y seguridad energética.

**Tabla 5.1 Principales productores de crudo en 2023. (ENI, 2024)**

País	Producción de crudo en 2023 (Mbd)	Producción de crudo en 2023 (%)
1. Estados Unidos	19,443	20.12
2. Arabia Saudita	11,478	11.87
3. Rusia	10,959	11.34
4. Canadá	5,834	6.03
5. Irak	4,453	4.60
<b>14. México</b>	<b>2,103</b>	<b>2.17</b>

**Tabla 5.2 Principales productores de gas natural en 2023. (ENI, 2024)**

País	Producción de GN en 2023 (BCM)	Producción de GN en 2023 (%)
1. Estados Unidos	1,027.95	25.16
2. Rusia	624.30	15.28
3. Irán	266.04	6.51
4. China	226.15	5.53
5. Canadá	204.07	4.49
<b>17. México</b>	<b>41.42</b>	<b>1.02</b>

Históricamente México fue potencia en este sector, pero su producción ha declinado en las últimas décadas, limitando la disponibilidad de recursos internos para el desarrollo de proyectos energéticos a gran escala. En la **Tabla 5.1 y 5.2** se observa la posición que ocupa el país en cuanto a producción. Y con los datos estudiados en los capítulos 3 y 4, se subraya la necesidad de que el país reoriente su estrategia principalmente hacia el gas natural para asegurar el suministro interno aprovechando sus diversas ventajas para convertirse en un competidor internacional.

El análisis de la investigación reveló diferencias sustanciales entre los mercados estudiados, destacando a Estados Unidos como principal productor de gas natural y el mayor exportador de gas natural licuado a nivel mundial. De la comparación que se realizó en esta investigación, es el único país con la infraestructura más completa y diversa. Su ventaja competitiva radica en la integración de terminales de licuefacción y regasificación con una flota de buques que se encuentran en constante expansión.

En Latinoamérica México es un país clave en el sector al destacar principalmente por la infraestructura que posee, tan solo la red de ductos que dispone es mayor a la que tienen los países latinoamericanos, sumado que Estados Unidos es el principal proveedor de gas natural y el tenerlo cerca beneficia los precios de importación ya que estos son más bajos a comparación con el comercio hacia otros países latinos.

La investigación confirma que México posee una ventaja geográfica única y de valor estratégico en el comercio global de GNL al funcionar como un puente entre los mercados de Asia-Pacífico y el Atlántico, reduciendo los tiempos y costos de entrega, posicionándolo como un actor clave en la seguridad energética de los diferentes mercados, un factor incluso potenciado por el T-MEC.

Sin embargo, ese potencial se ve debilitado por la vulnerabilidad energética del país. La dependencia de las importaciones desde Estados Unidos y la insuficiente infraestructura, ejemplificada por los 2.4 días de almacenamiento de gas natural con los que se cuentan, exponen a la economía nacional a riesgos geopolíticos y climáticos, como sucedió con la tormenta invernal Uri en 2021, hubo congelamiento en la infraestructura de Texas y se restringieron las exportaciones de gas natural hacia México.

El análisis de la cadena de valor confirma una brecha crítica en la seguridad energética interna: la producción nacional de gas natural, es insuficiente para satisfacer la demanda de consumo actual. Esta diferencia no solo justifica la importación, sino que reafirma la urgencia de la creación de un plan que incremente la producción y desarrolle el almacenamiento.

Para eliminar esta vulnerabilidad, se requiere una estrategia de infraestructura acelerada y estructurada. Es fundamental retomar la “Política Pública en materia de Almacenamiento de Gas Natural” propuesta por la SENER en 2018 para aumentar el inventario estratégico, pero elevando la meta a un mínimo de 10 días de consumo continuo. Si bien el almacenamiento europeo es un estándar (Alemania con 89 días de inventario y España con 34.2), está impulsado por sus condiciones geopolíticas. México debe adoptar una medida similar para mitigar el riesgo de cortes por crisis o fenómenos naturales.

Finalmente, la transformación de México en el mercado de GNL requiere un pacto estratégico entre el gobierno e inversores. El impulso a la producción nacional, incluyendo el desarrollo responsable de campos, la reactivación de proyectos de GNL pospuestos y una expansión de la red de gasoductos bajo los criterios ESG (Ecológico, Social y Gobernanza) son pilares fundamentales. Solo así México podrá capitalizar su potencial exportador y simultáneamente garantizar la seguridad energética y el acceso a este combustible en todas las regiones.

