

**REGASIFICACION DE GAS NATURAL LICUADO A GAS NATURAL GASEOSO, COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA ESCASEZ DE PRODUCCION Y ABASTECIMIENTO
EN COLOMBIA.**

Elaborado por:

Jonathan Jahir Gómez Gaviria
Jorge Luis Ramírez Morales
Jhon Alexander Hernández López

Universidad EAN
Facultad de
Ingeniería
Especialización Gerencia de Proyectos
Seminario de Investigación

Bogotá. D.C.,
Colombia
junio de 2023

Índice de figuras

Figura 1. Reservas Probadas de gas.....	14
Figura 2. Funcionamiento del vaporizador de rejilla abierta.....	21
Figura 3. Vaporizador de rejilla abierta.....	22
Figura 4. Vaporizador de combustión sumergida.....	23
Figura 5. Funcionamiento del Vaporizador de combustión sumergida.....	23
Figura 6. Comparación de emisiones por tipo de recurso (Rico, 2016).....	37
Figura 7. Principales países de exportación de GNL (elaboración Propia)	38
Figura 8. Costos de Construcción en dólares	41
Figura 9. Costos de producción y operación en dólares	42
Figura 10. Rentabilidad (TIR)	42

Índice de tablas

<u>Tabla 1. Porcentaje de elementos en la composición de Gas Natural</u>	<u>12</u>
<u>Tabla 2. Definición de variables.....</u>	<u>25</u>
<u>Tabla 3. Parámetros para la evaluación de los impactos.....</u>	<u>32</u>
<u>Tabla 4. Evaluación de impactos ambientales en la construcción de una planta regasificadora....</u>	<u>36</u>
<u>Tabla 5. Comparativa de las emisiones en Libras por 109 Btu</u>	<u>36</u>
<u>Tabla 6. Principales países de exportación de GNL</u>	<u>37</u>
<u>Tabla 7. Costos de transporte por fuente de suministro de GNL a Cartagena</u>	<u>39</u>
<u>Tabla 8. Tabla Matriz De Decisiones</u>	<u>40</u>

Resumen

El uso excesivo de gas ha generado un desabastecimiento global, el aumento del consumo por parte de plantas de generación térmicas, vehículos, hogares e industrias, ha llevado a que las reservas comprobadas de gas en Colombia se proyecten solo hasta 2025. Como alternativa países de todo el mundo han venido utilizando la licuefacción de gas para que ese sea utilizado por todos los sectores, este es menos contaminante de partículas de CO₂, el volumen que ocupa es menor lo cual facilita su transporte, este puede ser de forma marítima en buques o por camiones adecuados para su transporte. A nivel mundial EEUU es potencia mundial en la exportación de GNL y da las pautas para el valor por galón de GNL transportado, para Colombia países como Perú, Trinidad y Tobago son las opciones cercanas que más se ajustan dado a la cercanía al país.

Introducción

El desabastecimiento de gas natural en Colombia debido a su alto consumo en diferentes sectores económicos del país, como la generación de energía eléctrica, el consumo residencial e industrial, vehicular, etc que ha llevado que las reservas probadas de gas en el país se consideren solo hasta el 2024 teniendo en cuenta esto y la necesidad de suplir el consumo del país se contemplan diferentes alternativas y con el crecimiento del mercado del Gas Natural Licuado en Sur América y el mundo entero, ha llevado al país a plantearse el hecho de importar GNL y transformarlo para que este pueda ser parte de la matriz energética del país. Para esto se debe invertir en plantas regasificadora, estas transforman el gas líquido nueva mente a su estado gaseoso para su consumo, dado que actualmente no hay como aprovechar el poder calorífico del gas en estado líquido. Esto ha llevado a realizar diferentes estudios donde se comparan plantas ya formadas en diferentes países del mundo, su transporte, mantenimiento y operación.

Para el análisis se tienen en cuenta factores económicos, ambientales y sociales, dado que estas plantas pueden generar impactos en cada uno de sus procesos, desde la extracción del gas, su licuefacción, transporte y posterior regasificación donde se presentan procesos de combustión, uso de agua de mar, transporte de buques que pueden genera un impacto por emisiones como visual en el caso de plantas regasificadora que se manejan en las costas, afectando la fauna y flora ya que hace dentro de sus procesos se utiliza el agua del mar en el proceso de regasificación.

La tecnología prometedora en el proceso de regasificación es el vaporizador usando intercambiador de calor con agua de mar para la importación y utilización de gas natural licuado

(GNL) , a través de este método, el agua de mar se utiliza para calentar y vaporizar el GNL, convirtiéndolo de nuevo en gas natural y haciéndolo apto para su transporte y distribución.

La principal ventaja de esta tecnología es su eficiencia energética. Al utilizar el agua de mar como fuente de calor, se evita la necesidad de quemar combustibles adicionales para calentar el GNL. Esto reduce el consumo de energía y los costos operativos asociados. Además, al aprovechar el agua de mar, se minimiza el impacto ambiental en comparación con otras formas de regasificación.

Problema de Investigación

Antecedentes del Problema

El gas combustible en Colombia tiene sus inicios desde los años cincuenta cuando era utilizado principalmente como un subproducto en la extracción del petróleo, es hasta la década del sesenta que viene a considerarse como un recurso económico y usado en la industria. Para 1973 el momento en que se descubren reservas de gas natural en La Guajira mediante la perforación de los pozos Ballena-1 y Chuchupa-1 (Bendeck Olivella, 1987) se considera como una nueva alternativa para satisfacer las necesidades energéticas del país en los sectores residenciales e industriales.

Posteriormente, para los años 80 se crea el programa de Gas para el Cambio (UPME, 1999) con el que se logró llevar el servicio a más de 85.000 usuarios en el país, sin embargo, al no ser una política del orden nacional se creó el programa para la masificación del Consumo del Gas (Departamento Nacional de Planeación, 1991) para ampliar la cobertura en el territorio nacional.

Desde la entrada en vigencia de la Ley 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, en su artículo 14.28 se incorporó el gas natural como un servicio público domiciliario definiéndolo como “el conjunto de actividades ordenadas a la distribución de gas combustible, por tubería u otro medio, desde un sitio de acopio de grandes volúmenes o desde un gasoducto central hasta la instalación de un consumidor final, incluyendo su conexión y medición. También se aplica esta Ley a las actividades complementarias de comercialización desde la producción y transporte de gas por un gasoducto principal, o por otros medios, desde el sitio de generación hasta aquel en donde se

conecte a una red secundaria” (Ley 142 de 1994, Artículo 14.28).

Dentro de esta misma Ley, se definen los lineamientos para la prestación del servicio público domiciliario y la creación de un ente regulador de servicios de la energía eléctrica y gas natural, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG); sin embargo, no se contempló la actividad de producción para ser sometida a esta legislación y al no considerarse un servicio público, se rige por las normas establecidas para la exploración y explotación de hidrocarburos.

Posteriormente, con el fin de promover el aseguramiento del abastecimiento nacional de gas natural y definir la comercialización del mismo, el Ministerio de Minas y Energía expide el Decreto 2100 de 2011, el cual contemplaba las necesidades del mercado sectorial de la época.

Descripción del Problema

Los constantes cambios del mercado y el acelerado crecimiento de los usuarios del gas combustible, a los que además del gas domiciliario se suman los sectores de la refinería, transporte e industria, han ocasionado un incremento en el consumo del gas natural desde el año 2009 al año 2013, siendo del 20% para el sector regulado pasando de un promedio de 179.40 GBTUD en 2009 a 214.71 GBTUD en 2013, y del 18% para el sector no regulado el cual pasó de 694.87 GBTUD en 2009 a 823.33 GBTUD en el 2013 (Concentra, 2014).

Incluso, si se tiene en cuenta que entre los años 2018 a 2021 el consumo de gas natural aumentó en un 5,5% pasando de 232,1 Petajulios de consumo para 2018 a 235,2 Petajulios para 2021 (UMPE BECO, 2022), la poca oferta y reserva de gas natural que se tiene en Colombia para satisfacer la demanda, puede llevar a que se presente una recesión del gas

combustible afectando hasta a los hogares, esto conforme a lo informado por la Unidad de Planeación Minero Energética donde se refiere que en el año 2010 había una reserva de 7058 GPC y al año 2018 disminuyó en 4961 GPC (UPME, 2020) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos en su Informe de Reservas de Hidrocarburos del País, donde señaló que se tienen como reservas probadas para 2021 3165 GPC. (ANH, 2021).