México es un país con múltiples ventajas que no todos los países tienen, como se mencionó, ya se encuentran en marcha algunos proyectos, pero todavía es necesario gestionarlos con estrategia para llevar al país al siguiente nivel en el mercado internacional de gas natural licuado.

## Referencias

- Administration, I. T. (2023). *Guía comercial del país de Alemania*. Obtenido de Energía : <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/germany-energy>
- AI, S. (2025). *Plantas de licuefacción de GNL*. Obtenido de <https://www.seala.ai/analytics/liquefactionplants>
- Alvarez, M. (2023 de Enero de 2023). *Energía a debate*. Obtenido de México tiene más recursos prospectivos en yacimientos no convencionales que en convencionales.
- Anadón, E. L. (Junio de 2012). *Petrotecnia*. Obtenido de El gas natural licuado (GNL).
- API. (2022). *API STANDARDS: INTERNATIONAL USAGE AND DEPLOYMENT*. Obtenido de <https://www.api.org/-/media/apiwebsite/products-and-services/api-international-usage-and-deployment-report-2022.pdf>
- API. (2025). *API 520 Parte I, 10ª Ed.* Obtenido de <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/520parti>
- API. (2025). *API publica la primera edición de la norma para la reparación e inspección de bombas*. Obtenido de <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/rp697>
- API. (2025). *Especificación API 5L, 46.ª edición*. Obtenido de <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-5l>
- API. (2025). *ISO 6976:2016. Gas natural — Cálculo de valores caloríficos, densidad, densidad relativa e índices de Wobbe a partir de la composición*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/55842.html>
- API. (2025). *Norma API 2350, 5.ª edición*. Obtenido de <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-2350>
- API. (2025). *Norma API 521*. Obtenido de <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard521>
- API. (2025). *Norma API 650, 13.ª edición*. Obtenido de <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard650>
- ASME. (2025). *B31.3 - Tuberías de proceso*. Obtenido de <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-3-process-piping>
- ASME. (2025). *B31.8 - Sistemas de Tuberías de Distribución y Transporte de Gas*. Obtenido de <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/sistemas-de-tuberias-de-distribucion-y-transporte-de-gas-spanish-translation-of-asme-b31-8>
- ASME. (2025). *B73.1 - Especificación para bombas centrífugas de succión final horizontal para procesos químicos*. Obtenido de <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b73-1-specification-horizontal-end-suction-centrifugal-pumps-chemical-process/2020/pdf>

- ASME. (2025). *Código ASME para calderas y recipientes a presión 2025*. Obtenido de <https://www.asme.org/codes-standards/bpvc-standards/bpvc-2025>
- ASME. (2025). *PTC 10 - Compresores axiales y centrífugos*. Obtenido de <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/axial-and-centrifugal-compressors/2022/pdf>
- BANXICO. (2025). *Oferta y demanda*. Obtenido de <https://educa.banxico.org.mx/yo-y-la-economia/oferta-y-demanda/oferta-demanda.html>
- Bendjemil, M. (1986). *Liquefaction du Gaz Natural*.
- brand, K. (2025). *Marine Traffic*. Obtenido de <https://www.marinetraffic.com/es/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4>
- CET. (2024). *China Energy Transformation Program*. Obtenido de Summary of China's energy and power sector statistics in 2024: <https://www.cet.energy/2025/03/13/summary-of-chinas-energy-and-power-sector-statistics-in-2024/>
- CNH. (2018). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de EL SECTOR DEL GAS NATURAL: ALGUNAS PROPUESTAS PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA NACIONAL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/391881/Documento\\_Tecnico\\_GasNatural\\_CNH2018\\_\\_1\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/391881/Documento_Tecnico_GasNatural_CNH2018__1_.pdf)
- CNH. (2022). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de Retos y Oportunidades de la Producción de Petróleo y Gas Natural de Yacimientos No Convencionales en México: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/766408/Retos-Oportunidades-YNC-2022.pdf>
- CNH. (2022). *Retos y Oportunidades de la Producción de Petróleo y Gas Natural de Yacimientos No Convencionales en México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/766408/Retos-Oportunidades-YNC-2022.pdf>
- CONAHCYT. (2024). *Reservas de gas en México*. Obtenido de <https://energia.conacyt.mx/planeas/hidrocarburos/reservas-gas>
- CONUEE. (2024). *Derivados del Petróleo. Gas Natural Licuado*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/244753/GNL.pdf>
- Craide, S. (Julio de 2024). *Brasil logra crecimiento récord del 18,7% en generación de energía*. Obtenido de [https://agenciabrasil.ebc.com.br/es/economia/noticia/2024-07/brasil-logra-crecimiento-record-del-187-en-generacion-de-energia#:~:text=Las%20principales%20fuentes%20renovables%20en,carb%C3%B3n%20\(1%2C7%25\)](https://agenciabrasil.ebc.com.br/es/economia/noticia/2024-07/brasil-logra-crecimiento-record-del-187-en-generacion-de-energia#:~:text=Las%20principales%20fuentes%20renovables%20en,carb%C3%B3n%20(1%2C7%25).).
- Cruz, K. (2024). *Gas Natural de pozo petrolero*. Obtenido de <https://www.goconqr.com/diapositiva/12640751/gas-natural-de-pozo-petrolero>
- Cuevas, J. (16 de septiembre de 2025). *El Orden Mundial*. Obtenido de ¿Qué son los BRICS?: <https://elordenmundial.com/que-son-brics/>

- Dale, S. (2024). *bp Energy Outlook*. *bp Energy Outlook 2024 edition*, 40-44. Obtenido de Energy demand.
- Data, G. (Agosto de 2024). *Global Data*. Obtenido de México: [https://timetric-reports.s3.amazonaws.com/7qhmbjg9kd86epf0sfdmrksp0r-GDPE2348ICR\\_SP.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIARUZG2FZCA7KVILVB%2F20250707%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20250707T034051Z&X-Amz-Expires=900&X-Amz-S](https://timetric-reports.s3.amazonaws.com/7qhmbjg9kd86epf0sfdmrksp0r-GDPE2348ICR_SP.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIARUZG2FZCA7KVILVB%2F20250707%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20250707T034051Z&X-Amz-Expires=900&X-Amz-S)
- DNV. (2024). *Energy Transition Outlook 2024*.
- DNV. (2024). *Energy Transition Outlook España 2024*. Obtenido de <https://cdn.elperiodicodelaenergia.com/2024/12/674ecc400bbce05e3b4ca0c2.pdf>
- DOF. (20 de Febrero de 2014). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-137-SEMARNAT-2013, Contaminación atmosférica.: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/5793/1/nom-137-semarnat-2013.pdf>
- DOF. (2016). *ACUERDO por el que la Comisión Reguladora de Energía expide la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos*. Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016#gsc.tab=0)
- DOF. (2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ASEA-2024, Transporte de gas natural por medio de ductos terrestres*. Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/9516/semarnat/semarnat.html>
- DOF. (25 de enero de 2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ASEA-2017, Administración de la integridad de ductos de recolección*,. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/492668/2.\\_NORMAS\\_OFICIALES\\_MEXICANAS\\_NOM-009-ASEA-2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/492668/2._NORMAS_OFICIALES_MEXICANAS_NOM-009-ASEA-2017.pdf)
- DOF. (2025). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SECRE-2010, Instalaciones de aprovechamiento de gas natural (cancela y sustituye a la NOM-002-SECRE-2003, Instalaciones de aprovechamiento de gas natural).: <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4290/sener/sener.htm>
- DOF. (2025). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de ACUERDO por el que la Comisión Reguladora de Energía ordena la publicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SECRE-2011, Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos.: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5298751](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5298751)
- DOF. (2025). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-005-ASEA-2017, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial del Sector Hidrocarburos y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; : [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=3D5502996%26fecha%3D31/10/2017#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=3D5502996%26fecha%3D31/10/2017#gsc.tab=0)
- DOF. (2025). *Diario Oficial de la Federación* . Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SECRE-2010, Especificaciones del gas natural (cancela y sustituye a la NOM-001-SECRE-2003, Calidad