De igual manera, la incertidumbre en que se encuentra el país sobre las reservas para el abastecimiento de gas natural, pues dentro de las políticas minero-energéticas Colombianas el Gobierno aún no decide si procederá a firmar contratos de exploración y explotación gasífera, manteniéndose en la posición de respetar la soberanía energética del país, señalando que es capaz de producir su propio gas sin necesidad de recurrir a la importación desde otros países como Venezuela. Sin embargo, las manifestaciones hechas por los representantes del Gobierno no son claras, pues si bien señalan que las reservas son hasta 2032 el informe se llevó a cabo con base en las reservas probadas, posibles y probables, máxime cuando se tiene la certeza que el país cuenta con reservas certificadas de gas para 8 años (EL COLOMBIANO, 2023).

Pregunta de investigación

¿Es la regasificación de gas natural licuado a gas natural gaseoso la alternativa tecnológica más adecuada técnica y económicamente, para suplir la escasez de producción y abastecimiento en Colombia del gas combustible?

Objetivo general

Analizar la viabilidad, eficacia y sustentabilidad de la transformación de gas natural licuado en gas natural gaseoso en Colombia, mediante la clasificación de factores económicos, tecnológicos y ambientales.

Objetivos específicos

- Identificar aspectos ambientales que influyan en la implementación del proyecto de regasificación.
- Analizar los procesos de adquisición, transporte de gas natural licuado y la transformación a gas natural gaseoso
- Evaluar los factores financieros que intervienen en el proceso de regasificación.

Por medio de este proyecto se quiere dar a conocer una posible solución a la importancia de las necesidades y desafíos energéticos de Colombia, pues existe una gran dependencia del gas como fuentes de energía, en este contexto, la regasificación se presenta como una alternativa beneficiosa para el País, como apoyo a las reservas con las que se

cuentan; si bien es cierto que Colombia ha pasado por fluctuaciones en la producción de gas natural en los últimos años, esto no significa que el recurso esté en decadencia, de hecho, Colombia cuenta con reservas de gas natural significativas, 3.164 gigas pies cúbicos, donde se garantiza un panorama cubierto entre seis a ocho años, según el informe de reservas de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) del 2021; adicionalmente se busca la posibilidad de diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo y el carbón. Ya que el gas natural es una de las fuentes de energía más limpia y eficiente, podría tener un impacto positivo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire.

Otra razón importante para considerar la regasificación es la mejora de la seguridad energética del país. La dependencia del petróleo y el carbón hace que Colombia pueda ser vulnerable a los cambios en los precios de estos combustibles, generando posibles consecuencias negativas en la economía. La diversificación de la matriz energética a través de la regasificación podría reducir esta vulnerabilidad y mejorar la estabilidad energética del país. además, la regasificación podría tener un impacto positivo a largo plazo en el crecimiento económico del país, a través de la creación de empleos y la inversión en infraestructura para su construcción y operación.

Como profesionales de ingeniería relacionados en el sector de la construcción y estudiantes de la especialización en gerencia de proyectos, se encuentra en este proyecto una oportunidad de investigación para resolver una problemática real por la que atraviesa el país por medio de una viabilidad tecnológica como lo es el proceso regasificación con la finalidad de analizar y evaluar los costos de su implementación, donde entra en participación la normativa nacional, la adquisición del gas licuado, el almacenamiento y su transporte hasta una planta donde esta se encargara de realizar el proceso de transformación a gas natural gaseoso.

Marco Teórico

El gas natural se da por la combinación de gases que tienen diferentes composiciones, este se encuentra principalmente formado por metano, y otros componentes que se ven en la Tabla 1, se considera el gas natural como una fuente de energía limpia comparada con otros derivados del petróleo; ya que cuando se realizan procesos de combustión este es el que libera menor cantidad de CO y NOx. (Santiago Carrillo, 2017)

Tabla 1. *Porcentaje de elementos en la composición de Gas Natural*

Componente	%
Metano	65-95
Etano	0,5-7
Propano	0,1-3
Butanos	0-0,1
Propano y Superiores	< 3
SH ₂ y mercaptanos	1-15
CO ₂	0,5-70
Agua	0,1-5
Sulfuro de carbonilo	< 0,5
Helio	0-2
Nitrógeno	0,1-30

Nota: El gas natural este compuesto por diferentes compuestos done el metano está en mayor porcentaje (Santiago Carrillo, 2017).

Teniendo en cuenta las ventajas medioambientales y operacionales del gas natural, la necesidad de utilizar este combustible ha crecido año tras año. Aumentando la participación en la matriz energética mundial hasta un 27%. (SCIELO, 2003)

Los cambios en los hábitos de los colombianos durante los años noventa y el desabastecimiento eléctrico, llevo al estado a tener que masificar en mayor medida el uso gas

natural el cual para el momento solo representaba en el 8,5% del consumo en los hogares (PLANEACIÓN, 1991). Es obligación del estado brindar las mejores condiciones y accesibilidad de servicios públicos a los ciudadanos (Pública, 1994) por esta razón se incorporó el gas natural como un servicio público domiciliario definiéndolo como “el conjunto de actividades ordenadas a la distribución de gas combustible, por tubería u otro medio, desde un sitio de acopio de grandes volúmenes o desde un gasoducto central hasta la instalación de un consumidor final, incluyendo su conexión y medición. También se aplica esta Ley a las actividades complementarias de comercialización desde la producción y transporte de gas por un gasoducto principal, o por otros medios, desde el sitio de generación hasta aquel en donde se conecte a una red secundaria”. (Ley 142 de 1994, Artículo 14.28).

Con el paso de los años y la gran acogida del gas natural como combustible en el sector residencial y los demás sectores como el comercial, industrial, petroquímico y vehicular los cuales tienen una proyección de crecimiento del 2,5% al 3,6% durante las últimas tres décadas incremento su demanda (UPME, 2016), esto va de la mano con el crecimiento de la exploración petrolífera. Las reservas de gas natural vienen creciendo debido a estas nuevas explotaciones, pero esto no indica que se tengan reservas ilimitadas dado que con la explotación de nuevos pozos las reservas probadas disminuyen.

Las reservas de gas natural del país para el año 2013 eran de 6,41 TCP (Tera pies cúbicos) de los cuales solo el 80% eran reservas probadas las cuales se encuentran centradas casi en un 50% en los llanos orientales, 31% en la Guajira y el restante en las zonas del magdalena medio (UPME, 2015)

Las posibilidades en el caso de escasas de gas natural radican en la importación del gas desde países vecinos, además de plantearse la implementación de plantas regasificadora,

que permitan disminuir la incertidumbre frente a la falta de gas para el año 2024. Se debe tener en cuenta el alto crecimiento de centrales térmicas a gas las cuales tienen un comportamiento volátil y la cuales en épocas de fenómeno del niño requieren grandes volúmenes de gas para su funcionamiento (UPME, 2015).

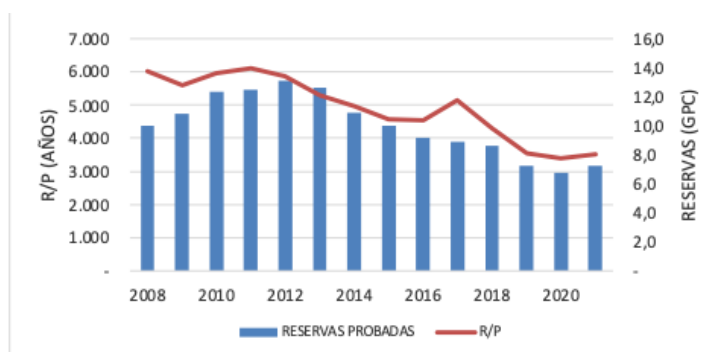


Figura 1 Reservas Probadas de gas

Nota: Las reservas probadas de gas vienen disminuyendo con el paso de los años debido a la alta demanda de sectores industriales y comerciales. (Universidad Externado de Colombia, 2021)

Con la disminución de las reservas de gas que se observan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la UPME determinó la necesidad de construir una planta regasificadora en la costa pacífica con el fin blindar el sistema de un desabastecimiento por la falta de nuevas fuentes de suministro, claro está que también busca mejorar la flexibilidad del sistema en momentos de mantenimiento. La publicación del Plan de Abastecimiento de Gas Natural-2020, ratifica que la construcción de la planta es necesaria para garantizar la seguridad de abastecimiento y la confiabilidad del servicio de gas natural en el corto plazo y mediano plazo. Esta planta es tanto para el uso de usuarios esenciales como no esenciales, dando prioridad a los usuarios esenciales que suscriban un contrato y paguen un valor por el servicio prestado, teniendo en cuenta que un usuario no esencial que requiera un mantenimiento, actualmente solo se le puede garantizar un 70% del suministro necesario para

su operación. (ANDI, s.f.)

Como otra alternativa aparece el gas natural licuado, donde se procesa el gas natural en su estado gaseoso y se transforma en gas licuado, llevándolo a temperaturas de -162°C donde este pasa a ser líquido, disminuyendo su volumen casi 600 veces esto se hace mediante procesos de licuefacción, al realizar este proceso el GNL cambia sus propiedades, es inoloro, incoloro, no es explosivo y mejorando su pureza hasta un 99,8% con lo que mejora notablemente su transporte y el costo del mismo (UPME, 2020). Esto es una gran alternativa para la importación de gas desde otros países. Existen diferentes retos, dado que uno de los grandes consumidores de gas natural es el sector residencial y se deben implementar estrategias para volver a su estado gaseoso el combustible o desarrollar tecnologías que permitan el aprovechamiento de este mediante su estado líquido. (UPME, 2019).

Se considera el mercado de GNL como un mercado activo y maduro, dado que potencias mundiales como EE. UU., Australia que sumados a países de Asia como Indonesia vienen realizando operaciones comerciales y creando rutas para el transporte del GNL. (UPME, 2020). En este estado es una gran alternativa para las plantas generadoras térmicas, las cuales necesitan el poder calorífico del gas y teniendo en un estado líquido puede ser mejor aprovechado, reduciendo en sus ciclos de gas las pérdidas. Tomando como ejemplo a Estados Unidos el cual actualmente genera más del 30% de su energía eléctrica con combustible de gas natural en su estado líquido, lo cual ha hecho que pese en su matriz energética. (Lawrence Livermore National Laboratory, 2018). En el sector vehicular también se puede utilizar como combustible sustituto de los combustibles tradicionales, dado que al estar en un estado más puro mejora la eficiencia de algunos vehículos en casi un 100%. (UPME, 2020).

La regasificación de GNL compila dos técnicas para obtener las condiciones adecuadas para la distribución del combustible líquido. Se debe acumular presión y aumentar su temperatura. Las terminales en tierra tienen sus propios tanques o buques para el almacenamiento de GNL denominados Unidades de Almacenamiento Flotante (FSU), mientras que las terminales offshore pueden clasificarse como unidades flotantes de almacenamiento y regasificación (FSRU), regasificación de instrumento y estructuras basadas en la gravedad (GBS). La principal diferencia entre una FSRU y SRV radica en la naturaleza itinerante de este último: mientras que una FSRU se basa en una ubicación específica cuando almacene y regasifique el GNL transportado por otros buques (transferencia de buque a buque, STS), el SRV transporta el GNL y lo regasifica enviándolo a través de una boya sumergible (Submerged Turret Loading, STL) a un gasoducto. (Saeid Mokhatab, 2014) En la actualidad, el término FSRU generalmente identifica ambos, ya que los SRV se utilizan como FSRU. En determinados proyectos existen circunstancias que favorecen la instalación de FSRU en terminales terrestres. (Manuel Naveiro, 2021).

Cuando el gas está en su estado líquido este es transportado a través de buques metaneros, en tanques esféricos las cuales están compuestas por un material aislante con una capa de nitrógeno para mantener baja la temperatura del tanque. (JAES Company Español, 2022) cuando este en la planta de almacenamiento se descarga en los tanques de la planta regasificadora mediante tubos criogénicos, los cuales llevan el GNL a tanques de doble coraza a presión atmosférica, los cuales están contruidos a base de níquel para soportar las bajas temperaturas. Estos se encuentran ubicados sobre soportes anti-sismos para evitar movimiento del GNL.

Posterior se procede a la regasificación donde el GNL se lleva a estado gaseoso. Esto se hace mediante un vaporizador el cual está construido con tubos verticales a través de los

cuales fluye el GNL y mediante ciclos de agua y transferencia de calor este se vaporiza y se envía por gasoductos a los clientes según necesidad a este proceso se le denomina “Cadena de Gas”. (Ruiz, s.f.)

Comúnmente para lograr por medio de un intercambiador térmico la conversión del Gas Natural Licuado frío a gas, se utilizan tanto el tipo de vaporizador de tablero abierto como el de combustión sumergida.

En cuanto al uso del vaporizador de tablero abierto, también conocido como OVR por sus siglas en inglés, se tiene que su principal fuente de calor es el agua de mar, la cual entra en contacto con el aluminio o acero inoxidable que recubre al intercambiador externamente. Dichos vaporizadores se distinguen por ser de alta fiabilidad, de fácil mantenimiento y su construcción es relativamente sencilla. Dentro de las operaciones que utilizan este tipo de vaporizador se encuentran las operaciones de carga base y los operadores de emergencia, con la diferencia que estos últimos circulan con agua caliente.

Por su parte, los SCV o vaporizadores de combustión sumergidos son conocidos por su bajo costo de instalación, la posibilidad de trabajar con fluctuaciones de carga y por tener un arranque rápido. Su funcionamiento se caracteriza por vaporizar el Gas Natural Líquido con agua calentada con un mechero ubicado en el interior de un tubo inoxidable de intercambio térmico. Este vaporizador como el de tablero abierto, se utiliza también para operaciones de carga base, pero su principal uso se da en operaciones de peakshaving.

El sistema está conformado por bombas de captación de agua de mar, bombas de eyección de hipoclorito sódico, filtros y los vaporizadores de Gas Natural Licuado, estos últimos pueden describirse como intercambiadores de calor. Respecto a su funcionamiento, se tiene

que por su parte inferior e interior sube el Gas Natural Licuado en estado líquido, por el exterior cae el agua de mar impulsada por las bombas que captan la misma, por lo que al darse dicho intercambio se produce la vaporización del Gas natural Licuado que va ascendiendo por los tubos hasta salir en la parte superior en estado gaseoso.

Sistema de captación de agua de mar

Tiene como base una escollera, sobre la cual se ubica un cajón elaborado con hormigón. Dicho cajón se encuentra dividido en compartimentos longitudinales, cuenta con una abertura en el lado sur ubicada hacia el mar y una rejilla en el área superior. Además de un sistema de rejillas sobre módulos a base de barras, que al ser independientes de cada compartimento son desmontables y permiten la filtración gruesa del agua de mar. Dentro de cada compartimento del cajón de hormigón se encuentran ubicadas bombas de centrifuga verticales con longitud de 10 m aprox., las que conforman el grupo de bombeo.

Sistema de filtración de agua de mar

Está compuesto por una serie de tubos de acero inoxidable en posición vertical dentro de un cilindro resistente a la corrosión. Estos filtros logran su limpieza de manera automática utilizando el flujo de agua en contracorriente

Las partículas sólidas más grandes contenidas en el agua quedan retenidas en la malla al pasar a través de la superficie filtrante en el interior de los tubos. El mecanismo de autolimpieza se activa bien sea al iniciarse el ciclo programado por temporización o cuando se tenga una diferencia de presión del paso del fluido causada por la acumulación de material, dando apertura a la válvula automática del fondo, se invierte el flujo del agua hacia el interior de

los tubos, arrastrando consigo los sólidos acumulados y evacuándolos por la tubería destinada para ello.

Sistema de suministro de agua de mar

Cuenta con un sistema de bombeo de válvulas de purga automática que logran la evacuación del aire cunado se inicia el bombeo y evitan la formación del mismo en el circuito. Elaboradas en poliéster con fibra de vidrio con el fin de evitar problemas de corrosión debido al agua de mar.

Sistema de cloración

Formado por bombas y un depósito de hipoclorito, que se encarga de inyectar en la aspiración de la bomba dosificadora de manera manual o automática un caudal de hipoclorito sódico de 40 l/h cada ocho horas.

Respecto a los vaporizadores abiertos de agua de mar, en su mayoría se integran por dos módulos independientes compuestos por paneles de tubos aleteados longitudinalmente en su exterior, en los que por su interior elaborado en forma de estrella circula el Gas Natural Licuado y que al contar con una lámina helicoidal favorece la ebullición estable en el interior del tubo. Ya por su exterior se desliza el agua de mar sobre los paneles ubicados verticalmente en una estructura de hormigón unidos en el inferior por un colector de Gas Natural Licuado y en la parte superior por uno de gas.

Cuenta con un proceso de regulación de caudal de entrada de Gas Natural Licuado a los vaporizadores, con el de salida del gas natural ya vaporizado.

Las bombas secundarias aportan al Gas Natural Licuado el calentamiento y cambio de estado hasta por 0 °C.

En la parte superior de los paneles se ubican unos canalones a los que se bombea el agua caliente, la que al resbalar forma láminas verticales que cubren las caras del panel y recogida en la parte inferior de la estructura para luego ser enviada al mar y utilizada nuevamente.