- del gas natural y la NOM-EM-002-SECRE-2009, Calidad del gas natural durante el periodo de emergencia severa).: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3997/sener/sener.htm>
- DOF. (2025). *NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SESH/SCFI-2010, Recipientes transportables para contener Gas L.P. Especificaciones de fabricación, materiales y métodos de prueba*. Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4242/sener/sener.htm>
- DOF. (2025). *NORMA Oficial Mexicana NOM-013-ASEA-2021, Instalaciones de Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado*. Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5636594](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5636594)
- DOF. (2025). *NORMA Oficial Mexicana NOM-013-SECRE-2012, Requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de terminales de almacenamiento de gas natural licuado*. Obtenido de [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5315762#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20\(NOM,y%20entrega%20de%20gas%20natural](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5315762#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20(NOM,y%20entrega%20de%20gas%20natural).
- EIA. (Abril de 2011). *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*. Obtenido de <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/archive/2011/pdf/fullreport.pdf>
- EIA. (2 de Enero de 2014). *Los recursos de petróleo y gas de esquisto son abundantes a nivel mundial*. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=14431>
- EIA. (2023). *Energy Information Administration*. Obtenido de U.S. energy facts explained: <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- EIA, U. (Abril de 2011). *Energy Information Administration*. Obtenido de World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/archive/2011/pdf/fullreport.pdf>
- EMBER. (2024). *EMBER*. Obtenido de Informe mundial sobre electricidad en 2024: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2024/major-countries-and-regions/#united-states>
- EMBER. (2025). *EMBER*. Obtenido de Informe mundial sobre electricidad 2024: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2024/major-countries-and-regions/>
- Enagás. (2024). *Informe Anual*. Obtenido de <https://www.enagas.es/content/dam/enagas/es/ficheros/sala-de-comunicacion/publicaciones/informe-anual/Informe-Anual-2024-Enagas.pdf>
- Energía. (2024). *Transición Energética Justa*. Obtenido de [https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja\\_de\\_ruta\\_transicion\\_energetica\\_justa\\_TEJ\\_2025.pdf](https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja_de_ruta_transicion_energetica_justa_TEJ_2025.pdf)
- Energy, U. D. (2025). *Liquefied Natural Gas (LNG)*. Obtenido de <https://www.energy.gov/fecm/liquefied-natural-gas-Ing>

- ENI. (2024). *World Energy Review 2024*. Obtenido de <https://www.eni.com/content/dam/enicom/documents/eng/visione/wer/2024/World-Energy-Review-2024.pdf>
- ENI. (2025). *World Energy Review - Gas Natural*. Obtenido de <https://www.eni.com/content/dam/enicom/documents/eng/visione/wer/2025/WER-2025-Natural-Gas.pdf>
- España, G. d. (2025). *Gas Natural y Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/gas/gas.html>
- Franco, A. E. (1972). *UNAM*. Obtenido de Transporte Terrestre de Gas Natural Licuado: <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/pmig2020/0129766/Index.html>
- GEM. (Octubre de 2024). *GNL 2024: Edición América Latina y el Caribe*. Obtenido de [https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2024/10/GEM-Latam-LNG-brief-Oct-2024\\_Spanish.pdf](https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2024/10/GEM-Latam-LNG-brief-Oct-2024_Spanish.pdf)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL de Altamira: [https://www.gem.wiki/Altamira\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Altamira_LNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL de Manzanillo (México): [https://www.gem.wiki/Manzanillo\\_\(Mexico\)\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Manzanillo_(Mexico)_LNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL de Sabine Pass: [https://www.gem.wiki/Sabine\\_Pass\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Sabine_Pass_LNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL del Campo Norte de Qatar: [https://www.gem.wiki/Qatar\\_North\\_Field\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Qatar_North_Field_LNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Nueva terminal FLNG Fortress Altamira: [https://www.gem.wiki/New\\_Fortress\\_Altamira\\_FLNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/New_Fortress_Altamira_FLNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL de Costa Azul: [https://www.gem.wiki/Costa\\_Azul\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Costa_Azul_LNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL AMIGO: [https://www.gem.wiki/AMIGO\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/AMIGO_LNG_Terminal)
- GEM. (2025). *Global Energy Monitor*. Obtenido de Terminal de GNL de Saguaro Energía: [https://www.gem.wiki/Saguaro\\_Energ%C3%ADa\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Saguaro_Energ%C3%ADa_LNG_Terminal)
- GIIGNL. (2024). *GIIGNL Annual Report* .
- GLOBAL, G. (7 de Enero de 2025). *10 Tendencias Clave del Mercado de GNL a Nivel Mundial para 2025*. Obtenido de <https://gnlglobal.com/10-tendencias-clave-del-mercado-de-gnl-a-nivel-mundial-para-2025/>
- GLOBAL, G. (25 de Agosto de 2025). *AMIGO LNG adjudica contrato EPC histórico a Drydocks World, con sede en Dubái, para la instalación de GNL flotante más grande del mundo*. Obtenido de <https://gnlglobal.com/amigo-lng-adjudica-contrato-epc-historico-a-drydocks-world/>