Las redes son reguladas de manera automática para controlar el caudal de gas a emitir, encontrándose en la entrada la válvula de control de caudal de Gas Natural Licuado el valor de consigna y la temperatura del gas de salida.

Vaporizadores de combustión sumergida

Este tipo de vaporizador utiliza un baño de agua que logra ser calentado por combustión de gas natural. El Gas Natural Licuado circula por tubos lisos en forma de serpentín sumergidos en dicho baño. Si bien la eficiencia energética es alta, ya sea por el contacto directo con los productos de combustión o por la transmisión de calor debido a la agitación provocada a su paso en el agua, su costo de operación es mucho mayor a los vaporizadores de agua, debido al valor del gas natural que utiliza y a la presión requerida en los quemadores. Es por ello que solo se utilizan en casos en los que los vaporizadores de agua no se encuentran disponibles.

Vaporizador de Rejilla Abierta

Consisten en estructuras de aluminio compuestas por paneles en posición vertical con

tubos con aletas y artesas, que permiten que el agua tome forma de cortina y fluya como una película hacia la parte de abajo; los intercambiadores de calor vaporizan el Gas Natural Licuado y calientan el gas natural de 4.4-15.6 °C, el que una vez da salida se mide y es enviado a los gasoductos, manteniendo su flujo por medio de un controlador al igual que la temperatura y el flujo de agua de mar. En cuanto a su mantenimiento este se da esporádicamente según la limpieza del agua de mar, no requieren combustión, se consideran extremadamente seguros y no produce emisiones al aire por combustión.

Con este tipo de vaporizador es posible lograr vaporizar 200 toneladas métricas de Gas Natural Licuado por hora y es la tecnología de regasificación más usada a nivel mundial.

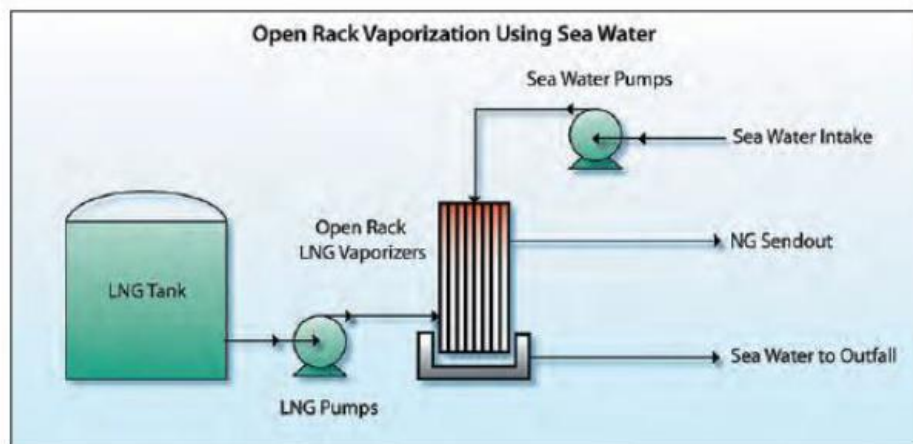


Figura 1. Funcionamiento del vaporizador de rejilla abierta.

Fuente. LNG Journal Study Focuses on Six LNG Regasification System – Document of Engineering Forum

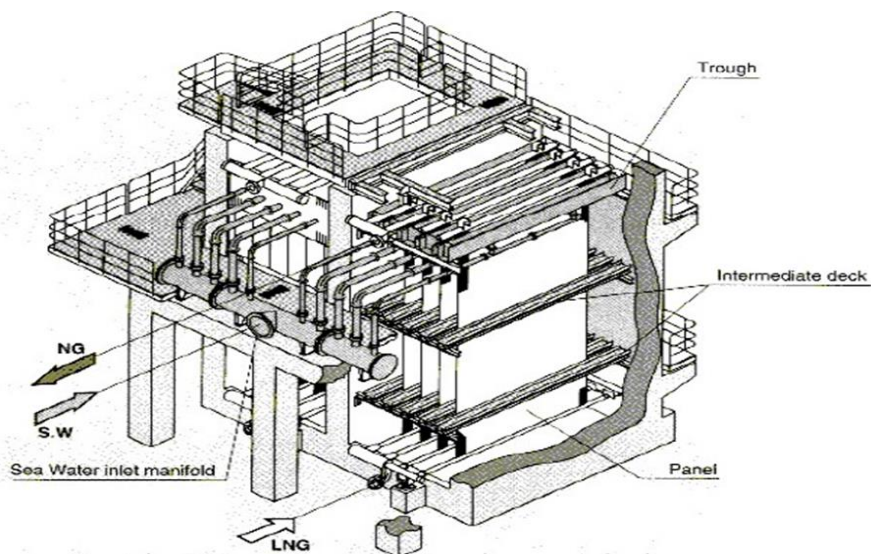


Figura 2. Vaporizador de rejilla abierta

Fuente. LNG Journal Study Focuses on Six LNG Regasification System – Document of Engineering Forum

Vaporizador de Combustión Sumergido

Elaborado en acero inoxidable, es empleado como respaldo para incrementar la confiabilidad operativa y la flexibilidad de la instalación, así como vaporización extra en épocas de invierno cuando las temperaturas del agua del mar descienden y no llegan a las necesarias para el arranque de las plantas. El Gas Natural Licuado a través de este vaporizador se mantiene por control de flujo y el quemador controlado por las temperaturas de baño de agua.

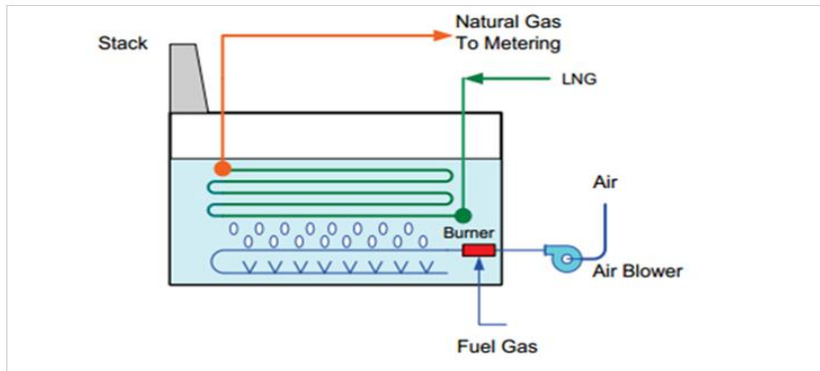


Figura 3. Vaporizador de combustión sumergida

Fuente. LNG Journal Study Focuses on Six LNG Regasification System – Document of Engineering Forum

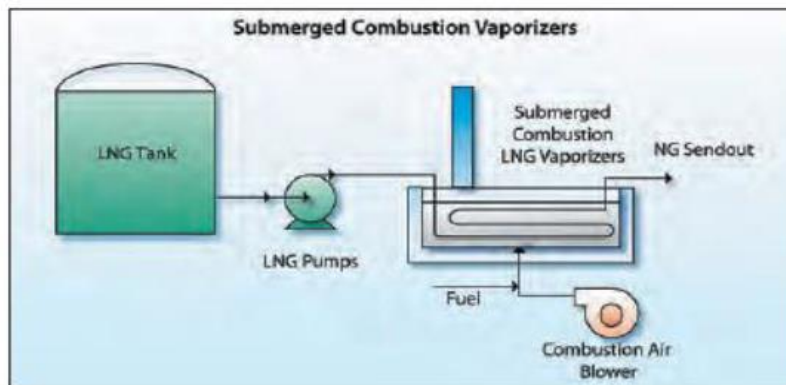


Figura 4. Funcionamiento del Vaporizador de combustión sumergida

Fuente. LNG Journal Study Focuses on Six LNG Regasification System – Document of Engineering Forum

Marco Metodológico

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

Teniendo en cuenta las variaciones que se han presentado tanto en el consumo del gas natural como en las reservas que se tienen en Colombia de este combustible, la presente investigación se encausa en un alcance descriptivo, que es el más adecuado para la finalidad de establecer si la regasificación de gas natural licuado a gas natural gaseoso es la alternativa tecnológica a la escasez de producción y abastecimiento de ese combustible en Colombia, pues según Hernández (2010) define que este estudio describe “fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan” (p. 53). Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

Asimismo, se tiene un enfoque cuantitativo secundario que implica el uso de datos existentes los cuales serán resumidos y cotejados, recopilados de fuentes gubernamentales como los informes de la Unidad de Planeación Minero-Energética y la Agencia Nacional de Hidrocarburos, entre otros, los que según Callejo y Vietma (2005) aumentan la validez de la investigación por tratarse de datos detallados y con un alto grado de confiabilidad.