- GlobalSpec. (2025). *Biblioteca de Normas*. Obtenido de Instituto Americano del Petróleo (API). Norma API 2610.: <https://standards.globalspec.com/std/13051821/api-std-2610>
- GNU. (2025). *Gas natural sostenible: cómo reduce la huella de carbono*. Obtenido de <https://www.gasnaturalgnu.com/gas-natural-sostenible-como-reduce-la-huella-de-carbono/>
- HAM. (19 de Noviembre de 2024). *QUÉ ES EL GNL*. Obtenido de <https://ham.es/que-es-el-gnl/>
- IEA. (2024). *International Energy Agency*. Obtenido de Latin America Energy Outlook. Visión general: México: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7edeedcf-4d46-4f67-9f5f-693dcfbabeb5/MexicoenergyprofileESP.pdf>
- IEA. (Septiembre de 2024). *Ukraine's Energy Security and the Coming Winter* . Obtenido de An energy action plan for Ukraine and its partners: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cec49dc2-7d04-442f-92aa-54c18e6f51d6/UkrainesEnergySecurityandtheComingWinter.pdf>
- IEA. (2025). *International Energy Agency*. Obtenido de Global Energy Review: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5b169aa1-bc88-4c96-b828-aaa50406ba80/GlobalEnergyReview2025.pdf>
- IGU. (2024). *2024 WORLD LNG REPORT*. Obtenido de [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2024/06/IGU-2024-LNG-Report\\_Final\\_LR\\_2024\\_06.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2024/06/IGU-2024-LNG-Report_Final_LR_2024_06.pdf)
- IGU. (2025). *IGU World LNG Report 2025*. Obtenido de [https://www.datocms-assets.com/146580/1749457104-igu-world-lng-report-2025-hr\\_dp.pdf](https://www.datocms-assets.com/146580/1749457104-igu-world-lng-report-2025-hr_dp.pdf)
- IMCO. (29 de Diciembre de 2022). *ALMACENAMIENTO DE GAS NATURAL PARA LA SEGURIDAD ENERGÉTICA*. Obtenido de [https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2022/11/Infraestructura-de-almacenamiento-de-gas-natural\\_Documento-2022.pdf](https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2022/11/Infraestructura-de-almacenamiento-de-gas-natural_Documento-2022.pdf)
- IMCO. (2024). *Gas natural: aliado de la transición energética y promotor de desarrollo y prosperidad*. Obtenido de [https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2024/12/AMGN\\_Investigacion\\_20241211.pdf](https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2024/12/AMGN_Investigacion_20241211.pdf)
- IMO. (2025). *Código de prácticas OMI/OIT/CEPE para el embalaje de unidades de transporte de carga (Código CTU)*. Obtenido de <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/ctu-code.aspx>
- IMO. (2025). *International Maritime Organization*. Obtenido de Convenio internacional para la seguridad de la vida en el mar (SOLAS), 1974: [https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\)-1974.aspx](https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas)-1974.aspx)
- IMO. (2025). *International Maritime Organization* . Obtenido de IGC Code: <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/igc-code.aspx>
- IMP. (2015). *Biblioteca Visual del Petróleo*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/123944/Biblioteca\\_Visual\\_del\\_Petr\\_leo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/123944/Biblioteca_Visual_del_Petr_leo.pdf)
- INOXCVA. (2025). *¿Qué es un tanque de almacenamiento de GNL y para qué se utiliza?* Obtenido de <https://inoxcva.com/blog/what-is-an-lng-storage-tank-and-what-is-it-used-for/>