En cuanto al diseño de esta investigación, se utilizará el no experimental de revisión documental, para Hernández (2010) el diseño no experimental consiste en observar un fenómeno ya existente en su naturaleza y analizar sus variables. En cuanto a la revisión documental la señala como detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que

parte de otros conocimientos y/o formaciones recogidas moderadamente de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio. Lo que para la presente investigación permitirá entender los acontecimientos históricos de modo, tiempo y lugar de este estudio, y detectar los escenarios y estrategias que darán solución al problema de investigación respecto a la escasa producción y abastecimiento de gas natural, así como la implementación de la regasificación de gas natural licuado como alternativa tecnológica en Colombia.

Definición de variables

La recolección de datos se realizará mediante investigaciones históricas del comportamiento de emisiones CO₂ en el proceso de extracción de GN y de la cantidad de inversión energéticas y económicas, además de comparar las emisiones generadas en el proceso de licuefacción y transporte del GNL, en la última década.

Tabla 2 Definición de variables

Variable		Descripción	Unidad	Enfoque Operacional
Tipos de Emisiones	CO ₂	Cantidad de gases liberados a la atmósfera	Emisiones en Libras por 10 ⁹ Btu	Esta variable determina cuál es el impacto sobre la contaminación atmosférica en el proceso de regasificación
	CO			
	NO _X			
	SO _X			
Exportación de GNL		Cantidad de producción de GNL a exportar	BMC (Billones de Metros Cúbicos)	Esta variable determina la cantidad de GNL producido por los diferentes países estratégicos para exportar a Colombia

Transporte de GNL	Costo de transporte de GNL a Cartagena	Costo (\$/MMBTU)	Esta variable determina el costo del GNL a transportar teniendo en cuenta la distancia recorrida desde el país productor a Cartagena - Colombia
Transformación de GNL a GN	La mejor alternativa de tecnología para el proceso de regasificación	%	Esta variable determina la alternativa tecnológica conveniente para la construcción de una planta regasificadora según su ubicación geográfica
Análisis económico del proceso de Regasificación	Costos de Construcción	Costo de construcción, producción y operación de la planta regasificadora	\$ USD
	Costos de producción y operación		
	Rentabilidad (TIR)	Tasa interna de Retorno para la inversión de una planta regasificadora	%

Fuente: propia del autor

Población y Muestra

El método seleccionado para la investigación es el muestreo por racimos, técnica útil cuando se desea analizar antecedentes y parámetros de poblaciones divididas en diferentes grupos, comunidades, como puede ser el caso de países que han adaptado este proceso permitiendo obtener información y muestras representativas para el resultado de nuestras variables. Por lo tanto, para esta investigación la población está enfocada en el Continente Americano y Europeo lo que conlleva a que la muestra sea enfocada a los países más

representativos en la producción e importación de GNL.

Instrumento para recolección de información

Se podrían usar varios tipos de instrumentos para la recolección de información, para esta investigación se usarán dos de los más comunes:

1. Observación estructurada: Utilizada para recolectar datos cuantitativos sobre la información específica, para esta investigación “Emisiones de gases en el proceso de regasificación, procesos de adquisición, transporte de GNL y su transformación a GN.
2. Análisis de documentos: Utilizado para recolectar datos cuantitativos por medio de la revisión de documentos históricos relevantes que contienen datos, hechos, detalles del procesos ambientales, tecnológicos y económicos, como lo es EEUU, potencia mundial en la exportación de GNL y países estratégicos por su cercanía a Colombia como Perú, Trinidad y Tobago líderes en la exportación de GNL en la región.

Técnica de análisis de datos

La técnica de recolección de información más estructurado en función a los objetivos de esta investigación es la estadística descriptiva, donde se implica el uso de medidas básicas como la media, la mediana, la moda, la desviación estándar y el rango con la finalidad de describir las características de los datos.

Algunas de las medidas estadísticas que se usaran son:

1. Medidas de tendencia central: Como la media, la mediana y la moda, utilizadas para describir la posición central de los datos.
2. Medidas de dispersión: Como la desviación estándar y el rango, utilizadas para describir la variabilidad de los datos.
3. Medidas de forma: Como la asimetría y la curtosis, utilizadas para describir la forma de la distribución de los datos.
4. Tablas y gráficos: Utilizadas para resumir y visualizar los datos.

Análisis De Resultados

Los aspectos ambientales identificados se encuentran en las diferentes fases del proceso de regasificación, estos son desde su construcción, funcionamiento, abastecimiento y mantenimiento.

Aspecto social

Frente a los impactos sociales que se presentan en las regiones donde se pueden ubicar las plantas regasificadora se pueden mencionar:

- Aumento de oportunidades laborales.
- Mejora de la matriz energética del país.
- Mejor precio de combustible a gas natural.
- Solución a escases de gas natural.

- Incertidumbre por los cambios en ecosistemas que afectan las actividades en zonas costeras como la pesca, oleaje y cambios en la región por la llegada de personas de otras regiones o extranjeros.
- Afectación del paisaje

Fase de construcción

Se encuentran emisiones de gases y partículas por el uso de vehículos para el transporte de insumos, maquinaria y combustibles. Estos no solo generan emisiones si no que hay ruido y vibraciones que afectan directamente a las personas de la región donde se construye. Dentro de toda construcción hay imprevistos y dado que en gran porcentaje las plantas de regasificación están construidas en zonas costeras, siempre estará la posibilidad de vertimientos accidentales de fluidos como combustibles o aceites que afecten directamente la fauna y flora de la zona, lo cual indirectamente afecta a la sociedad dado que en las regiones costeras se vive en gran parte de la economía marítima. accidentales de aceites y combustibles que puedan ser arrastrados al medio marino. - Efectos sobre la avifauna, la fauna y flora marina.

Estos impactos son propios de cualquier cimentación, construcción o ampliación, la importancia de estos impactos es aceptable o compatible con el medio, aunque es necesario un adecuado plan de obra donde se marquen las actividades de control y gestión medioambiental para que el medio marino circúndate no se vea afectado por emisiones o vertidos. (BARGUES, 2012) (p. 8)

Durante la fase de funcionamiento

Pueden presentarse vertimientos en el transporte del GNL no solo durante el proceso de regasificación, sino además propios del funcionamiento de los buques. No obstante, debido a la composición del GNL antes de tocar el suelo o el agua este se disipa completamente.

Emisiones de gases a la atmósfera, como consecuencia del quemado de combustibles en la parte de evaporación con ciclos de combustión como antorcha o de emisiones de bajo impacto durante el purgado de líneas en tareas de mantenimiento.

Durante el periodo de refrigeración se utiliza el agua del mar, la cual no debe tener un cambio mayor a 5°C, para no ver afectado la vida marítima cuando esta regrese al mar, es necesario contar con un control de este impacto.

Afección al paisaje de la zona por la construcción de la planta, en especial cuando se trata de zonas portuarias no muy industrializadas. La afección al paisaje es relevante ya que en la mayoría de las ocasiones es imposible no visualizar los depósitos de GNL dadas las dimensiones de estos y los grandes volúmenes que se deben tener como reserva, ya sea reservas estacionarias o buques. desde una distancia considerable, por lo que se trata de un impacto que precisa un estudio de integración paisajística detallado y una serie de medidas para minimizar o compensar su efecto. (BARGUES, 2012, p.9)

Abiótico

Los cambios que se generan por la exploración tienen una consideración negativa, aunque solo afecta superficialmente, dado que los cambios en el entorno debido al movimiento masa en el área marina son mínimos.

Biótico

Se toman como impactos negativos, el desplazamiento de peces en el lecho marino y el cambio en el paisaje para las aves en la costa.

En los procesos de regasificación las emisiones de contaminantes de efecto invernadero son casi nulas, esto debido que en el proceso de licuefacción se eliminan la mayor parte de gases de efecto invernadero y entre ellos el monóxido de carbono. Las emisiones generadas se dan por procesos que se deben incluir para su transformación, como son el transporte de GNL y en los casos que son necesarios la adición de procesos de combustión que apoyan el proceso de vaporización del GN.