- Institute, E. (2024). Natural Gas. *Statcal Review of World Energy* , 36-42.
- Institute, E. (2024). *Statcal Review of World Energy*. Obtenido de <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- Institute, E. (2025). *Statcal Review of World Energy*. Obtenido de <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- ISO. (2017). *International Standard*. Obtenido de ISO 20519. Ships and marine technology — Specification for bunkering of liquefied natural gas fuelled vessels: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/68227/29aace1e17b745dca19b7231fdd7b051/ISO-20519-2017.pdf>
- ISO. (2025). *ISO 14001:2015(es). Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- ISO. (2025). *ISO 16903:2015. Industrias del petróleo y el gas natural: Características del GNL que influyen en el diseño y la selección de materiales*,. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/57891.html>
- ISO. (2025). *ISO 16903:2015. Petroleum and natural gas industries — Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection*. Obtenido de <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/05/78/57891.html>
- ISO. (2025). *ISO 28460:2010. Industrias del petróleo y del gas natural — Instalación y equipos para gas natural licuado — Interfaz buque-tierra y operaciones portuarias*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/44712.html>
- ISO. (2025). *ISO 8943:2025. Refrigerated light hydrocarbon fluids — Sampling of liquefied natural gas — Continuous and intermittent methods*. Obtenido de <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/44/84462.html>
- ISO. (2025). *ISO/TS 16901:2022. Orientación sobre la realización de evaluaciones de riesgos en el diseño de instalaciones de GNL en tierra, incluida la interfaz buque-costa*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/83773.html>
- Kerstine Appunn, Y. H. (2024). *Clean Energy Wire*. Obtenido de El consumo energético y la combinación energética de Alemania en gráficos: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>
- Koons, E. (23 de Marzo de 2022). *Energy Tracker Asia*. Obtenido de Centro de GNL de Singapur para Asia: ¿Cuáles son los planes?: <https://energytracker.asia/singapore-lng-hub-for-asia-what-are-the-plans/>
- Koons, E. (11 de junio de 2024). *Energy Tracker Asia*. Obtenido de 5 proyectos globales de GNL para 2024: <https://energytracker.asia/5-major-lng-projects-to-keep-an-eye-on-in-2022/>
- Lara, M. (2024). *BBVA*. Obtenido de EEUU ¿Habrà cambios en la matriz energética tras el triunfo de Trump?: <https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2024/11/2024-11-14-Analisis-consumo-energetico-EEUU.pdf>

- Leiva, R. L. (2009). *Universidad Austral de Chile*. Obtenido de GAS NATURAL: USO, TRANSPORTE Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS: [http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcia958g/doc/capitulos/cap\\_3.pdf](http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcia958g/doc/capitulos/cap_3.pdf)
- LNG, E. (2024). *Terminal de Recepción, Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado (GNL) Energía Costa Azul*. Obtenido de [https://energiacostaazul.com.mx/wp-content/uploads/2024/09/ECA-DgE5\\_Booklet\\_Espanol.pdf](https://energiacostaazul.com.mx/wp-content/uploads/2024/09/ECA-DgE5_Booklet_Espanol.pdf)
- LNGPrime. (2024). *LNGPrime The World's Premier LNG Platform*. Obtenido de VesselsValue: Japón sigue siendo el principal propietario de buques de GNL: <https://lngprime.com/asia/vesselsvalue-japan-remains-top-lng-carrier-owner/105907/>
- LOGISTICS, A. (18 de Diciembre de 2023). *Gas Natural Licuado: Qué es, beneficios y diferencias con Gas Natural*. Obtenido de <https://acrosslogistics.com/blog/gas-natural-licuado-gnl#:~:text=Menor%20impacto%20ambiental%3A%20Al%20quemarse,opci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20limpia%20y%20sostenible.>
- Mariusz Giernalczyk, P. T. (2009). NEW GENERATION OF LNG RV GAS CARRIERS . *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 141-146. Obtenido de NEW GENERATION OF LNG RV GAS CARRIERS.
- México, G. d. (2024). *Código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semar%7Cunicapam/acciones-y-programas/codigo-internacional-de-seguridad-para-los-buques-que-utilicen-gases-u-otros-combustibles-de-bajo-punto-de-inflamacion>
- México, G. d. (2024). *DATA MÉXICO*. Obtenido de Gas Natural Licuado: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/liquefied-natural-gas#intercambio-comercial>
- Monitor, G. E. (2025). *Global Gas Infrastructure Tracker*. Obtenido de <https://globalenergymonitor.org/projects/global-gas-infrastructure-tracker/tracker/>
- Monrroy, R. N. (2025). *SCRIBD*. Obtenido de Comparativo ASME Sección I, IV y VIII: <https://es.scribd.com/doc/260281472/Comparativo-ASME-Seccion-I-IV-y-VIII>
- nationalgrid. (2024). *¿Qué es el gas natural licuado?* Obtenido de <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-liquefied-natural-gas-Ing>
- NFPA. (2025). *NFPA 59A, Norma para la Producción, Almacenamiento y Manipulación del Gas Natural Licuado (GNL)*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-59a-standard-development/59a>
- NGI. (2025). *Natural Gas Intelligence*. Obtenido de Glosario de gas natural: <https://naturalgasintel.com/glossary/liquefaction-train/>
- NU. (2024). *Naciones Unidas*. Obtenido de Llegar a las emisiones netas cero: el mundo se compromete a tomar medidas: <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>

- Ocampo, D. D. (30 de 08 de 2022). *GAS NATURAL PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y COMPETITIVIDAD DE MÉXICO*. Obtenido de INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD, A.C.:  
<https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2022/08/Gas-Natural-Competitivo-en-Mexico.pdf>
- OLADE. (2024). *OLADE*. Obtenido de Panorama energético de America Latina y el Caribe:  
<https://www.olade.org/wp-content/uploads/2025/02/PANORAMA-ENERGETICO-ALC-2024.pdf>
- ONU. (12 de Enero de 2023). *ONU programa para el medio ambiente*. Obtenido de ¿Es el gas natural el combustible de transición que el mundo necesita?: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/es-el-gas-natural-el-combustible-de-transicion-que-el-mundo>
- Pacific, M. (2025). *Saguaro Energía LNG*. Obtenido de <https://mexicopacific.com/esp/saguaro-energia/>
- Palomares, I. V. (2024). *Normas y criterios para el almacenaje de gas natural*. Obtenido de <https://www.ensenada.tecnm.mx/wp-content/uploads/2024/06/ISAAC-VIZCARRA.pdf>
- Pelino, V. (s.f.). *ResearchGate*. Obtenido de Reservas mundiales de gas natural:  
[https://www.researchgate.net/figure/Figura-17-Mapa-de-las-reservas-mundiales-de-gas-actualizadas-al-2010-Al-lado-un\\_fig15\\_308647619](https://www.researchgate.net/figure/Figura-17-Mapa-de-las-reservas-mundiales-de-gas-actualizadas-al-2010-Al-lado-un_fig15_308647619)
- PEMEX. (2024). *Anuario Estadístico*. Obtenido de <https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%20Estad%20C3%ADstico%202024.pdf>
- PEMEX. (5 de Agosto de 2025). *Pemex: Plan Estratégico 2025 - 2035*. Obtenido de <https://www.pemex.com/acerca/planestrategico/Paginas/default.aspx>
- PEMEX. (5 de agosto de 2025). *Pemex: Plan Estratégico 2025 - 2035*. Obtenido de [https://www.pemex.com/saladeprensa/discursos/Documents/Sener\\_Pemex\\_Plan\\_estrategico\\_5agosto2025\\_presentacion.pdf](https://www.pemex.com/saladeprensa/discursos/Documents/Sener_Pemex_Plan_estrategico_5agosto2025_presentacion.pdf)
- PEMEX. (2025). *Resultados al primer trimestre 2025*. Obtenido de <https://www.pemex.com/ri/finanzas/Reporte%20de%20Resultados%20no%20Dictaminados/Reporte%201T25.pdf>
- Petróleo, I. M. (2015). *Biblioteca Visual del Petróleo*. Obtenido de Sistema Petrolero:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/123944/Biblioteca\\_Visual\\_del\\_Petr\\_leo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/123944/Biblioteca_Visual_del_Petr_leo.pdf)
- Radka, M. (12 de Enero de 2023). ¿Es el gas natural el combustible de transición que el mundo necesita? (ONU, Entrevistador)
- RAE. (19 de noviembre de 2024). *Diccionario panhispánico*. Obtenido de <https://www.rae.es/dpd/fueloil>
- Review, W. P. (2024). *World Population Review*. Obtenido de Gas natural por país :  
<https://worldpopulationreview.com/country-rankings/natural-gas-by-country>
- Rodriguez, H. M. (24 de enero de 2023). México tiene más recursos prospectivos en yacimientos no convencionales que en convencionales. (M. Alavez, Entrevistador)