Dicha Metodología, pertenece a Vicente Conesa Fernández Vitora (1997). Ecuación para el Cálculo de la Importancia (I) de un impacto ambiental:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Tabla 3. *Parámetros para la evaluación de los impactos*

PARAMETRO	VALOR
NATURALEZA	
Positiva o benéfica	+
INTENSIDAD	
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy alta	8
Total	12
EXTENSIÓN	
Puntual	1
Parcial	2
Extenso	4
Total	8
Crítico	(+4)
MOMENTO	
Largo plazo	1
mediano plazo	2
inmediato o corto plazo	4
Crítico	(+4)
PERSISTENCIA	
Fugaz	1
Temporal	2
Permanente	4
REVERSIBILIDAD	
Reversible a corto plazo	1
Reversible a mediano plazo	2
Irreversible	4
RECUPERABILIDAD	
Recuperable inmediatamente	1
Recuperable parcialmente	2
Mitigable	4
Irrecuperable	8
CORRELACIÓN	
Sin correlación	1

Correlación	2
Mucha correlación	4
<hr/> ACUMULACIÓN <hr/>	
Simple	1
Acumulativo	4
<hr/> EFFECTO <hr/>	
Indirecto o secundario	1
Directo o primario	4
<hr/> PERIODICIDAD <hr/>	
Irregular o discontinuo	1
Periódico	2
Continuo	4
<hr/>	

Tabla 4 Evaluación de impactos ambientales en la construcción de una planta regasificadora

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	FACTOR AMBIENTAL							IMPACTO AMBIENTAL	NATURALEZA NA	INTENSIDAD IN	EXTENSIÓN EX	MOMENTO MO	PERSISTENCIA	REVERSIBILIDAD RV	RECUPERABILIDAD MC	CORRELACIÓN 2SI	ACUMULACIÓN AC	EFECTO EF	PERIODICIDAD PR	IMPORTANCIA	RELEVANCIA			
		ABIÓTICO			BIÓTICO																	IRRELEVANTE	MODERADO	SEVERO	CRÍTICO
		COMPONENTE AMBIENTAL																							
		AGUA	ATMÓSFERA	SUELOS	CLIMA	PAISAJE	FLORA	FAUNA																	
Uso de vehículos y maquinaria.	Generación de gases y partículas	x	x	x	x		x		Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	2	3	1	1	4	8	2	4	4	4	-40		x		
Trabajo con maquinaria Pesada	Ruido y Vibraciones		x	x		x	x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	2	3	2	1	2	2	2	4	1	4	-30		x		
Construcción de planta regasificadora	Vertidos accidentales de aceites y combustibles que puedan ser arrastrados al medio marino	x	x	x	x	x	x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	3	3	4	2	2	4	4	4	4	4	-43		x		
construcción de planta regasificadora en zona costera	Efectos sobre la avifauna, la fauna y flora marina	x		x			x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	3	3	4	1	1	4	2	1	1	4	-33		x		

		FACTOR AMBIENTAL							IMPACTO AMBIENTAL	NATURALEZA NA	INTENSIDAD IN	EXTENSIÓN EX	MOMENTO MO	PERSISTENCIA PE	REVERSIBILIDAD RV	RECUPERABILIDAD MC	CORRELACIÓN SI	ACUMULACIÓN AC	EFECTO EF	PERIODICIDAD PR	IMPORTANCIA	RELEVANCIA			
ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	ABIÓTICO		BIÓTICO																		IRRELEVANTE	MODERADO	SEVERO	CRÍTICO
		COMPONENTE AMBIENTAL																							
		AGUA	ATMÓSFERA	SUELOS	CLIMA	PAISAJE	FLORA	FAUNA													Menor a 25	Igual o mayor a 25 y menor a 50	Igual o mayor a 50 y menor a 75	Igual o mayor a 75	
Carga y descarga de GNL en las plantas regasificadora	Vertidos de combustibles y aceites por tráfico de buques metaneros durante las operaciones de carga y descarga del GNL	x	x	x	x	x	x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	3	3	3	2	2	4	2	4	4	4	-40		x		
Procesos de evaporación	Emisiones de gases a la atmósfera		x		x	x	x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	1	3	2	2	2	2	1	4	4	4	-30		x		
Procesos de evaporación	Vertido de aguas de refrigeración por emisario	x	x		x	x	x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	2	3	1	2	2	2	1	4	4	4	-32		x		
construcción de planta regasificadora en zona costera	Afección al paisaje de la zona por la construcción de la planta			x		x	x	x	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	-1	3	3	2	4	2	2	1	1	4	4	-35		x		
construcción de planta regasificadora en zona costera	generación de empleo		*			*	*	*	Alteración de los componentes ambientales abióticos y bióticos	1	8	3	4	2	1	2	1	4	4	4	52			x	

De la Tabla 4 se obtiene diferentes resultados, en general la implementación de una planta regasificadora tiene un impacto moderado si este cumple con las normativas ambientales impuestas. Existe un impacto positivo en la generación de empleo en cada una de las etapas del proceso de regasificación. También se tiene impactos negativos que pueden perdurar y mantenerse durante toda la vida de operación de la planta.

El gas natural es el combustible de menor emisión de CO₂ cuando es comparado con combustibles como el petróleo o el carbón. En cuanto a la combustión para el transporte tiene un 15% menos de emisiones de CO₂ y hasta un 90% de emisiones de CO. El gas natural tiene menor emisión de residuos de efecto invernadero. En la Tabla 4 se puede observar que el gas natural es menos contaminante y produce muy bajos efectos en la lluvia ácida debido a su bajo nivel de óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x).

Tabla 4 *Comparativa de las emisiones en Libras por 109 Btu*

	CO₂	CO	NO_x	SO_x	PARTÍCULAS	MERCURIO
GAS NATURAL	117	40	92	1	7	0
PETRÓLEO	164	33	448	1,122	84	0
CARBÓN	208	208	457	2,591	2744	0.01

Nota. Cantidades de emisiones producidas por la explotación del recurso (Rico, 2016)

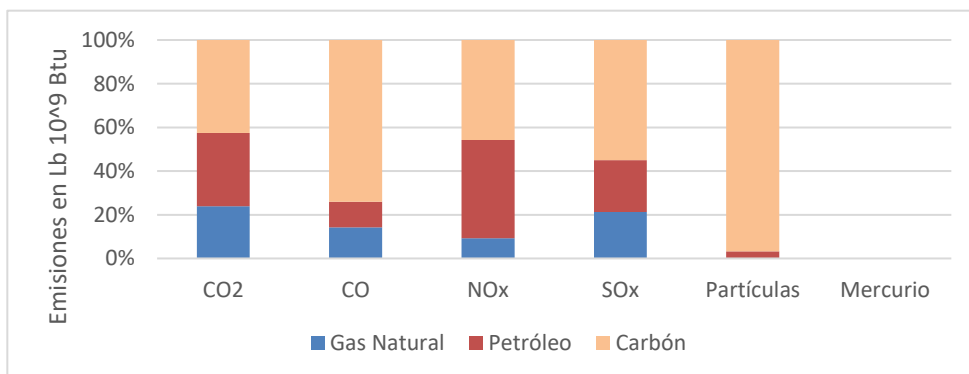


Figura 5. Comparación de emisiones por tipo de recurso (Rico, 2016)

Adquisición GNL

Iniciamos con la búsqueda de los principales exportadores de gas natural licuado en los últimos 3 años de los continentes americanos y europeo, según la publicación de “Global Affairs and Strategic Studies”, del cual se realiza la gráfica detallada a continuación:

Tabla 5. Principales países de exportación de GNL

Países	Und	Producción
Estados Unidos	BMC	95
Rusia	BMC	39,6
Trinidad & Tobago	BMC	17
Perú	BMC	5,2

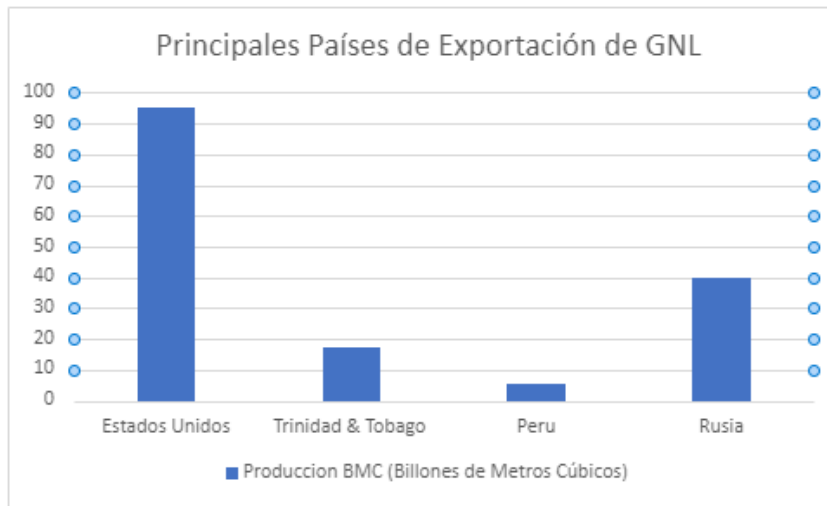


Figura 6. Principales países de exportación de GNL (elaboración Propia)

Según los datos estadísticos se evidencia que el país líder de exportación de GNL es Estado Unidos (95 BMC), seguido de Rusia (39,6 BMC), Trinidad y Tobago (17 BMC) y Perú (5,2 BMC), teniendo en cuenta la ubicación geográfica y conveniencia para Colombia, la mejor opción de exportación esta entre Estados Unidos y Trinidad y Tobago.