- Saeid Mokhatab, J. Y. (15 de octubre de 2013). *Handbook of Liquefied Natural Gas*. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?id=nQswAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Saeid Mokhatab, J. Y. (2014). *Handbook of Liquefied Natural Gas*. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?id=nQswAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- SDC. (2025). *Normas DNV*. Obtenido de <https://sdcoverifier.com/engineering-standards/dnv-standards/>
- SEMAR. (12 de febrero de 2024). *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semar/unicapam/acciones-y-programas/convenio-internacional-para-prevenir-la-contaminacion-por-los-buques-1973-modificado-por-el-protocolo-de-1978>
- SENER. (10 de Julio de 2015). *¿Qué es el Gas Natural?* Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/articulos/que-es-el-gas-natural-9649>
- SENER. (2015). *GLOSARIO DE TERMINOS PETROLEROS*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/8317/GLOSARIO\\_DE\\_TERMINOS\\_PETROLEROS\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/8317/GLOSARIO_DE_TERMINOS_PETROLEROS_2015.pdf)
- SENER. (28 de Marzo de 2018). *Publica SENER la “Política Pública en materia de Almacenamiento de Gas Natural”*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/prensa/publica-sener-la-politica-publica-en-materia-de-almacenamiento-de-gas-natural?idiom=es>
- SENER. (2023). *Balance Nacional de Energía*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/977268/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2023.FINAL06.02.2025.1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/977268/Balance_Nacional_de_Energ_a_2023.FINAL06.02.2025.1.pdf)
- SENER. (Marzo de 2024). *PRONTUARIO ESTADÍSTICO*. Obtenido de [https://base.energia.gob.mx/dgaic/DA/P/SubsecretariaHidrocarburos/ProntuarioDeGasNaturalPetroquimicos/SENER\\_02\\_ProntuarioGNP\\_MAR24.pdf](https://base.energia.gob.mx/dgaic/DA/P/SubsecretariaHidrocarburos/ProntuarioDeGasNaturalPetroquimicos/SENER_02_ProntuarioGNP_MAR24.pdf)
- SENER. (2025). *Mapa de hidrocarburos*. Obtenido de <https://mapa-hidrocarburos.energia.gob.mx/>
- SENER. (Junio de 2025). *Prontuario Estadístico*. Obtenido de [https://estadisticashidrocarburos.energia.gob.mx/Doc/Prontuario\\_Actual\\_GnGlpPqs.pdf](https://estadisticashidrocarburos.energia.gob.mx/Doc/Prontuario_Actual_GnGlpPqs.pdf)
- SETI. (2024). *¿Qué es el GNL?* Obtenido de <https://seti-equipos.com/que-es-el-gnl/>
- Snijder, R. (Mayo de 2008). *El futuro del gas y el papel del Gas Natural Licuado (GNL): implicaciones económicas y geopolíticas*. Madrid, España.
- SPE. (Junio de 2018). *Sistema de Gerencia de los Recursos de Petróleo*. Obtenido de [https://www.spe.org/media/filer\\_public/a1/f2/a1f29a2d-f0b9-4872-8648-ffa055af93f3/2018\\_sistema\\_de\\_gerencia\\_de\\_los\\_recursos\\_de\\_petroleo\\_-\\_traduccion\\_en\\_espanol\\_-\\_vf.pdf?\\_gl=1\\*11kv447\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_gs\\*MQ..&gclid=Cj0KCCQjwxL7GBhDXARIsAGOCmIMkBGvEctH1c1xQwXy5xILg](https://www.spe.org/media/filer_public/a1/f2/a1f29a2d-f0b9-4872-8648-ffa055af93f3/2018_sistema_de_gerencia_de_los_recursos_de_petroleo_-_traduccion_en_espanol_-_vf.pdf?_gl=1*11kv447*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=Cj0KCCQjwxL7GBhDXARIsAGOCmIMkBGvEctH1c1xQwXy5xILg)

Talks, N. E. (20 de Marzo de 2024). *Gas Natural y su papel en la Transición Energética*. Obtenido de Desafíos y Oportunidades en la Transición Energética: El papel del Gas Natural en México: [https://www.youtube.com/watch?v=eVZle\\_1jZKI&t=100s](https://www.youtube.com/watch?v=eVZle_1jZKI&t=100s)

TotalEnergies. (20 de Febrero de 2024). *¿Cómo se extrae el gas natural que luego se suministra?* Obtenido de <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/como-se-extrae-gas-natural>

Velásquez, S. S. (2019). Análisis de la matriz energética sudamericana y boliviana. *MATRIZ ENERGÉTICA*, 3-6.

World, T. L. (30 de Julio de 2024). *The Logistics World*. Obtenido de El uso de gas natural en la industria: Eficiencia energética y sostenibilidad en México: <https://thelogisticsworld.com/actualidad-logistica/el-uso-de-gas-natural-en-la-industria-eficiencia-energetica-y-sostenibilidad-en-mexico/>

*AD ASTRA PER ASPERA*