Transporte de GNL

(proyección de precios energéticos)

Según lo establecido por la UPME en el documento de proyección de precios de los energéticos para la generación eléctrica versión noviembre de 2019, “el transporte del Gas Natural Licuado se realiza en buques con capacidades que pueden variar entre los 71,500 m³ hasta los 267,000 m³ de GN, este se calcula inicialmente con las características técnicas y económicas de un buque de 170,000 m³ de GNL” (UPME, 2019, p. 26). Tomando en cuenta

que el transporte de GNL se efectuará desde diferentes plantas y nuestro puerto de referencia será Cartagena:

Tabla 6. Costos de transporte por fuente de suministro de GNL a Cartagena

Origen	Países	Plantas de Licuefacción	Distancia (km)	Días (Ida, vuelta y estadia)	Costo Cartagena (\$/MMBTU)
América del Norte	USA	Sabine Pass	2,874	16	\$ 0.16
América del Sur	Trinidad y Tobago	Point Fortin	1,633	13	\$ 0.11
	Perú	Perú LNG	2,726	15	\$ 0.26
Norte de Asia y Europa Oriental	Rusia	Sakhalin II	13,975	41	\$ 0.54

Nota. Fuente (UPME, 2018).

Los resultados indican que las fuentes que optimizan el costo de transporte para Cartagena, teniendo en cuenta la distancia recorrida, son Trinidad y Tobago y Estados Unidos, con un costo de USD\$ 0.11/MMBTU y USD\$ 0.16/MMBTU respectivamente.

Transformación a GN

Existen diferentes tipos de tecnologías para las plantas de regasificación de GNL, su elección depende de la eficiencia del tipo de vaporizador, sin embargo, gran parte de la decisión es definida por la localización y los recursos propios de la región donde se contemple la construcción de esta, a continuación, se presenta una tabla comparativa con dos de las

alternativas tecnológicas más comunes y convenientes para Colombia debido a su posición geográfica.

Tabla 7 *Tabla Matriz De Decisiones*

	20%	20%	20%	20%	0%	
Tecnologías	Diseño	Confiabilidad	Ambiental	Económico	Eficiente	TOTAL
ORV (Open Rack Vaporizer) Vaporizador de Rejilla Abierta	Optimo Hiper V - optimización diseño aletas, evitando obstrucción de hielo en las aletas mejorando el rendimiento	Alta Fabricadas en aleación de aluminio - Excelente resistencia y con aleación de aluminio y zinc - resistencia a la corrosión contra el agua de mar	No produce emisiones al aire por combustión El agua del mar a utilizar se retorna sin afectaciones	Fácil de Operar y mantener	Impulsado por Agua	95%
SCV (Submerged Combustion Vaporizer) Vaporizador de Combustión Sumergido	Compacto Requiere menos infraestructura	Alta Todas las partes fabricadas en acero inoxidable	Produce emisiones al aire bajas de NOx y CO	Costosa operación	Impulsado por gas Combustible	65%

Nota. Fuente: elaboración propia

La elección de la tecnología para una planta de regasificación de Colombia depende de muchos factores, para este caso se comparan las tecnologías de vaporizador con factores de diseño, confiabilidad, ambientales, económicos y de eficiencia, arrojando como resultado que la alternativa seleccionada para esta investigación es la ORV (Open Rack Vaporizer) o Vaporizador de Rejilla Abierta, teniendo en cuenta como factor principal la ubicación de la misma, pues por razones de estrategia se tomaría la costa colombiana como sede, permitiendo el uso del agua de mar en el proceso de regasificación, utilizándose de forma sostenible sin

agotar los recursos de agua dulce. Además, el agua de mar tiene una alta capacidad térmica, lo que la convierte en un medio eficiente para transferir calor, generando una baja inversión de capital, una facilidad de operación y mantenimiento, en comparación de las demás tecnologías.

Análisis económico del proceso de Regasificación

Con el análisis presentado a continuación se evalúan los aspectos que se encierran dentro del factor económico del proceso de regasificación y se resalta su viabilidad financiera para ser aplicado como solución a la escasez que se tiene de gas natural en Colombia. Se han realizado entonces unas graficas comparativas donde se tienen como variables costos de construcción, costos de producción y operación, tomando como referencia estudios realizados en Europa, América del Sur y Colombia.

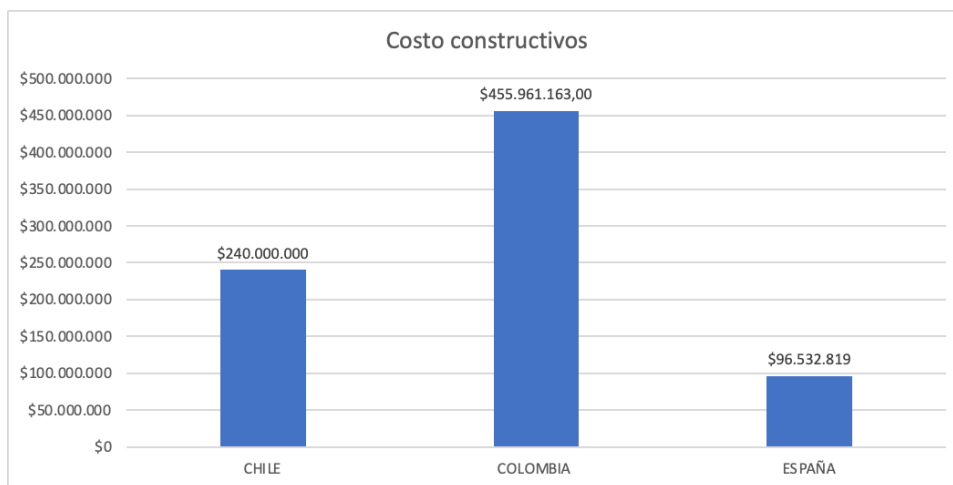


Figura 7. *Costos de Construcción en dólares*

Nota. Fuente: elaboración propia

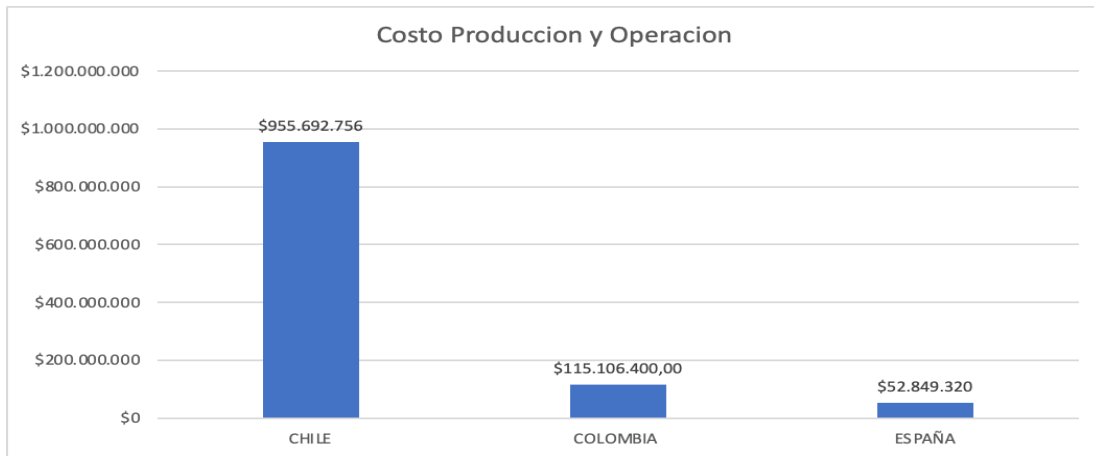


Figura 8. Costos de producción y operación en dólares

Nota. Fuente: elaboración propia

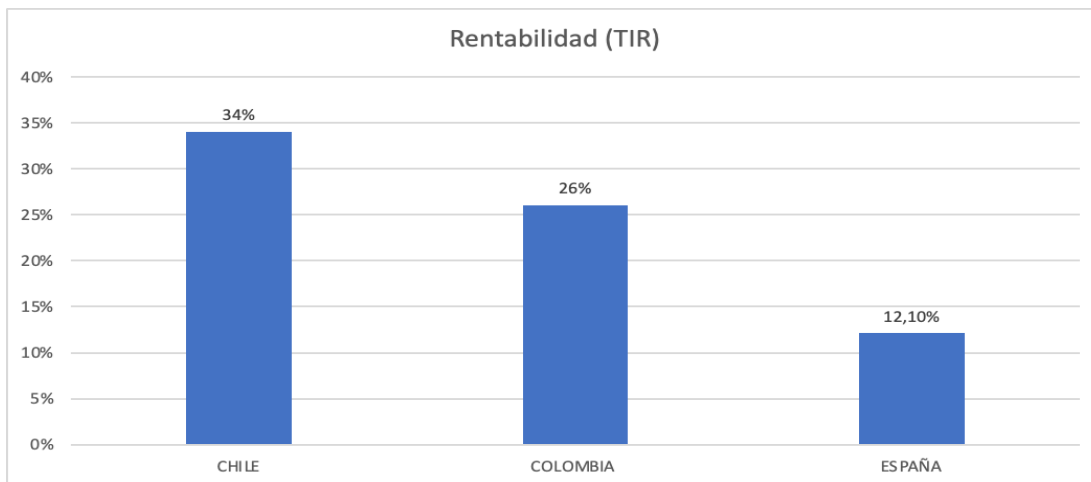


Figura 9. Rentabilidad (TIR)

Nota. Fuente: elaboración propia

Los estudios en los cuales se basó esta investigación en lo concerniente a los factores económicos que influyen en la factibilidad de un proyecto de regasificación, fueron obtenidos de la Universidad de Chile, la Universidad Autónoma de Bucaramanga en Colombia y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) en España. Teniendo en cuenta lo anterior, es posible determinar que la construcción, producción y operación de una planta de regasificación es un proyecto rentable económicamente, pues a mayor costo de la inversión a realizar mayor será su rentabilidad.

Conclusiones

Las plantas regasificadora producen en mayor o menor medida impactos sobre el medio ambiente, se deben respetar las normas ambientales y tener un control en los procesos de obtención, cargue y regasificación del GNL. Dado que los principales aspectos se dan en el momento del cargue de GNL y en su almacenamiento, el cual al verterlos sobre los mares puede afectar la fauna y flora de la región. Se deben evaluar procesos donde el uso de agua de mar se utiliza para evaporizar el gas, dado que aunque esta no aumenta su temperatura en gran medida, en la recolección de agua se pueden ver afectados plantas y animales que se encuentren en el entorno, impactando de manera negativa la región donde este situada la planta.

la tecnología de vaporizador usando intercambiador de calor con agua de mar en la regasificación ofrece un enfoque prometedor y eficiente para la importación y utilización de GNL. Su capacidad para aprovechar el agua de mar como fuente de calor, la convierte en una opción atractiva desde el punto de vista energético y ambiental, reduciendo e el consumo de energía y los costos operativos. Además, al aprovechar el agua de mar, se minimiza el impacto ambiental en comparación con otras formas de regasificación.

Así las cosas, teniendo en cuenta el factor económico en el proceso de construcción de una planta de regasificación en Colombia, se observa que es factible la construcción del mismo,

pues con la misma se suplirá las necesidades de abastecimiento de Gas Natural en el país, además de beneficiarlo al aportar rentabilidad durante su funcionamiento. Si bien se observa que la inversión que se debe hacer es alta para su construcción, la relación costo beneficio hace que su operación traigan alta rentabilidad, máxime cuando Colombia cuenta con la ventaja de poseer dos océanos navegables que permiten utilizar el agua de mar en las plantas y la facilidad de transporte de la materia prima desde estados unido y Trinidad y Tobago hasta Cartagena, lugar donde sería favorable la instalación de la planta de Regasificación de Gas Licuado.

Referencias

Agencia Nacional de Hidrocarburos, Reservas de Hidrocarburos del País corte a 31 de diciembre de 2021, Bogotá 20 mayo de 2022.

Agencia Nacional de Infraestructura . (s.f.). *PROPUESTA DE REMUNERACIÓN PLANTA DE REGASIFICACIÓN DEL PACIFICO*. Obtenido de <https://www.andi.com.co/Uploads/20200309-W300Propuesta%20de%20Remuneraci%C3%B3n%20planta%20de%20regasificaci%C3%B3n%20del%20pac..pdf>

BARGUES, J. L. (2013). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS DE PLANTAS DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO*. Valencia.

BENDECK OLIVELLA, J. (1987). La Guajira y el Plan de Desarrollo de Ecopetrol, Ecopetrol.

Callejo, J. y Viedma, A. (2005). *Proyectos y estrategias de investigación social: la perspectiva de la intervención*. Madrid: McGrawHill Interamericana.

Concentra Inteligencia en Energía (2014). *Demanda de gas natural en Colombia 2009-2013*.

Decreto 2100 de 2011. Por el cual se establecen mecanismos para promover el aseguramiento del abastecimiento nacional de gas natural y se dictan otras disposiciones. 15 de junio de 2011. D.O. No. 48101

Hernández, R. (2010), Metodología de la investigación, McGraw Hill Interamericana editores, si de cf., México D. F.

Manuel Naveiro, M. R. (2021). *EXPLOITATION OF LIQUEFIED NATURAL GAS COLD ENERGY IN FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNITS*. Obtenido de <https://hrcak.srce.hr/file/386095>

JAES Company Español. (2022). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=tk27bEZ7qZ>

PLANEACIÓN, R. d. (1991). *PROGRAMA PARA LA MASIFICACIÓN DEL CONSUMO DE GAS. BOGOTA*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/2571.pdf>

Pública, D. A. (11 de julio de 1994). Ley 142 de 1994. Colombia.

UPME. (2016). *PLAN TRANSITORIO DE ABASTECIMIENTO DE GAS NATURAL*.

Universidad Externado de Colombia. (mayo de 2021). *Blog del Sector Minero - Energético*. Obtenido de <https://boletinmineroenergetico.uexternado.edu.co/situacion-del-autoabastecimientos-de-hidrocarburos-en-colombia/>

UPME. (2015). *Balance de Gas Natural en Colombia 2015-2023*.

SCIELO. (2003). *GAS NATURAL EN COLOMBIA - GAS e.s.p.* Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232003000200006

ANDI. (s.f.). *PROPUESTA DE REMUNERACIÓN PLANTA DE REGASIFICACIÓN DEL PACIFICO*. Obtenido de <https://www.andi.com.co/Uploads/20200309-W300-Propuesta%20de%20Remuneraci%C3%B3n%20planta%20de%20regasificaci%C3%B3n%20del%20pac..pdf>

UPME. (12 de Noviembre de 2019). *Gas Natural Licuado Combustible de Transición energética en Colombi*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Xhdza9R93PI>

UPME. (2020). *GAS NATURAL LICUADO*.

Lawrence Livermore National Laboratory. (2018). *Estimated U.S. Energy Consumption in 2017*.
Obtenido de
https://flowcharts.llnl.gov/content/assets/images/charts/Energy/Energy_2017_United-States.png

Manuel Naveiro, M. R. (2021). *EXPLOITATION OF LIQUEFIED NATURAL GAS COLD ENERGY IN FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNITS*. Obtenido de
<https://hrcak.srce.hr/file/386095>

Saeid Mokhatab, J. Y. (2014). *Handbook of Liquefied Natural Gas*. Gulf Professional Publishing.

JAES Company Español. (2022). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=tk27bEZ7qZI>

Ruiz, C. (s.f.). *Youtube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=or9SS0mI4_8

Santiago Carrillo, M. (2017). *Sistema de gestión ambiental en una planta de regasificación de gas natural*. Obtenido de
https://oa.upm.es/46665/1/TFG_MANUEL_SANTIAGO_CARRILLO.pdf

BARGUES, J. L. (2012). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS DE PLANTAS DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO*. Valencia.

Rico, A. E. (2016). *PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL*. Madrid.

UPME. (2018). *PROYECCION DE PRECIOS DE LOS ENERGETICOS PARA GENERACION ELÉCTRICA*. COLOMBIA.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), Proyección de precios de los energéticos para la generación eléctrica versión noviembre de 2019.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), Balance Energético Colombiano – BECO Año 2021, Bogotá D.C. septiembre de 2022.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), 2020. Estudio técnico para el plan de

abastecimiento de gas natural.

Universidad Externado de Colombia. (mayo de 2021). *Blog del Sector Minero - Energético*. Obtenido de <https://boletinmineroenergetico.uexternado.edu.co/situacion-del-autoabastecimientos-de-hidrocarburos-en-colombia/>